

# TENDENCIAS OBSERVADAS Y LAS PROYECCIONES FUTURAS EN LA OCURRENCIA DE EVENTOS CÁLDIDOS INVERNALES EN LA CUENCA DEL EBRO

Juan Ignacio LÓPEZ-MORENO<sup>1</sup>, Ahmed EL-KENAWY<sup>1,2</sup>, Jesús REVUELTO<sup>1</sup>, C. Azorín-Molina<sup>1</sup>, Enrique MORÁN-TEJEDA<sup>1,3</sup>, Jorge LORENZO-LACRUZ<sup>1</sup>, Javier ZABALZA<sup>1</sup>, Sergio Martín VICENTE-SERRANO<sup>1</sup>.  
<sup>1</sup>*Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC (Consejo de Investigación Española), Campus de Aula Dei, PO Box 202, 50080 Zaragoza, España.*

<sup>2</sup> *Departamento de Geografía de la Universidad de Mansoura, Mansoura, Egipto.*

<sup>3</sup> *El cambio climático y los impactos Climate Group. Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad de Ginebra, Suiza.*

**nlopez@ipe.csic.es, kenawy@ipe.csic.es, jrevuelto@ipe.csic.es, cazorin@ipe.csic.es, enrique.moran@unige.ch, jlorenzo@ipe.csic.es, jzabalza@ipe.csic.es, svicen@ipe.csic.es**

## RESUMEN

En este estudio se analizaron las tendencias observadas en una serie de índices climáticos relacionados con la ocurrencia de eventos cálidos invernales en la cuenca del río Ebro, noreste de la Península Ibérica, durante el período 1950-2006. Las simulaciones de los mismos índices para el futuro se han estudiado utilizando las proyecciones de 12 modelos climáticos regionales (RCMs) para los periodos 2021-2050 y 2051-2080. Los resultados indicaron un aumento significativo en el número de días y noches cálidos y muy cálidos en la mayor parte del área de estudio. El aumento en la ocurrencia de eventos cálidos se relaciona con un aumento en los días de fusión de nieve por encima de 2000 m s.n.m. Los modelos climáticos regionales proyectan que las tendencias observadas durante el período observado continuarán, siendo muy probable un incremento en la ocurrencia de eventos cálidos invernales en las próximas décadas. En algunos casos, la ocurrencia de eventos cálidos se prevé que se duplique durante el período de 2021-2050. La mayoría de los índices mostraron un mayor incremento en las zonas montañosas de la cuenca (los Pirineos y el Sistema Ibérico) tanto para el periodo observado como para las proyecciones para las próximas décadas.

**Palabras clave:** eventos cálidos invernales, índices climáticos, tendencias, modelos climáticos regionales, cuenca del río Ebro, Península Ibérica.

## ABSTRACT

In this study we analyzed the observed trends for the period 1950–2006 in a number of climate indices related to the occurrence of winter warm events in the Ebro basin, northeast Iberian Peninsula. Climatic simulations using 12 regional climate models (RCMs) from the ENSEMBLES database enabled calculation of the inter-model means for the projected evolution of these climatic indices for the time periods 2021–2050 and 2051–2080. The results indicated a significant increase in the future occurrence of warm and very warm day and night events across the majority of the study area. The increase in the occurrence and duration of warm events was statistically correlated with the occurrence of melt events in areas at altitudes higher than 2000 m a.s.l. The RCMs predicted that the trends observed during the observation period will continue, and that the occurrence of warm day and night

events and spells are very likely to increase progressively during this century. In some cases the occurrence of warm events was predicted to double during the period 2021–2050. For both the observed and projected periods, most of the indices showed a greater increase in the occurrence of these events in mountain areas of the basin (the Pyrenees and the Iberian mountains).

**Key words:** warm events, climatic indices, trends, regional climate models, Ebro basin, Iberian Peninsula.

## 1. INTRODUCCIÓN

Es ampliamente reconocido que la temperatura global ha aumentado en las últimas décadas, y que esta tendencia es muy posible que se acelere en el futuro como consecuencia del incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (Hansen, 2010). Particular atención se está prestando a los posibles cambios en las temperaturas extremas y sus impactos asociados, ya que influyen en muchos aspectos de la salud humana, el ciclo del agua y los ecosistemas (García-Herrera et al., 2005; El Kenawy et al, 2011).

