

# Avances en Ciencias de la Tierra

Volumen 10 · Diciembre 2020

Avances en Ciencias de la Tierra



Environmental | Physics | Laboratory

## EPhysLab

# Universidad de Vigo

ISSN: 2172-9328



# Avances en Ciencias de la Tierra

Volumen 10, Diciembre 2020

ISSN 2172-9328

Editado por EPHYSLAB en colaboración con la Asociación  
Ambiental ESCLIMA



**Equipo Editorial** (responsable de este volumen)

**Editores en Jefe:**

**M. Des**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
mdes@uvigo.es

**O. García-Feal**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
orlando@uvigo.es

**Editores**

**X. Costoya**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
xurxocostoya@uvigo.es

**M.C. Sousa**  
CESAM/Physics Department  
Universidade de Aveiro  
mcsousa@ua.pt

**A.J.C. Crespo**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
alexbexe@uvigo.es

**M. de Castro**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
mdecastro@uvigo.es

**J. M. Domínguez**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
jmdominguez@uvigo.es

**M. Gómez-Gesteira**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
mggesteira@uvigo.es

**J. González Cao**  
EPhysLab, CIM-UVIGO  
Universidade de Vigo  
jgcao@uvigo.es







## Introducción

La revista *Avances en Ciencias de la Tierra* (ACT) es una publicación científica centrada en los distintos ámbitos de conocimiento relacionados con las Ciencias de la Tierra. A diferencia de otras publicaciones científicas centradas en el mismo ámbito, muchas de las cuales se encuentran indexadas dentro del *Science Citation Index* (SCI), ACT tiene una doble vertiente. Por un lado, como muchas de las anteriormente citadas publicaciones, mantiene una vertiente científica y, por otro lado, pretende añadir un cierto carácter docente a los trabajos que en ella se publican. Esto último, claro está, sin perder un ápice de su rigor científico. Esto hace que la revista ACT sea, primero, un banco de pruebas donde alumnos de diversos grados y másteres aprendan las técnicas de publicación científica y, segundo, una publicación científica al uso donde el rigor científico en los contenidos alcance los mismos niveles que en la mayoría de las publicaciones científicas “tradicionales”.

Uno de los objetivos principales de la investigación científica es la publicación de sus resultados con el fin de que éstos puedan ser compartidos con el resto de la comunidad científica con el fin de difundirlos, validarlos y corroborarlos o rebatirlos. La publicación de una investigación científica, usualmente en forma de un artículo científico, requiere de una labor de escritura que no resulta sencilla ya que hay una serie de principios y técnicas que deben conocerse y respetarse con el fin de comunicar lo más claramente posible el resultado de dicha investigación a una audiencia experta y profesional. Estos principios fundamentales que deben regir la escritura de un buen artículo científico son tres: brevedad, claridad y precisión. Partiendo de estos tres principios fundamentales, nuestra labor como docentes tiene como objetivo enseñar a los alumnos las normas metodológicas generales que les permitan escribir un buen artículo.

Las características principales de un buen artículo científico, las cuales los alumnos que pretendan sumergirse en la escritura de los mismos deben conocer, son:

- Un artículo científico es un informe sobre los resultados de una investigación relativa a un problema de carácter científico.
- Los resultados de dicha investigación deben ser válidos, fidedignos y reproducibles, a fin de que puedan ser contrastados por el resto de la comunidad científica.



- Los resultados presentados deben ser originales, por lo tanto, un artículo no debe comunicar unos hallazgos que ya hayan sido previamente descritos por los miembros de la comunidad científica. Existe la excepción de los llamados artículos de revisión, donde los autores revisan el estado del conocimiento sobre un cierto tema, para lo cual compilan los resultados presentados en artículos previamente publicados.

