

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES ESTADÍSTICAS DE PERIODOS FRÍOS ENTRE OBSERVACIONES Y MODELOS CLIMÁTICOS

José Antonio López Díaz
AEMET, jalopez@inm.es

En un trabajo anterior se ha efectuado una comparación de las propiedades de clustering de sucesos extremos climáticos de precipitación y temperatura diarias frente a observaciones para un conjunto de observatorios. Se han utilizado las simulaciones de tres modelos (ECHAM4, HadAM3, CGCM2) de la precipitación y temperatura diarias en el periodo 1961-1990, con la técnica de downscaling estadístico por análogos de la FIC. En este trabajo se puso de manifiesto que los periodos fríos en invierno (dic-ene), según la técnica del índice extremal, tenían más persistencia en general en los modelos que en las observaciones. Este resultado no es concordante con el hecho conocido de que los modelos tienden a asignar menor peso a las situaciones de bloqueo que las observaciones. Una explicación parcial de la discrepancia está en que en el estudio basado en el índice extremal se consideran todos los periodos fríos, incluyendo los de uno o unos pocos días.

Por ello en este trabajo se presenta un estudio de las propiedades estadísticas de los periodos fríos de 4 o más días, con el objetivo de comparar los tres modelos con las observaciones. Se han utilizado los datos de 35 observatorios en la Península y Baleares para efectuar la comparación.

En dos de los modelos se constatan diferencias significativas respecto a las observaciones en la longitud media de los periodos fríos de más de 4 días, ambos en el sentido de más longitud en los modelos (fig. 1). En cuanto al número de periodos fríos hay diferencias significativas con las observaciones en dos modelos, pero con signo diferente.

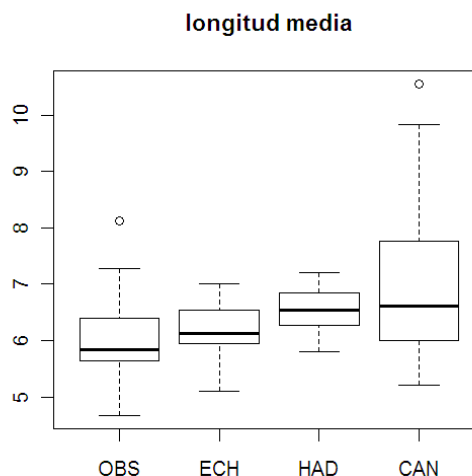


Fig. 1.- Box-plot de la longitud media de las olas de frío (mayores de 4 días) en cada observatorio(en las observaciones y los tres modelos)

El análisis del número de años con periodos fríos de 4 o más días muestra diferencias con las observaciones en dos modelos pero con signo diferente. En cambio si consideramos el número de años con dos o más periodos fríos de 4 o más días constatamos que es significativamente menor en las observaciones que en dos de los modelos, y en el otro casi.

INTRODUCCIÓN

Se han utilizado las simulaciones de tres modelos (ECHAM4, HadAM3, CGCM2) de temperatura diaria en el periodo 1961-1990, con la técnica de downscaling estadístico por análogos de la Fundación para la Investigación del Clima. El conjunto de observatorios seleccionado, buscando una distribución aproximadamente uniforme por la España peninsular y Baleares, y al mismo tiempo una buena disponibilidad del dato diario en el Banco Nacional de Datos de AEMET, consta de los 35 siguientes:

Código de observatorio:

BARCEL.-PRAT	BARCEL.-MONTSINY	SSEB.-IGUELDO	SANTAN.-CENTRO
ASTURIAS.-GRADO	CORUÑA	VIGO.-PEINADOR	PONFERRADA
BURGOS.-VILLAFRIDA	NAVACERRADA	VILLANUEVA	LEON B.A.
SALAM.-MATECÁN	MOLINA DE AR.	BARAJAS	PETIRO
C.REAL.-SOCUELLAMOS	BADAJ.-TALAVERA	CÓRDOBA.-AER.	GRANADA B.A.
SEVILLA.-MORÓN	CADIZ.-SAN FER.	MÁLAGA.-AER.	MURCIA.-ALCANTAR.
ALICANTE.-C.JAFUÍN	CUENCA	ALBACETE.-L.LIÑOS	VALENCIA
LOGR.-AGONCILLO	ZARAG.-BARCOA	ZARAG.-AER.	GERON.-IA MOLINA
HUESC.-MONFLORITE	TORTOSA	IBIZA.-AER.	