Los cambios observados de la temperatura en el pasado y las proyecciones para las próximas décadas están sujetos a una marcada variabilidad espacial y temporal (Beniston et al., 2007). Estos cambios pueden causar grandes diferencias en la magnitud e incluso el signo de las tendencias de las variables climáticas entre observatorios situados a distancias muy cortas (Dos Santos et al, 2011). Además, los impactos de los cambios de temperatura sobre los sistemas naturales y socioeconómicos pueden variar considerablemente, según el momento del año en el que se producen los cambios más importantes, o que sean las temperaturas máximas o mínimas las más afectadas por el calentamiento. Así, es lógico que en las últimas décadas haya aumentado el interés por investigar los cambios en las temperaturas extremas y sus impactos en determinadas zonas geográficas y estaciones del año (El Kenawy et al, 2011). En este estudio se pretende analizar las tendencias observadas y las proyecciones para las próximas décadas en un conjunto de índices relacionados con la ocurrencia de eventos cálidos del invierno en la cuenca del río Ebro, al noreste de la Península Ibérica. Aunque hay trabajos referidos a posibles cambios en eventos extremos de temperatura para la región Mediterránea en general (i.e. Efthymiadis et al, 2011) y la Península Ibérica, en particular, (Brunet et al, 2007; Rodríguez-Puebla et al, 2010; El Kenawy et al 2011a), este trabajo se centra exclusivamente en la magnitud y la persistencia de los eventos cálidos en la cuenca del Ebro durante invierno (DJFM). A pesar de que las olas de calor estivales se perciben normalmente como la principal consecuencia negativa de calentamiento del clima, los cambios en la ocurrencia de eventos cálidos durante el invierno pueden afectar de forma muy importante, especialmente en las regiones donde la nieve tiene una gran influencia en la economía, la ecología y la disponibilidad de agua. Los períodos con temperaturas relativamente suaves durante el invierno se han demostrado causar inundaciones, condiciones adversas para la práctica de deportes de invierno, y afectar las producciones agrícolas (Beniston et al, 2007). Impactos similares se esperan en la cuenca del Ebro, donde una importante superficie permanece innivada durante los meses de invierno, resultando de particular importancia para la hidrología y la economía de la región (López-Moreno et al, 2008).

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de la cuenca del río Ebro comprende aproximadamente 83.000 km<sup>2</sup> (Fig. 1). La unidad principal es el valle del Ebro, normalmente con alturas inferiores a los 400 m s.n.m., a través del cual

fluye el río Ebro. La depresión central está rodeada de cadenas montañosas como la Cordillera Cantábrica y los Pirineos al norte (alturas máximas por encima de 2000 y 3000 m s.n.m., respectivamente), las montañas Ibéricas hacia el sur (máxima altitud 2000-2300 m s.n.m.), y la cordillera Costera Catalana hacia el este (máxima altitud 1000-1200 m s.n.m.). La compleja topografía y las influencias del mar Mediterráneo y Océano Atlántico introducen una gran complejidad en el clima, incluso en distancias muy cortas. Si bien las condiciones continentales dominan la cuenca del Ebro, existe una clara transición de condiciones Atlánticas desde el oeste, a condiciones mediterráneas hacia el este (López-Moreno et al., 2011).

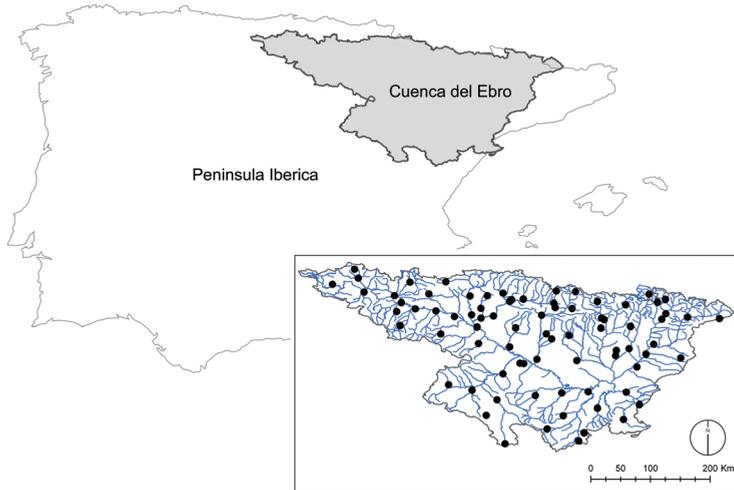


FIG. 1: Zona de estudio. Los puntos indican la localización de los observatorios meteorológicos utilizados.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Base de datos de temperatura observada y de los índices seleccionados de temperatura