La estructuración del artículo científico es uno de los aspectos a los que se debe prestar también mucha atención. Usualmente los artículos científicos se estructuran de la siguiente forma: primero, además del título, el cual debe ser claro, exacto y conciso, y de la lista de autores, el artículo debe contener un breve resumen donde se describan de forma somera los principales logros de la investigación; a continuación, se debe escribir una introducción de carácter general, para posteriormente detallar los datos y la metodología empleada; posteriormente deben presentarse los resultados, así como una discusión en la que se relacionen los avances mostrados en el manuscrito con el conocimiento previo contenido en la bibliografía. Para ello es necesario que el alumno haya realizado con anterioridad una completa búsqueda bibliográfica que también debe incluirse en el manuscrito. Finalmente, y con carácter opcional, se puede incluir una conclusión, en la que se enumeren y resuman los principales hallazgos de la investigación. Además de lo anterior, no se pueden dejar de lado aspectos formales como, por ejemplo, el empleo de un lenguaje correcto y conciso

Para asegurar que los artículos publicados supongan un avance significativo en el área de conocimiento se han diseñado los mecanismos de control de la calidad necesarios. Por un lado, se involucrará en la elaboración de los artículos a los supervisores del trabajo, de tal forma que aporten su experiencia en la escritura y estructuración de artículos científicos y, por otro lado, la calidad científica de los artículos será evaluada por dos revisores miembros del equipo editorial y/u otros externos que éstos consideren.

El idioma empleado será, preferiblemente, el español, aunque también existe la posibilidad de presentar los trabajos en gallego, portugués o inglés.



**Contenido**

**Estudio de la evolución futura de la temperatura máxima en las principales ciudades de la Península Ibérica. J. Cid-Fernández, X. Costoya, M. de Castro .....1**

**Tendencias en índices de precipitación y temperatura extrema en Galicia para el periodo 1960-2017. M. Rilo, M. N. Lorenzo.....25**





# Estudio de la evolución futura de la temperatura máxima en las principales ciudades de la Península Ibérica

J. Cid-Fernández\*, X. Costoya, M. de Castro

\* *joucid18@gmail.com*

*EPhysLab (Environmental Physics Laboratory), Facultade de Ciencias,  
Universidade de Vigo,  
Campus As Lagoas s/n, Ourense, Spain*

## RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar cómo evolucionarán a lo largo del S.XXI las temperaturas máximas en todas las ciudades de la Península Ibérica, Baleares, Ceuta y Melilla. Con este propósito, se emplearon datos de 9 modelos regionales del proyecto CORDEX de dos escenarios futuros, el RCP4.5 y el RCP8.5, para analizar cómo evolucionarán las temperaturas máximas medias, los eventos extremos de temperatura y las olas de calor durante la estación cálida (junio-septiembre) para dos periodos futuros: cercano (2020-2049) y lejano (2070-2099). A partir de una comparación con datos reales de una estación meteorológica se observó que las simulaciones de los 9 RCMs tienden a subestimar la temperatura real. Además, se obtuvo un valor global en el test de Perkins de ~75%. Con respecto a la variación de la temperatura máxima media, tomando como referencia el periodo histórico, se proyecta un incremento, del orden de 5°C a 6°C, en el sur e interior peninsular para finales del siglo XXI bajo el escenario RCP8.5, y del orden de 3°C bajo el RCP4.5. En relación al porcentaje de días con eventos extremos bajo el escenario RCP8.5 se espera que haya un incremento entre el 10 y el 15% en zonas del sur e interior peninsular para el futuro cercano. Para finales de siglo habrá lugares situados en zonas del Mediterráneo, sur e interior peninsular donde se espera un incremento mayor del 45% de días con eventos extremos. Las zonas del norte y oeste peninsular no superarán el 25% de incremento de días bajo condiciones extremas para finales de siglo. Por último, en cuanto al porcentaje de días bajo ola de calor bajo el RCP8.5 se espera un aumento considerable sobre todo en el futuro lejano en el que muchas ciudades del sur e interior peninsular superarán el 40% de días bajo ola de calor e incluso zonas bañadas por el Mediterráneo superarán el 55%. Sin embargo, en zonas bañadas por el Atlántico y en ciudades del norte peninsular el incremento será mucho menor sin llegar a superar el 25% de días bajo ola de calor.

*Palabras Clave:* CORDEX, Temperatura máxima, eventos extremos, olas de calor, Península Ibérica.