Para cada observatorio se han generado cuatro conjuntos (uno para las observaciones del Banco de Datos, y los otros tres para cada downscaling) de periodos fríos de 4 o más días, obtenidos como sigue:

- se ha calculado el percentil 10 de la temperatura media diaria del periodo dic-ene a lo largo de los 30 años
- para cada periodo bimensual dic-ene se ha asignado a cada día un código binario según esté por encima o debajo del percentil
- se han hallado las rachas de 4 días o más seguidos por debajo del percentil 10.

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA LONGITUD MEDIA DE LOS PERIODOS FRÍOS

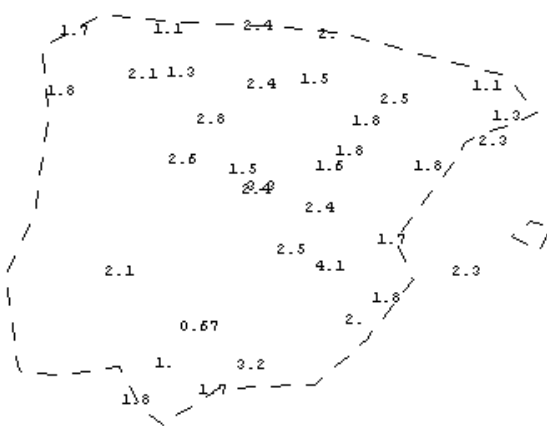


Fig. 1.- Longitud media de los periodos fríos de más de 4 días en observaciones

En la figura se muestra la distribución del exceso sobre 4 días medio de la longitud de los periodos fríos con 4 o más días en cada observatorio, es decir, para cada observatorio se ha calculado la media de las longitudes de los periodos fríos de 4 o más días en todos los dic-ene desde 1961 a 1990 y se le ha restando 4.

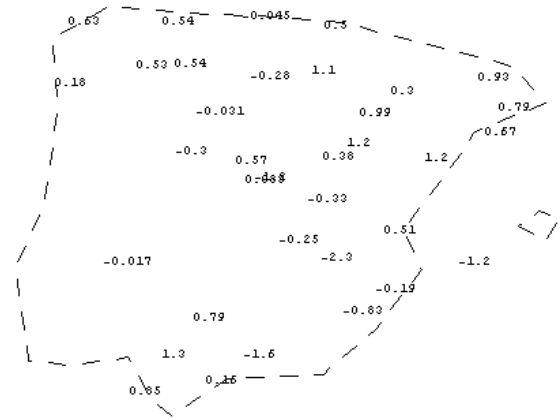


Fig. 2.- Diferencia de longitud media de periodos fríos entre ECHAM4 y observaciones.

Un valor más alto de este parámetro indica una mayor persistencia en promedio de los periodos fríos de 4 o más días. Se aprecia que los valores mayores de la persistencia se dan en Albacete (con diferencia), Barajas, Granada, Villanubla y Salamanca. Por el contrario los valores más bajos de la persistencia los encontramos en Córdoba, Sevilla, Asturias, Gerona y Barcelona.

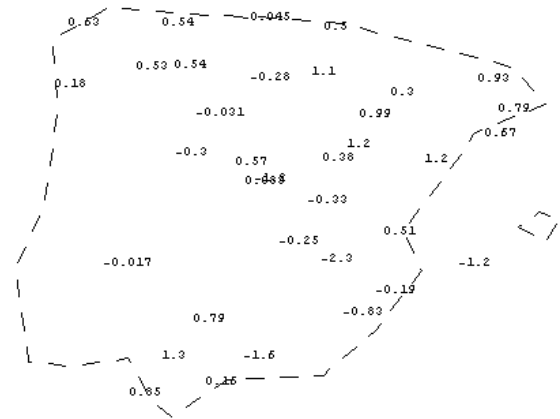


Fig. 3.- Diferencia de longitud media de periodos fríos entre HadAM3 y observaciones.