Los cambios observados en la ocurrencia y magnitud de los eventos cálidos de invierno fueron analizados utilizando una base de datos de temperaturas máximas y mínimas para el nordeste de la Península Ibérica. Los datos provienen de un elevado número de observatorios (1583), que fueron procesadas para controlar su calidad y homogeneidad. El control de calidad detectó diversos errores tipográficos y problemas de coherencia entre las estaciones cercanas (Stepanek et al., 2009). Series no homogéneas se detectaron, y posteriormente eliminaron, mediante la aplicación de tres test: El *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT), el método de regresión de dos fases *Easterling and Peterson*, y el test de *Vincent*. Finalmente, se seleccionaron 60 observatorios con registros completos para el período diciembre 1959 a marzo 2006. El período seleccionado de 47 años proporciona el mejor equilibrio entre la longitud de la serie y la disponibilidad de un número adecuado de observatorios que tienen una distribución espacial adecuada. La Figura 1 muestra la distribución espacial de los 60 observatorios de la cuenca del Ebro.

Posteriormente, se calcularon 7 índices relacionados con la ocurrencia anual de los eventos cálidos de invierno (diciembre a marzo). Los cuatro primeros índices se basan en la superación anual de los percentiles 90 y 99 en las temperaturas diarias máximas y mínimas durante el período (1959-2005). Así, fue posible cuantificar la ocurrencia de días y noches cálidos o muy cálidos. Para evaluar la

ocurrencia de días de fusión en zonas de montaña se calcularon regresiones lineales diarias entre la temperatura y la altitud de cada observatorio, y se calcularon los valores diarios de temperatura máxima y mínima a 2000 m s.n.m. A partir de estas estimaciones se contó el número de noches de fusión ( $T_{min} > 0^{\circ}C$ ) a esta altura, y el número de días en que la temperatura máxima superó los 0 y  $10^{\circ}C$ , definiendo los días fusión ( $T_{max} > 0^{\circ}C$ ) y los días de fusión intensa ( $T_{max} > 10^{\circ}C$ ), respectivamente.

Se calculó la tendencia lineal de los índices de temperatura, y se calcularon los valores de cada índice correspondientes al primer (1959) y último (2006) año del período de base, que proporcionó la magnitud de los cambios observados durante el período de estudio. La importancia de las tendencias se evaluó mediante el test de correlación de Spearman con un nivel de significación del 95% (valor de  $p < 0,05$ ).

### 3.2. El uso de modelos climáticos regionales (RCMs) para la proyección de eventos extremos de temperatura en las próximas décadas

Las temperaturas simuladas por un conjunto de doce Modelos climáticos regionales (RCMs) para un período control (1960-1990) y dos períodos futuros (2021-2050 y 2051-2080) se obtuvieron de la base de datos proyecto ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>). Consiste en diversas simulaciones continuas del clima desde 1950 hasta 2100 a una alta resolución espacial ( $25 \text{ km}^2$  cada celda) para un escenario moderado (A1B) de emisión de gases de efecto invernadero (Nakicenovic et al., 1998).

Al igual que con los datos observados, se calcularon los mismos siete índices de temperatura que para el período de control 1960-1990 y los dos periodos futuros (2021-2050 y 2071-2100). Los resultados mostrados en este trabajo corresponden al promedio de los 12 RCMs utilizados.