---

## 1. Introducción

El clima es el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y la evolución del tiempo, en un periodo suficientemente largo y en un dominio espacial

determinado. Una de sus principales características es su variabilidad natural, que ha provocado sucesivas variaciones de muy diverso calado a lo largo de los milenios desde la creación del Planeta. En estas variaciones el ser humano no ha tenido ninguna influencia, sin



embargo, el desarrollo y crecimiento a partir de la Revolución Industrial, basado principalmente en la quema de combustibles fósiles, está modificando la composición de la atmósfera incrementando la concentración de gases de efecto invernadero, lo que conlleva una serie de consecuencias sobre el clima.

Podemos definir como cambio climático a la variación global del clima que puede ser debido a causas naturales o antropogénicas. En estas circunstancias todos los parámetros climáticos pueden cambiar o agravarse en diversas escalas de tiempo. El cambio climático está teniendo lugar y continuará en las próximas décadas y siglos. Los humanos somos la causa principal (con una probabilidad del 95%) de más de la mitad del aumento observado en la temperatura superficial media global en el periodo (1951-2010) (IPCC, 2013). Si no hay una acción urgente y significativa para reducir nuestras emisiones de gases de efecto invernadero, los impactos del cambio climático serán más graves.

Además de conocer las variaciones que tuvieron lugar en el clima pasado, es de gran importancia conocer cómo variará el clima en el futuro ya que esto nos permite anticiparnos y poder implementar medidas de atenuación y adaptación a las posibles consecuencias de este. La mejor herramienta con la que contamos para llevar a cabo esta proyección futura del clima son los modelos climáticos. Un modelo climático global (GCM) nos proporciona información de predicción en escalas de más de 100 años con mallas que recorren todo el planeta. Estos modelos climáticos ofrecen la posibilidad de anticipar la forma en la que el sistema climático podrá ser modificado por los humanos durante los siglos que vienen. La proyección

climática es la respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o concentraciones de los aerosoles o gases de efecto invernadero (IPCC, 2013). Si bien los GCMs pueden simular bien el clima global, tienen limitaciones a la hora de captar detalles del clima a escala regional. Los modelos climáticos regionales (RCMs) se aplican sobre áreas limitadas. Los RCMs pueden proporcionar información sobre regiones con una mayor resolución orográfica permitiendo un mayor detalle del impacto.

En la actualidad, el proyecto Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX) proporciona proyecciones climáticas regionales de alta resolución hasta el año 2100. Este proyecto cuenta con un total de 14 dominios (regiones a lo largo del globo en las que se aplica la regionalización) con una resolución de 50 km. Con respecto al dominio que abarca Europa (EURO-CORDEX), dependiendo de la variable climática, existen disponibles dos resoluciones espaciales: una estándar (0,44°) (EUR-44, ~50km), y otra de mayor resolución 0,11° (EUR-11, ~12,5km). Para realizar estas simulaciones CORDEX emplea modelos climáticos globales (GCMs) como condiciones de frontera que provienen del proyecto de intercomparación de modelos acoplados en su 5ª fase (CMIP5).

Para determinar cuál será el futuro del clima de la Tierra, es necesario conocer la evolución futura de estos forzamientos antropogénicos, lo cual nos obliga a acudir a los denominados escenarios de emisiones definidos por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) (IPCC, 2013) como una representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias relativamente activas (gases

efecto invernadero y aerosoles) basada en un conjunto coherente de supuestos sobre los factores que las impulsan (el desarrollo demográfico y socio-económico, el cambio tecnológico, la energía y el uso del suelo) y las principales relaciones entre ellos.

Los primeros escenarios de emisiones fueron presentados en 1992 y sirvieron para obtener las primeras proyecciones climáticas. En el Quinto Informe de Evaluación (AR5) han utilizado cuatro escenarios que consideran las políticas climáticas, denominadas Sendas Representativas de Concentración o Trayectorias de Concentración Representativa (RCP) (IPCC, 2013). Estos RCPs se definen como escenarios que abarcan series temporales de emisiones de los gases de efecto invernadero y aerosoles (Moss *et al.*, 2010). Estos RCPs se identifican por el incremento del forzamiento radiativo total aproximado para el año 2100 respecto a la época preindustrial y que oscila entre 2.6 y 8.5 W/m<sup>2</sup> como podemos observar en la tabla 1.