En la figura 2 se muestran las diferencias de longitud media de los periodos fríos de más de 4 días entre el downscaling del modelo ECHAM4 y las observaciones. Se aprecia que las diferencias son positivas (por tanto periodos fríos más largos en promedio en el modelo) en el extremo NW, el

cuadrante NE y valle del Guadalquivir. La mayor diferencia se da en Sevilla-Morón (1.3) y la menor en Albacete-Los Llanos (-2.3). Para el downscaling del modelo HADLEY encontramos un patrón espacial del signo de la diferencia similar al anterior, con acumulación de mayor persistencia de periodos fríos en el extremo NW, cuadrante NE a partir del valle del Ebro y extremo SW. La mayor diferencia se da en Córdoba-Aer. (2.5) y la menor en Albacete-Los Llanos (-2.3).

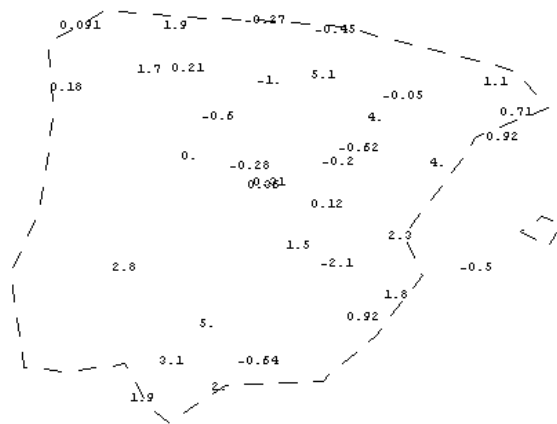


Fig. 4.- Diferencia de longitud media de periodos fríos entre y observaciones para el CGCM2.

En cuanto al modelo canadiense (fig. 4) la distribución es similar a las anteriores, aunque menos consistente en el valle del Ebro. La mayor diferencia se da en Logroño-Agoncillo (5.1) y la menor en Albacete-Los Llanos (-2.1).

Las correlaciones entre estas diferencias son máximas entre los dos primeros modelos, 0.86, mientras que en las que interviene el CGCM2 bajan de 0.60.

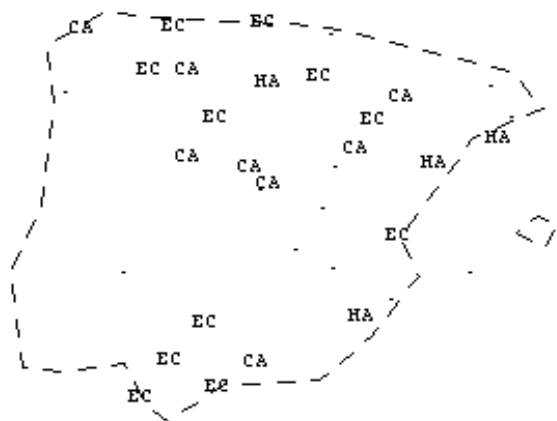


Fig. 5.- Distribución espacial del mejor modelo en cada observatorio (menor diferencia con observaciones) para los puntos en que la diferencia con el siguiente es ≥ 0.2 .

En la figura 5 se observa que el downscaling del ECHAM4 es mejor que los otros dos, en cuanto a la longitud media de los periodos fríos, en el extremo SW y parte del norte cantábrico; el del Hadley es mejor en la mayor parte de la costa mediterránea no andaluza, y el del CGCM2 en la zona centro.

ANÁLISIS GLOBAL DE LAS DIFERENCIAS MODELOS-OBSERVACIÓN EN LA LONGITUD DE LOS PERIODOS FRÍOS

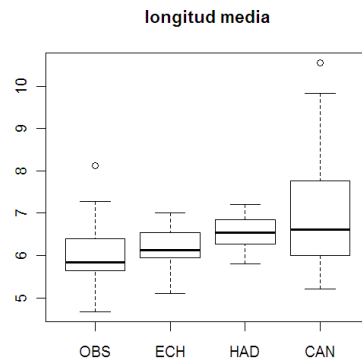


Fig. 6.- Box-plot de las longitudes medias de periodos fríos de más de 4 días.

	ECHAM	HADLEY	CANAD.
MEDIA	0.18	0.56	1.0
MEDIANA	0.38	0.75	0.36
P-V T. WILCOXON	0.078	0.001	0.005

Tabla 1.- Estadísticos de las diferencias con las observaciones de la longitud media de periodos fríos.