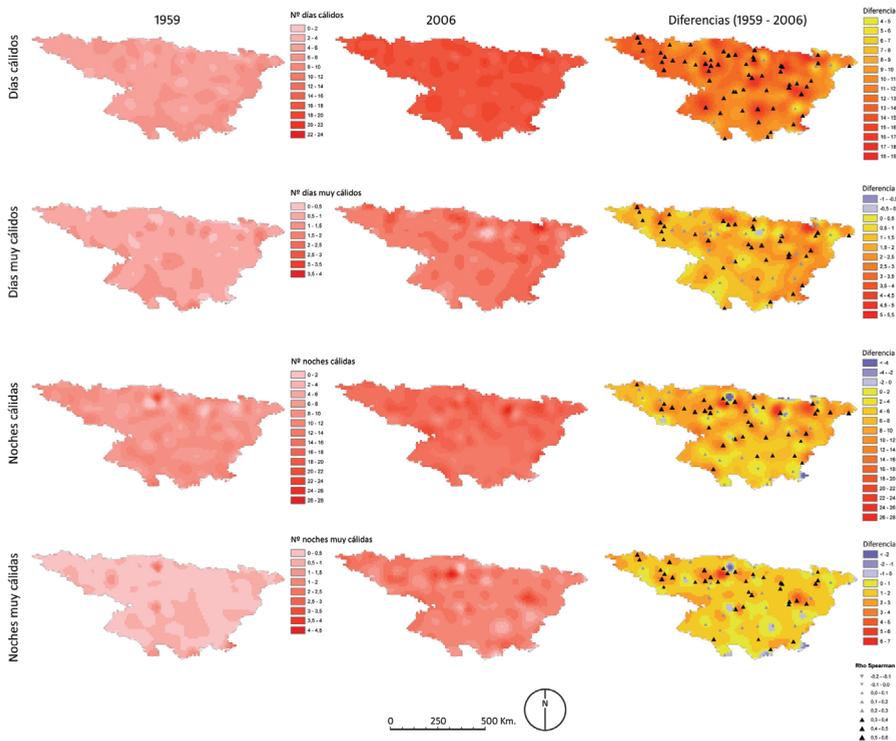


FIG. 2: Cambios observados en la ocurrencia de días y noches cálidos y muy cálidos durante el periodo 1959-2006.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Tendencias observadas en los eventos cálidos del invierno

La figura 2 muestra los cambios observados en la ocurrencia de días y noches cálidos y muy cálidos durante el período 1959-2006. La tabla 1 resume las tendencias observadas en el número de estaciones clasificadas de acuerdo con el signo (es decir, positivo o negativo) y la significación proporcionada por el test de Spearman ( $p < 0,05$ ).

Los resultados de los índices calculados sugieren un notable aumento de la ocurrencia de los eventos cálidos de invierno en la cuenca del Ebro. Existe una clara evolución positiva en la ocurrencia anual de días cálidos en la mayoría de los observatorios (estadísticamente significativa en el 92% de los casos). La figura 2 muestra que el número anual de días cálidos aumentó de 3-8 días cada invierno en el comienzo del período de estudio a 14-22 al final del período, aunque hubo notables diferencias espaciales en la cuenca. Así, el incremento en el número de días cálidos en la cuenca del Ebro osciló entre 6 y 18 días, aunque no existe un patrón espacial claro en la magnitud del cambio a través del área de estudio. La ocurrencia de días muy cálidos ha aumentado en todos los observatorios con la excepción de un observatorio, donde la tendencia fue negativa pero no significativa estadísticamente. La figura 2 muestra que el número anual de días muy cálidos en el inicio del período de estudio fue de 0,5 a 2, aumentando hasta 5 días en algunas zonas al final del período estudiado. El mayor incremento se produjo en las partes septentrionales y orientales de la cuenca del Ebro. En el 57% de los observatorios la tendencia positiva fue estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ). Sólo unos pocos observatorios han mostrado una disminución en la ocurrencia de noches cálidas o muy cálidas (4 y 3, respectivamente), habiendo una mayoría en los que se ha mostrado un incremento, que resulta significativo en el 55 y 60% de los casos respectivamente. El mayor incremento en la ocurrencia de noches cálidas y muy cálidas se ha observado en el sector más septentrionales de la cuenca, donde al comienzo del periodo de estudio ocurrían muy pocos eventos de este tipo.