	FR	Tendencia FR en 2100	[CO <sub>2</sub> ] en 2100
<b>RCP 2.6</b>	2,6 W/m <sup>2</sup>	Decrecente	421 ppm
<b>RCP 4.5</b>	4,5 W/m <sup>2</sup>	Estable	538 ppm
<b>RCP 6.0</b>	6,0 W/m <sup>2</sup>	Crecente	670 ppm
<b>RCP 8.5</b>	8,5 W/m <sup>2</sup>	Crecente	936 ppm

TABLA 1. Escenarios RCP. Fuente: IPCC (2013).

### 1.2 Eventos climáticos extremos.

Un evento climático extremo se define como un suceso meteorológico anómalo según su distribución estadística para un lugar determinado. Estos eventos tienen gran importancia ya que pueden afectar a toda la población y causar numerosos daños en la zona donde se producen. Algunos ejemplos de eventos extremos son: olas de calor, de frío, sequías, inundaciones, etc. Un estudio reciente culpa al incremento en el forzamiento radiativo, como consecuencia del

aumento de gases de efecto invernadero, como la principal causa del incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos (Schoof e Robeson, 2016).

Al analizar un evento extremo es de gran importancia establecer el valor umbral a partir del cual consideramos que un determinado fenómeno es extremo. Existe la posibilidad de establecer un valor arbitrario común a toda la zona seleccionada o adecuar el valor umbral a cada una de las localizaciones estableciendo un criterio estadístico. Esta segunda opción es la que sigue la Agencia Española de Meteorología (AEMET), que toma como valor umbral para establecer un evento extremo de temperatura el percentil 95. Es importante tener en cuenta que los valores normales difieren mucho de unas zonas a otras, y por tanto cuando se analiza una región amplia no es recomendable establecer el mismo límite para toda ella.

El análisis de la frecuencia e intensidad de los eventos extremos de temperatura máxima y en especial de las olas de calor ha recibido gran atención por parte de la comunidad científica debido a sus importantes repercusiones en diferentes ámbitos como pueden ser el incremento de la mortalidad durante estos eventos o su relación con los incendios forestales. La exposición humana a temperaturas ambientales elevadas puede provocar una respuesta fisiológica insuficiente del sistema termorregulador como, por ejemplo, golpes de calor, insolación y deshidratación. Las personas que viven en ambientes urbanos pueden estar sometidas a mayor riesgo de mortandad que las que viven en zonas rurales, esto es debido a que hay mayores índices de calor como la combinación de humedad y temperatura (Patz, 2005). A este fenómeno se le denomina isla de calor, y ocurre en zonas urbanas debido



principalmente a la retención de calor durante el día como consecuencia de los materiales de todas las infraestructuras urbanas (hormigón y materiales absorbentes) que expulsan el calor acumulado durante la noche. Esto hace que la temperatura no descienda tanto como en las zonas rurales.

### 1.3 Área de estudio

Este trabajo se va a concentrar en 53 ciudades de la Península Ibérica, abarcando todas las capitales de provincia españolas y 3 ciudades de Portugal (Porto, Lisboa y Faro). No se incluyen las ciudades de Canarias porque el dominio de los datos utilizados no es lo suficientemente grande como para incluir este territorio insular.

Según datos del INE para la población española y datos de Eurostat para Portugal, la población total de la Península Ibérica es de 56.781.000 habitantes para el año 2018. Las ciudades estudiadas representan una buena muestra poblacional de la Península Ibérica ya que, según el INE, la población total de las 50 ciudades españolas analizadas suma una población total de 14.491.762 habitantes en 2018 y, según los registros oficiales del Eurostat (Oficina Europea de Estadística) en el año 2017, las tres ciudades analizadas de Portugal, suman un número total de 828.947 habitantes. En total la muestra poblacional es de 15.320.709 habitantes para todas las ciudades analizadas de la Península Ibérica. Las ciudades seleccionadas representan por lo tanto el 26,9% de la población total de España y Portugal.