En la tabla 1 se han consignado la media y mediana de las diferencias de longitud media de los periodos fríos con las observaciones. A notar que para el modelo canadiense la media es bastante superior a la mediana (en contraste con los otros dos), lo que apunta a una asimetría positiva de la distribución. En efecto el coeficiente de asimetría para las diferencias del Echam4 es de -1.1, para el Hadley -0.59 y para el CGCM 0.81.

En la última fila de la tabla se consigna el p-valor para el test no paramétrico de Wilcoxon que contrasta la hipótesis nula de media = 0 frente a la alternativa de media distinta de 0. Vemos que las diferencias de longitud media de periodos fríos de más de 4 días son muy significativas estadísticamente para el Hadley y el canadiense, en ambos casos en sentido positivo (más persistencia en los modelos que en las observaciones). También hay indicios de lo mismo para el Echam, pero el p-valor no es significativo al 5%.

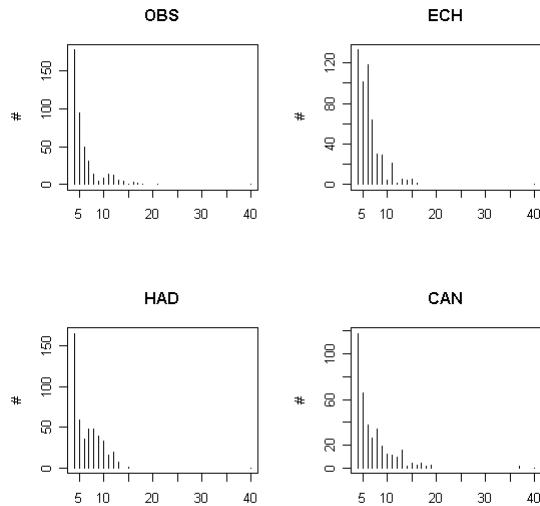


Fig. 7.- Distribución global de las longitudes de periodos fríos de más de 4 días (para todos los observatorios y años)

OBS/MOD	μ	σ	α	$-\log(pv)$
OBS	5.9	2.9	0.55	12.7
ECH	6.2	2.3	0.32	6.3
HAD	6.5	2.6	0.34	4.2
CAN	7.0	4.1	0.36	10.0

Tabla 2.- Media, desviación estándar y parámetro α del ajuste a la exponencial de las distribuciones (relativizadas) de la fig. 7. La última col. se refiere al p-valor de la bondad de ajuste a la exponencial.

Si analizamos la distribución de las longitudes de los periodos fríos acumulando todos los observatorios y años obtenemos los histogramas de la fig. 7. Los estadísticos recogidos en la tabla 2 muestran que la media global de las longitudes de periodos fríos es algo menor en las observaciones que en los dos primeros modelos, pero inferior en algo más de un punto a la del modelo canadiense. Este modelo también muestra una dispersión apreciablemente mayor que las observaciones (y los otros modelos). El parámetro α del ajuste a la exponencial de las distribuciones es similar en los tres modelos, pero claramente inferior al de las observaciones; esto implica más persistencia en modelos que en observaciones. Por último la última columna muestra que el ajuste a la exponencial es mejor en las observaciones que en los dos primeros modelos (como se aprecia a simple vista en la fig. 7), pero similar a la del modelo CGCM2 (la lógica del ajuste a la distribución exponencial se explica en el siguiente párrafo).