	Días cálidos	Días muy cálidos	Noches cálidas	Noches muy cálidas
Positivas ( $\alpha < 0,05$ )	55 (92%)	34 (57%)	33 (55%)	36 (60%)
Positivas ( $\alpha > 0,05$ )	5 (8%)	25 (42%)	23 (38%)	21 (35%)
Negativas ( $\alpha < 0,05$ )	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Negativas ( $\alpha > 0,05$ )	0 (0%)	1 (1%)	4 (7%)	3 (5%)

TABLA 1: Número de observatorios (y porcentaje del total) clasificados según el signo y la significación de la tendencia estimados mediante el test de Spearman.

La figura 3 muestra que ha sucedido un aumento acusado y estadísticamente significativo en el número de eventos de fusión a altitudes superiores a los 2000 m s.n.m. El aumento fue particularmente evidente en el número de noches de fusión ( $T_{min} > 0^{\circ}\text{C}$ ) y días de fusión ( $T_{max} > 10^{\circ}\text{C}$ ). Las regresiones lineales indican que entre 1959 y 2005 el número de días de fusión ( $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$ ) aumentó de 72,2 a 82,5, que resulta, en términos relativos, menor que el detectado para días de fusión intensa (0,9 a 14,6 días) y noches de fusión (6,1 a 13,6 días).

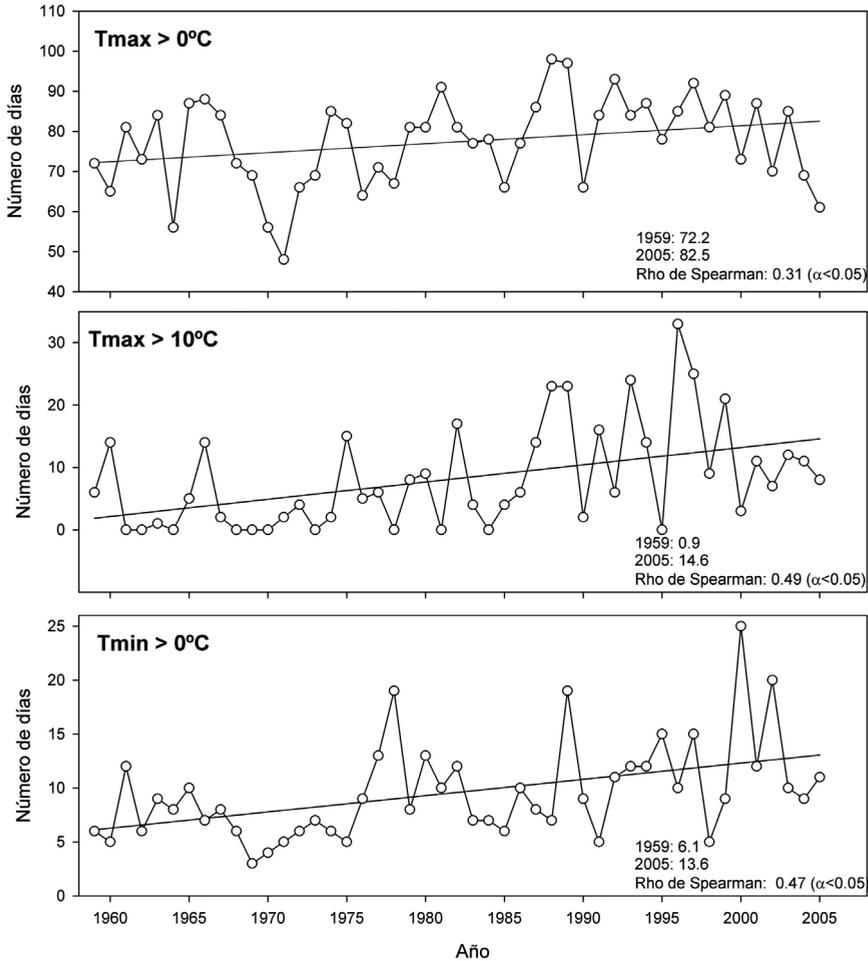


FIG. 3: Evolución de eventos de fusión y fusión intensa diarios ( $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$  y  $T_{max} > 10^{\circ}\text{C}$ ) y de fusión nocturna ( $T_{min} > 10^{\circ}\text{C}$ ).