En la figura 1 podemos ver el percentil 95 de las temperaturas máximas de julio y agosto en el periodo 1971-2000 para toda España y Baleares. Podemos fijarnos en que el percentil de las

temperaturas máximas es mayor en todo el interior y sur peninsular. Alcanzando los valores más altos en Extremadura y la zona este de Andalucía, con valores alrededor de los 40°C. En el norte y en zonas altas es dónde este percentil es menor, con un rango de temperatura máxima que abarca desde los 22° hasta los 34°C dependiendo de si estamos próximos a la costa o en el interior. Para la zona del centro peninsular no hay tanta oscilación y la temperatura máxima va desde los 34° a los 36°C.

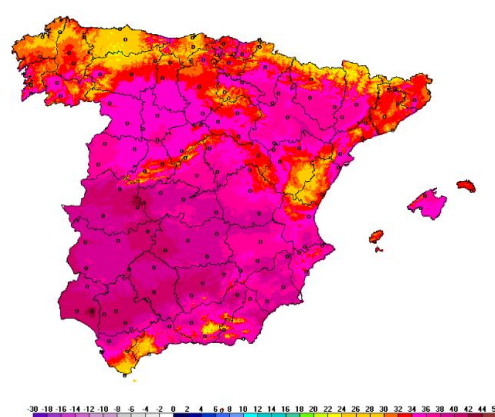


Fig 1. Percentil 95 de las temperaturas máximas de julio y agosto durante el período (1971-2000) en todas las ciudades y estaciones cerca de estas. Fuente (AEMET).

### 1.4 Objetivos

El principal objetivo de este estudio es conocer cómo evolucionarán las temperaturas máximas en las capitales de provincia españolas y en las tres principales ciudades de Portugal a lo largo del siglo XXI. Para ello, se utilizan datos de temperatura máxima del proyecto CORDEX bajo las condiciones de dos escenarios futuros (RCP4.5 y RCP8.5). Como paso previo se lleva a cabo una validación de los datos de CORDEX a través de una comparación entre los datos de las simulaciones para el periodo histórico y las diferentes series medidas in-situ en algunas estaciones dependientes de AEMET.

A partir de las simulaciones para el periodo histórico (1980-2005) y para los dos periodos futuros: uno próximo (2020-2049) y otro lejano (2070-2099), se calcula la variación de las temperaturas máximas teniendo en cuenta la estación cálida (junio-septiembre) y posteriormente se analiza el número de días bajo condiciones extremas y bajo condiciones de ola de calor y sus implicaciones en la salud humana.

## 2. Datos y procedimiento

### 2.1. Datos

#### 2.1.1. Datos de CORDEX

Se utilizaron los datos de temperatura máxima del aire en superficie del proyecto CORDEX para analizar sus proyecciones futuras. CORDEX realiza proyecciones futuras de las variables climáticas a escala regional, bajo los distintos escenarios de emisión utilizados en el CMIP5 (Giorgi *et al.* 2009). Estas proyecciones futuras se extienden a lo largo del siglo XXI.

En este trabajo todos los RCMs seleccionados (pertenecientes al dominio EURO-CORDEX, figura 2, <http://www.euro-cordex.net/>) tienen una resolución espacial de  $0.11^\circ \times 0.11^\circ$ . Para la obtención de las series temporales de la temperatura máxima correspondientes a cada ciudad se realizó un promedio de los cuatro elementos de la malla más cercanos, dándole un peso diferente a cada uno en función de la distancia a la ciudad correspondiente. Se consideraron un total de 9 RCMs derivados del proyecto CORDEX. La tabla 2 muestra cada uno de ellos indicando también las fuentes de datos con las que fueron alimentados (GCMs) y el instituto que se ocupó de realizar las diferentes simulaciones.

GCM	RCM	INSTITUTO
CNRM-CM5	CCLM4-8-17	CLMcom
CNRM-CM5	RCA4	SMHI
IPSL-CM5A-MR	RCA4	SMHI
IPSL-CM5A-MR	WRF331F	IPSL
MPI-ESM-LR	CCLM4-8-17	CLMcom
MPI-ESM-LR	RCA4	SMHI
EC-EARTH	RACMO22E	KNMI
HadGEM2-ES	CCLM4-8-17	CLMcom
HadGEM2-ES	RCA4	SMHI

TABLA 2. Simulaciones del proyecto CORDEX empleadas en el presente trabajo.