HISTOGRAMAS DE LA LONGITUD DE LOS PERIODOS FRÍOS EN OBSERVATORIOS

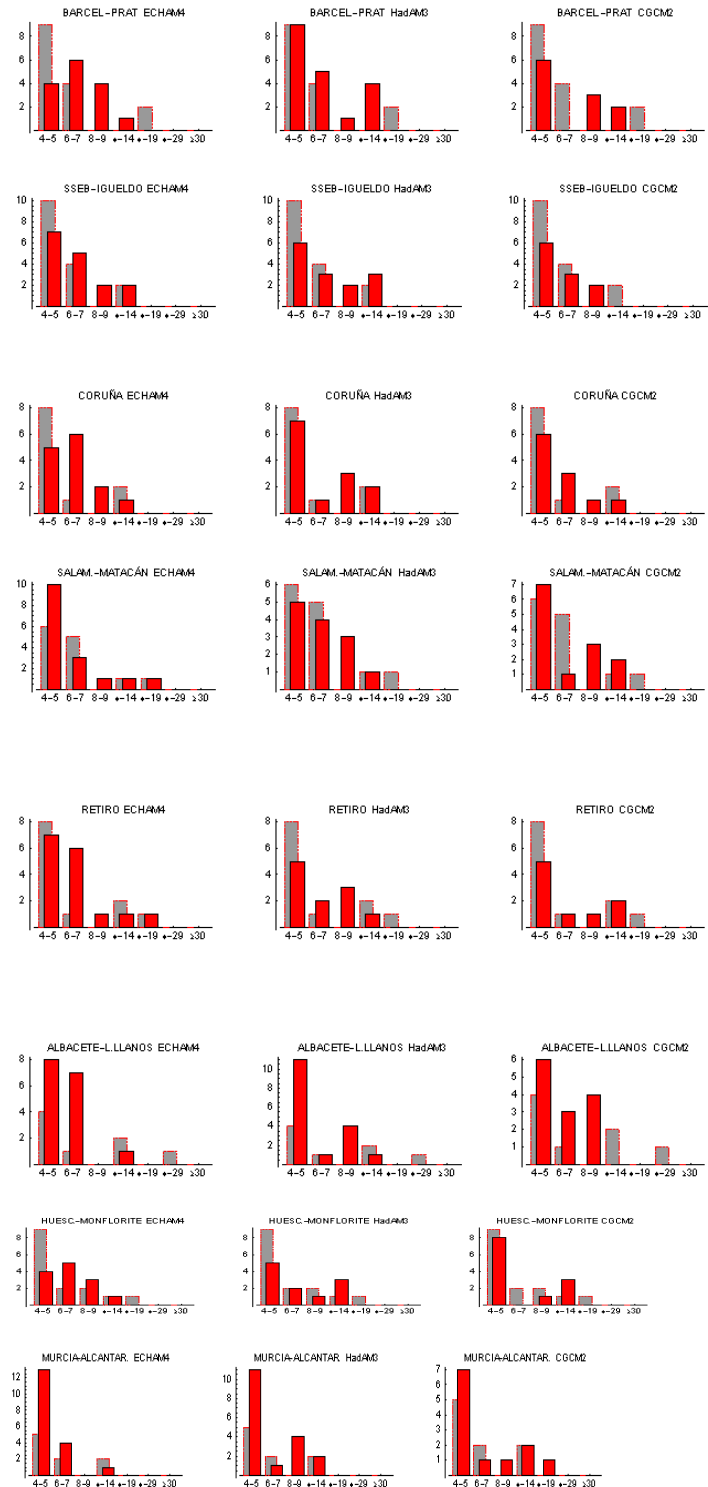


Fig 8.- Histogramas de la longitud de periodos fríos de más de 4 días para los tres modelos (en gris el de las observaciones) para un conjunto de estaciones.

Una mirada a una selección para varios observatorios de histogramas de la longitud de periodos fríos frente al de las observaciones (fig. 8) muestra una casuística variada y muy difícil de

sintetizar. Una aproximación consiste en buscar la forma teórica que habrían de tener tales histogramas, bajo determinadas hipótesis restrictivas. Si suponemos que los días sucesivos de periodo frío son independientes entonces los histogramas se ajustarían a una distribución geométrica: en efecto el número de periodos de longitud x y el de los de longitud $x+1$ estarán en una razón aproximadamente constante (hipótesis de cadena de Markov). Se ha procedido a ajustar a todos los histogramas un modelo exponencial, que aproxima al geométrico, y se ha estudiado la distribución del parámetro α . El ajuste se ha hecho sobre las frecuencias relativas. De esta forma un valor menor del parámetro α significa un valor mayor de la longitud media de los periodos fríos.

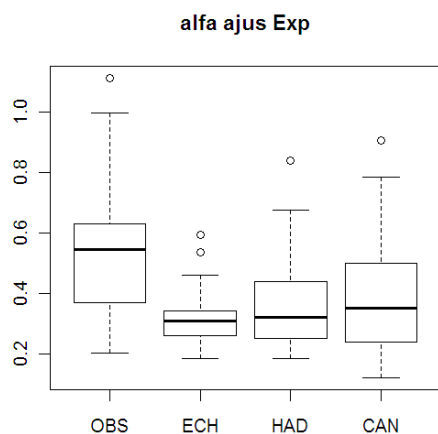


Fig. 9.- Box-plot del parámetro α del ajuste a una distribución exponencial ($EXP(-\alpha \cdot x)$) de las frecuencias relativas de la longitud de periodos fríos (mayor de 4 días) en cada observatorio, para las observaciones y los tres modelos.