#### 4.2. Cambios en la ocurrencia de eventos cálidos invernales simulados por modelos climáticos regionales para el siglo 21

La figura 4 muestra el número anual de días y noches cálidos y muy cálidos para los períodos 2021-2050 y 2051-2080 simulado por los 12 modelos climáticos regionales. Los valores corresponden al promedio de las doce simulaciones. Los resultados muestran que las simulaciones prevén un marcado incremento en la ocurrencia de días y noches cálidos y muy cálidos en la cuenca del Ebro para el siglo 21. Para el período 2021-2050 la media entre el modelo era de más de 20 eventos para toda la cuenca, mientras durante el período control fue de 12,1 (es decir, el 10% de los 121 días que componen el período comprendido entre diciembre a marzo). El mayor incremento se proyecta en zonas de los Pirineos, el sistema Ibérico, y algunos sectores en el este de la cuenca donde pueden llegar hasta 28. Para el período 2051-2080 el número simulado de días cálidos era mayor de 28, superando los 38 en sectores de los Pirineos. Se obtuvieron resultados similares para la ocurrencia de días muy cálidos. Así, la media entre modelos oscila entre 2 y 3 eventos para el periodo 3021-2050,

mientras que el número de eventos correspondientes al período de control fue de 1,2. Un mayor aumento en el número de eventos muy cálidos se espera en el Pirineo, algunos sectores de las montañas Ibéricas, y la parte más oriental de la cuenca. Un patrón espacial similar se prevé para el período 2051-2080, pero la magnitud del aumento es casi del doble respecto al período 2021-2050. Por lo tanto, la ocurrencia media prevista es de 6 días muy calurosos por año, llegando a 10 en los Pirineos y la cordillera Ibérica. El cambio en la ocurrencia proyectada de noches cálidas y muy cálidas resulta muy similar en magnitud y distribución espacial a la de las temperaturas diurnas. Las zonas de montaña presentan el mayor aumento.

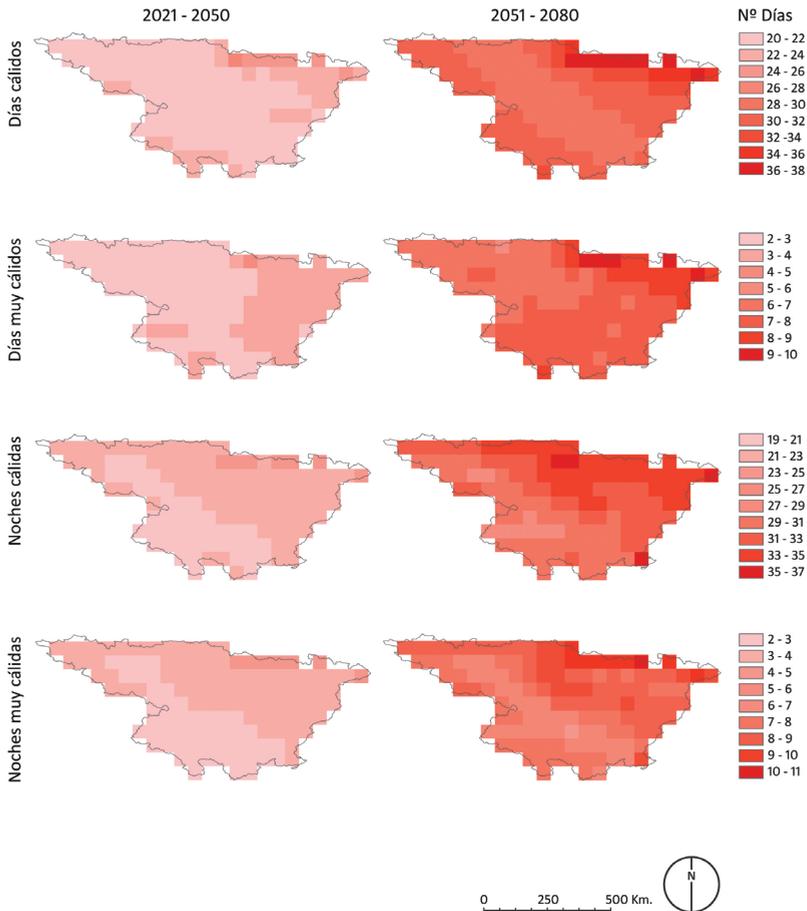


FIG. 4: Número medio anual de días y noches cálidos y muy cálidos para los períodos 2021-2050 y 2051-2080 simulado por los 12 modelos climáticos regionales