La tabla 3 recoge todas las ciudades seleccionadas para llevar a cabo este estudio, que son tres ciudades de Portugal (Porto, Lisboa y Faro) y todas las capitales de provincia españolas, sin incluir las Islas Canarias ya que como se puede ver en la figura 2, éstas quedan fuera del dominio de EURO-CORDEX. Esto hace un total de 53 ciudades analizadas tal y como se detalla en la tabla 2.2. Los datos fueron descargados a través del servidor alemán de CORDEX:

<https://esgf-data.dkrz.de/search/cordex-dkrz/>. Como se puede ver en la figura 3 la selección de estas ciudades abarca las diferentes zonas climáticas de la Península Ibérica, Baleares, Ceuta y Melilla.



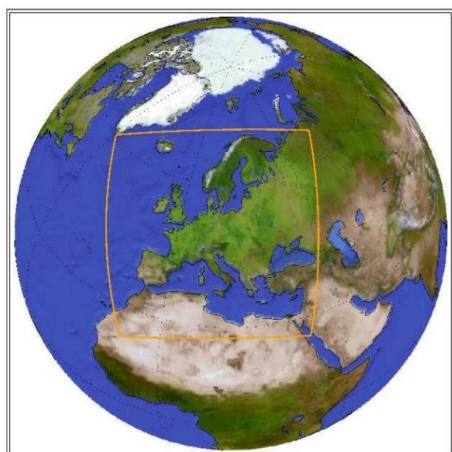


Fig 2. Dominio EURO-CORDEX.

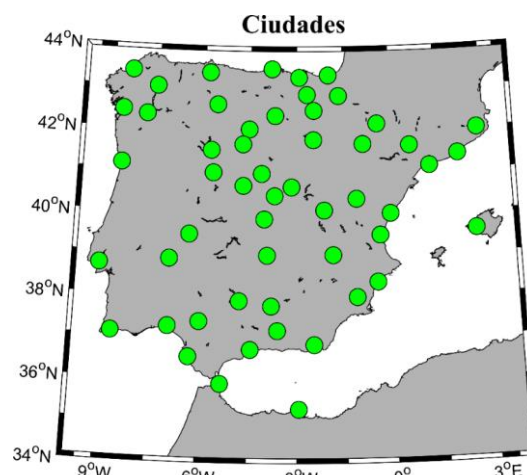


Fig. 3. Localización de las 53 ciudades analizadas.

<b>Ciudades</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Ciudades</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
<i>Albacete</i>	-1,8600	38,9976	<i>Madrid</i>	-3,7003	40,4166
<i>Alicante</i>	-0,4810	38,3452	<i>Málaga</i>	-4,4200	36,7196
<i>Almería</i>	-2,4679	36,8401	<i>Melilla</i>	-2,9387	35,2923
<i>Ávila</i>	-4,7003	40,6564	<i>Murcia</i>	-1,1298	37,9834
<i>Badajoz</i>	-6,9702	38,8786	<i>Ourense</i>	-7,8646	42,3400
<i>Barcelona</i>	2,1699	41,3879	<i>Oviedo</i>	-5,8447	43,3602
<i>Bilbao</i>	-2,9234	43,2569	<i>Palencia</i>	-4,5311	42,0124
<i>Burgos</i>	-3,6997	42,3408	<i>Palma</i>	2,6499	39,5695
<i>Cáceres</i>	-6,3707	39,4761	<i>Pamplona</i>	-1,6467	42,8172
<i>Cádiz</i>	-6,2926	36,5296	<i>Pontevedra</i>	-8,6480	42,4336
<i>Castellón</i>	-0,0376	39,9859	<i>Salamanca</i>	-5,6630	40,9649
<i>Ceuta</i>	-5,3161	35,8882	<i>San Sebastián</i>	-1,9750	43,3128
<i>Ciudad real</i>	-3,9272	38,9861	<i>Santander</i>	-3,8079	43,4609
<i>Córdoba</i>	-4,7791	37,8847	<i>Segovia</i>	-4,1192	40,9494
<i>Coruña</i>	-8,3958	43,3708	<i>Sevilla</i>	-5,9962	37,3826
<i>Cuenca</i>	-2,1340	40,0718	<i>Soria</i>	-2,4649	41,7636
<i>Gasteiz</i>	-2,6678	42,8464	<i>Tarragona</i>	1,2453	41,1186
<i>Gerona</i>	2,8237	41,9818	<i>Teruel</i>	-1,1069	40,3441
<i>Granada</i>	-3,5979	37,1764	<i>Toledo</i>	-4,0244	39,8567
<i>Guadalajara</i>	-3,1664	40,6298	<i>Valencia</i>	-0,3768	39,4702
<i>Huelva</i>	-6,9495	37,2571	<i>Valladolid</i>	-4,7283	41,6529
<i>Huesca</i>	-0,4088	42,1401	<i>Zamora</i>	-5,7437	41,5036
<i>Jaén</i>	-3,7895	37,7657	<i>Zaragoza</i>	-0,8765	41,6562
<i>León</i>	-5,5717	42,5998	<i>Porto</i>	-8,6109	41,1496
<i>Lleida</i>	0,6257	41,6141	<i>Lisboa</i>	-9,1333	38,7166
<i>Logroño</i>	-2,4499	42,4657	<i>Faro</i>	-8,6742	37,1030
<i>Lugo</i>	-7,5558	43,0120			