La figura 9 muestra los valores de α para cada observatorio para las observaciones y los tres modelos. Se aprecia a simple vista que α es mayor (menor persistencia) para las observaciones que para los modelos. Aplicando el test de Wilcoxon se confirma la hipótesis anterior, que resulta ser muy significativa para los tres modelos. La mediana de los valores de α es de 0.54 para las observaciones, 0.31 para el modelo Echam4, 0.32 para el HadAM3, y 0.35 para el CGCM2.

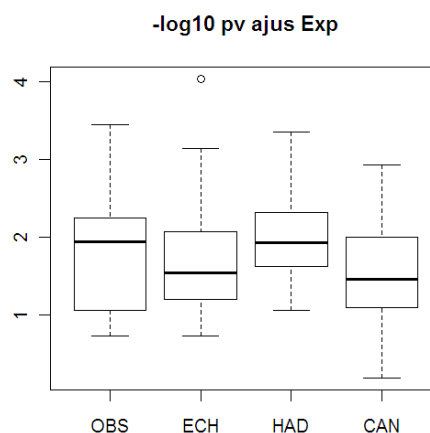


Fig. 10.- Box-plot de los $-\log$ del p-valor para el ajuste a la exponencial de los histogramas relativos de longitud de periodo frío de más de 4 días, para las observaciones y los tres modelos.

La figura 10 permite valorar si hay diferencias entre los modelos y observaciones en cuanto a la bondad del ajuste de los histogramas a la distribución exponencial. No se aprecian grandes diferencias, aunque el modelo HadAM3 destaca un poco respecto a los demás y las observaciones en cuanto a bondad del ajuste. De hecho con este modelo hay 32 observatorios en los que el p-valor del ajuste es inferior a 0.95, mientras que para las observaciones y los otros dos modelos el número es próximo a 21.

NÚMERO DE PERIODOS FRÍOS

La figura 11 representa para cada observatorio el número total de periodos fríos de más de 4 días en los 30 años analizados a partir del dato observacional (pudiendo haber más de un periodo frío en un año). El mayor número de periodos fríos se da en estaciones del norte, como Asturias –Grado y Ponferrada (17), Igueldo en S. Sebastián (16), El Prat (15). El menor número se da en estaciones del sur como Murcia (9), Los Llanos (Albacete) (8) o Ibiza (8), aunque el mínimo se da en Barajas (7).

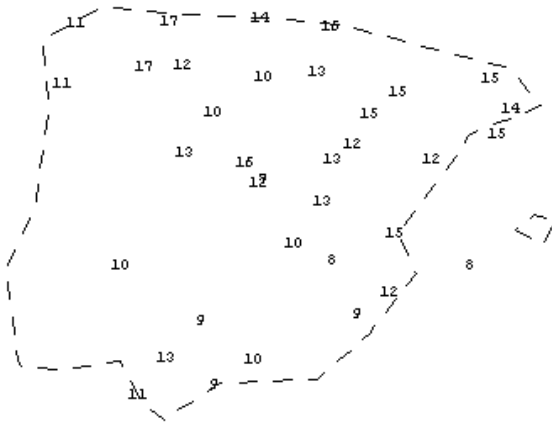


Fig. 11.- Número de periodos fríos de más de 4 días observados (1961-1990)

La comparación entre las observaciones y los tres modelos que permite la fig. 12 muestra similitud en este parámetro entre las observaciones y el HadAM3. En cambio el número de periodos fríos es mayor en Echam4 que en las observaciones, y menor en el modelo canadiense. Aplicando el test de Wilcoxon se confirman estos indicios, pues el p-valor para la comparación OBS/ECH es muy significativo (del orden de $10e-4$), y para la comparación OBS/CAN es de 0.02. Para la comparación OBS/HAD es de 0.09 en el sentido $OBS < HAD$, próximo al límite 0.05.