Finalmente la tabla 2 muestra que el número medio de días simulados de fusión ( $T_{max} > 0^{\circ}C$ ) durante el período de control fue de 57,6. Estos eventos se prevé que aumenten en frecuencia a 75,5 y 85,3 días por año en 2021-2050 y 2051-2080 respectivamente. Los días de fusión intensa ( $T_{max} > 10^{\circ}C$ ) se prevé aumenen de una media de 3 eventos para el período de control a 6,2 y 9,5 en 2021-2050 y 2051-2080 respectivamente. Las noches de fusión ( $T_{min} > 0^{\circ}C$ ) también se prevé que aumenten de una media de 10,7 a 20,5 y 33,1 para los 2021-2050 y 2051-2080.

	1961-1990	2021-2051	2051-2080
Tmin > 0°C	10.65	20.48	33.12
Tmax > 0°C	57.63	75.54	85.25
Tmax > 10°C	2.98	6.2	9.52

TABLA 2: Número de días de fusión intensa y muy intensa ( $T_{max} > 0^{\circ}\text{C}$  y  $T_{max} > 10^{\circ}\text{C}$ ) y noches de fusión ( $T_{min} > 0^{\circ}\text{C}$ ) simulados para un periodo control y dos periodos futuros.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se ha analizado las tendencias en la ocurrencia de eventos cálidos invernales en la cuenca del río Ebro para el período 1959-2006, así como las proyecciones futuras simuladas por un conjunto de modelos climáticos regionales. Todos los índices utilizados en el estudio han mostrado una tendencia positiva a lo largo de las últimas décadas. La tendencia encontrada coincide con estudios previos que han analizado las tendencias de las temperaturas extremas en el área Mediterránea. Así, diversos indicadores han sugerido un aumento en las temperaturas extremas del invierno en el Mediterráneo occidental (Efthymiadis et al, 2011) y la Península Ibérica, en particular, (Brunet et al, 2007; Rodríguez-Puebla et al., 2010; El Kenawy et al., 2011). Estas tendencias han sido por lo general relacionadas con la evolución de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la oscilación del Atlántico oriental (EA) (Fernández-Montes y Rodrigo, 2010). La ocurrencia de días cálidos ha mostrado el mayor incremento, siendo la tendencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) en el 92% de los observatorios. La mayoría de los observatorios también mostraron un aumento de los días muy calurosos, las noches cálidas y muy cálidas, pero el porcentaje de observatorios en los que las tendencias fueron estadísticamente significativas fue menor (55-60%). Si bien la magnitud del cambio en días cálidos no mostró un patrón espacial particular, los aumentos en los otros índices fueron mayores en las zonas montañosas del norte y del este de la cuenca del Ebro.

En relación a las tendencias mostradas anteriormente, también han aumentado de forma notable el número días y noches de fusión. Estas tendencias pueden explicar el cambio en los regímenes fluviales de las cabeceras de las montañas de la cuenca del río Ebro, donde la escorrentía de invierno ha aumentado en importancia relativa respecto a los caudales de primavera (López-Moreno y García-Ruiz, 2004).

Las simulaciones de los modelos climáticos regionales (RCMs) sugieren un marcado incremento de los días cálidos y muy cálidos y las noches muy cálidas, lo cual es consistente con las tendencias observadas. Otros estudios también han informado de la coherencia entre las tendencias observadas y las simulaciones de RCMs con respecto a las temperaturas extremas (Ramos et al., 2011). El aumento previsto es claramente mayor para el período 2051-2080 que para el período 2021-2050. La magnitud del cambio proyectado para las próximas décadas es casi el mismo para las temperaturas diurnas y nocturnas. Las zonas montañosas de la cuenca del Ebro son en las que se espera un mayor incremento de los eventos cálidos. Tal evolución podría dar lugar a una mayor frecuencia de inundaciones invernales en los ríos de las cabeceras (Beniston, 2005) y reducir significativamente la cantidad de nieve acumulada durante los meses de primavera, que es esencial para el suministro de agua para la agricultura durante primavera y verano (López-Moreno et al, 2008). Por otra parte, una mayor frecuencia de eventos cálidos durante el invierno puede dar lugar a adelantar el comienzo de la floración y la actividad vegetativa de los árboles y los cultivos de la región (por ejemplo, almendros y trigo), que podrían aumentar su vulnerabilidad a los eventos de heladas que posteriormente puedan ocurrir (Beniston et al., 2011).

**Agradecimientos**

Agradecemos a la Agencia Estatal de Meteorología el suministro de datos utilizados en este estudio. Este trabajo ha sido financiado por los proyectos cicyt CGL2011-27574-CO2-02 and CGL2011-27536, el proyecto europeo ACQWA (FP7-ENV-2007-1- 212250), el proyecto DGA-La Caixa: “Efecto de los escenarios de cambio sobre la hidrología superficial y la gestión de embalses del Pirineo Aragonés, y el proyecto financiado por la Comunidad de Trabajo de los Pirineos (CTTP01/10): “La Influencia del cambio climático en el turismo de nieve”.

**REFERENCIAS**

- Beniston M, Stephenson DB, Christensen OB, Ferro CAT, Frei, C, Goyette S, Halsnaes K, Holt T, Jylhä K, Koffi B, Palitikof J, Scöll R, Semmler T, Woth K. (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81:71-95.
- Beniston M. (2011). Warm Winter spells in the Swiss Alps: Strong heat waves in a cold season? A study focusing on climate observations at the Saentis high mountain site. *Geophysical Research Letters* 34, L16710.
- Brunet M, Jones PD, Sigro J, Saladie O, Aguilar E, Moberg A. (2007). Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850–2005. *Journal of Geophysical Research* 112: D12117, doi:10.1029/2006JD008249.
- dos Santos, C.A.C., Neale, C.M.U., Rao, T.V.R., da Silva, B.B. (2011). Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA *International Journal of Climatology* 31 (12) , pp. 1813-1822
- El Kenawy A, López-Moreno JI, Vicente-Serrano SM (2011). Recent changes in daily temperature extremes in Northeastern Spain: 1960–2006. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11: 1-21.
- Efthymiadis D, Goodess CM, Jones PD. (2011) Trends in Mediterranean gridded temperature extremes and large-scale circulation influences. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11: 2199-2214.
- Fernández-Montes S, Rodrigo FS. (2011). Trends in seasonal indices of daily temperature extremes in the Iberian Peninsula, 1929–2005. *Hydrological Processes* (in press). DOI: 10.1002/joc.3399.
- García-Herrera R, Diaz J, Trigo RM, Hernández E. (2005). Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions. *Annales Geophysicae* 23: 239-251.
- Hansen J, Ruedy R, Sato M, Lo K. (2010). Global surface temperature change. *Reviews of Geophysics* 48: RG4004, 29 pp.
- López-Moreno J I, García-Ruiz JM, Beniston M. (2008). Environmental Change and water management in the Pyrenees. Facts and future perspectives for Mediterranean mountains. *Global and Planetary Change* 66 (3-4): 300-312.
- López-Moreno JI, Vicente-Serrano SM, Moran-Tejeda E., Zabalza J, Lorenzo-Lacruz J, García-Ruiz JM. (2011). Impact of climate evolution and land use changes on water yield in the Ebro basin. *Hydrology and Earth System Science* 15: 311-322.
- Nakicenovic N, Grübler A, McDonalds A. (1998). *Global Energy Perspectives*. Ed. Cambridge University Press, Cambridge, 299 pp.
- Ramos AM, Trigo RM, Santo FE. (2011). Evolution of extreme temperatures over Portugal: recent changes and future scenarios. *Climate Research* 48: 177-192.
- Rodríguez-Puebla C., Encinas AH, Garcia-Casado LA, Nieto S. (2010). Trends in warm days and cold nights over the Iberian Peninsula: relationships to large-scale variables. *Climatic Change* 100: 667-684.
- Stepanek P., Zahradníček P, Skalák P. (2009). Data quality control and homogenization of the air temperature and precipitation series in the Czech Republic in the period 1961-2007. *Advances in Science and Research* 3: 23-26.