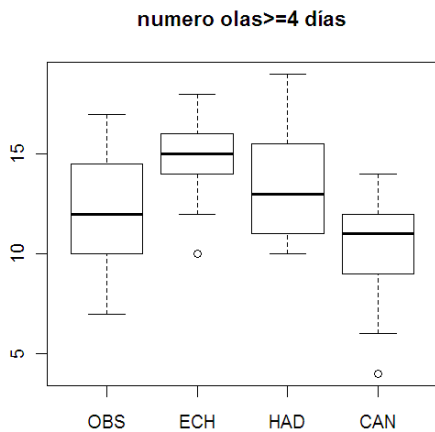


Fig. 12.- Boxplot del número de periodos fríos de más de 4 días en las observaciones y en los tres modelos.

LONGITUD MÁXIMA DE LOS PERIODOS FRÍOS

Otro parámetro que se puede estudiar es la longitud máxima, a lo largo de los 30 años, de los periodos fríos en cada observatorio.

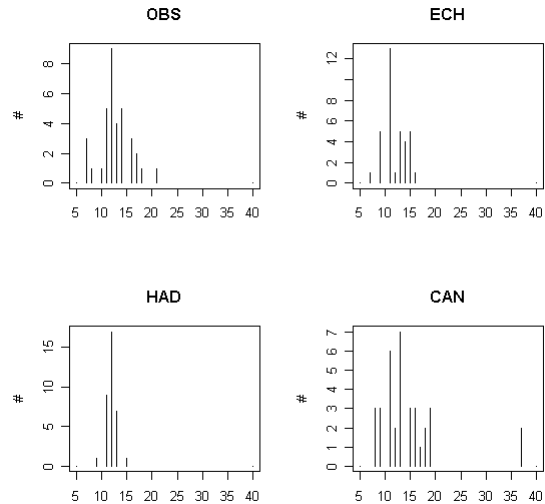


Fig. 13.- Histogramas del número de observatorios con longitud máxima de periodo frío dada en abscisas.

La figura 13 muestra que el modelo HadAM3 tiene una distribución de la longitud máxima de periodos fríos en cada observatorio apreciablemente distinta de las observaciones. En concreto la dispersión de valores parece menor en el modelo que en las observaciones. Esto se confirma efectuando un test no-paramétrico de homogeneidad de varianzas, el test de Fligner-Killeen, que da un p-valor de 0.0003 para la comparación OBS/HAD; esto confirma que la varianza de las longitudes máximas de periodos fríos con el HadAM3 es inferior a las observaciones con un alto grado de significación estadística. El modelo canadiense muestra más dispersión que las observaciones, pero el p-valor del test de Fligner-Killeen es de 0.10, próximo a la significación estadística. El modelo Echam es el más próximo a las observaciones en este respecto, con menos dispersión que las observaciones pero no significativa estadísticamente.

Por otra parte las medias de las distribuciones de este parámetro son similares, alrededor de 12 para las observaciones y los dos primeros modelos; para el canadiense es de 14.5, algo mayor. Pero ninguna diferencia llega a la significación estadística con el test de Wilcoxon.

NÚMERO DE AÑOS CON PERIODOS FRÍOS

En este apartado se comparan los modelos con las observaciones bajo el punto de vista de el número de años en cada observatorio que tienen periodos fríos de más de 4 días. En la tabla 3 se recogen los estadísticos fundamentales media, mediana y máximo para la variable número de años con algún periodo frío (de los 30 analizados). Se aprecia que el modelo HadAM3 es el que más se aproxima al comportamiento de las observaciones según este

criterio; en cambio el Echam4 produce un número significativamente mayor de años con periodos fríos, y el CGCM2 un número significativamente menor (ambos con un alto grado de significación estadística).

	OBS	ECH	HAD	CAN
MEDIA	9.9	12.3	10.8	7.6
MEDNA	9.5	12.5	11.0	7.5
MÁX	13	14	14	11
P-V T. WILCO XON		3.4 e -5 (<)	0.16 (<)	6. e -4 (>)

Tabla 3.- Estadísticos del nº de años con periodo frío (más 4 días). La última fila contiene el p-valor del test de Wilcoxon que compara las observaciones con cada modelo; entre paréntesis el signo de la alternativa (signo < indica obs<modelo, al revés signo >)

En las fig. 14, 15 y 16 se representa con detalle la distribución de las diferencias de cada modelo con las observaciones en cuanto al número de años con algún periodo frío. Aunque como se ha dicho el modelo HadAM3 es globalmente el más parecido a las observaciones, sin embargo presenta las desviaciones más grandes, con observatorios que tienen hasta 7 años menos con periodo frío que las observaciones.

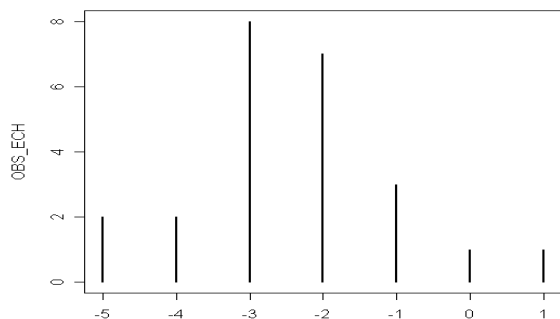


Fig. 14.- Histograma de n° de observatorios con la diferencia de n° de años con periodo frío entre las observaciones y el modelo Echam4 en abscisas

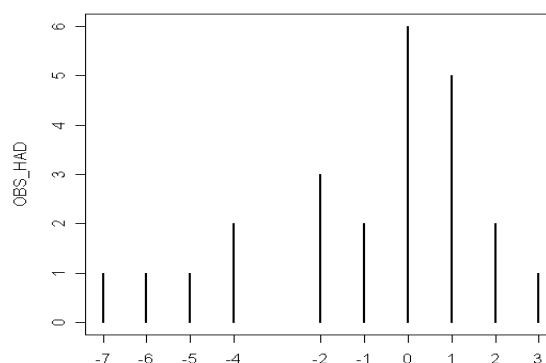


Fig. 15.- Como la figura 14 para el modelo HadAM3

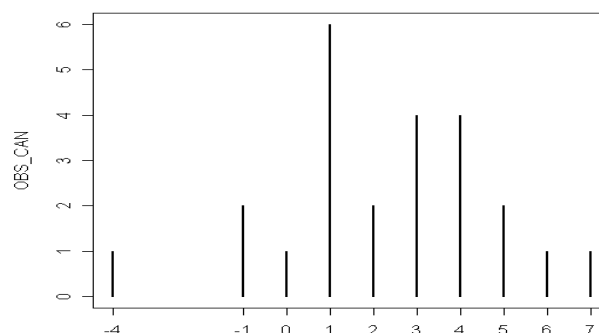


Fig. 16.- Como la figura 14 para el modelo CGCM2

Si consideramos el número de años con dos o más periodos fríos obtenemos los resultados esquematizados en la tabla 4.

	OBS	ECH	HAD	CAN
MEDIA	1.4	1.9	2.3	2.0
MEDNA	1	2	2	2
MÁX	4	4	4	4
P-V T. WILCOX.		0.05 (<)	0.02 (<)	0.12 (<)

Tabla 4.- Como la tabla 3 para número de años con dos o más periodos fríos.

En este caso todos los modelos tienen tendencia a generar más años con dos o más periodos fríos que las observaciones, siendo el más significativo estadísticamente el HadAM3.

CONCLUSIONES

El análisis de la longitud media de los periodos fríos de más de 4 días entre los tres modelos y las

observaciones muestra un patrón espacial bastante coherente, con los modelos mostrando más persistencia en el extremo NW, cuadrante NE y valle del Guadalquivir con pocas excepciones. El análisis global de estas diferencias arroja diferencias (en el sentido de más persistencia en modelos) muy significativas para el modelo Hadley y el canadiense. En otro tipo de análisis a partir de los histogramas de la longitud de periodos fríos en cada observatorio, ajustando una distribución exponencial, se constatan diferencias muy significativas estadísticamente en el parámetro α de la distribución en los tres modelos, también en el sentido de mayor persistencia en los modelos.

Tanto el número total de periodos fríos de más de 4 días en cada observatorio, como la longitud máxima de los periodos fríos muestran desviaciones importantes de algunos modelos con las observaciones, pero no del mismo sentido. Algo similar sucede con el número de años con periodos fríos de más de 4 días, que muestra diferencias significativas respecto a las observaciones en dos modelos, pero en sentido opuesto. En cambio el número de años con dos o más periodos fríos es menor en las observaciones que en los modelos.