TABLA 3. Coordenadas de las 53 ciudades que se analizaron en el presente trabajo.

### 2.2.1. Datos de AEMET

Se seleccionaron diez estaciones de AEMET (Tabla 4) con el objetivo de cuantificar el grado de fiabilidad de las simulaciones de CORDEX (Tabla 2). Para ello se realizó una comparativa entre la temperatura máxima de cada uno de los RCMs durante el periodo histórico y los datos medidos in-situ por AEMET en diferentes ciudades. Esta comparativa nos permite conocer si todos los modelos muestran un nivel similar de fiabilidad, o si llegado el caso es necesario no contar con algún RCM por su escasa similitud con los datos medidos in-situ.

La selección de las ciudades se hizo tratando de abarcar las diferentes zonas de la Península Ibérica (costa e interior, Atlántico y Mediterráneo y zonas del norte, centro y sur Peninsular). Además, también se priorizó que las series con datos de temperatura de cada una de las ciudades abarcase por completo el periodo histórico seleccionado para analizar los datos de las simulaciones de CORDEX, es decir, el periodo 1976-2005.

Los datos diarios se tomaron de la página web de AEMET, concretamente de su sección de datos en abierto (<https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>).

Ciudades	Identificador	Latitud	Longitud	Inicio datos	Fin datos	Altitud
<i>A Coruña</i>	1387	432157N	082517W	01/10/1930	Actual	58
<i>Bilbao</i>	1082	431753N	025423W	01/03/1947	Actual	42
<i>León</i>	2661	423518N	053904W	01/01/1938	Actual	912
<i>Valladolid</i>	2422	413827N	044516W	01/10/1973	Actual	735
<i>Barcelona</i>	0076	411734N	020412E	01/03/1924	Actual	4
<i>Valencia</i>	8414A	392906N	002829W	01/01/1965	Actual	56
<i>Madrid</i>	3195	402443N	034041W	01/01/1920	Actual	667
<i>Ciudad Real</i>	4121	385921N	035513W	01/11/1970	Actual	628
<i>Cádiz</i>	5973	362959N	061528W	01/11/1935	Actual	2
<i>Melilla</i>	6000A	351635N	025723W	01/01/1965	Actual	52

TABLA 4. Ubicación, periodo con datos disponibles y altitud de cada estación de AEMET seleccionada para realizar la validación de los RCMs de CORDEX.

## 2.2. Métodos

### 2.2.1. Multimodelo

Para la realización de este estudio se utilizó un enfoque de multimodelo, que consiste en hacer una media de todos los valores de temperatura máxima de los 9 RCMs con los que contamos (Tabla 2). Diferentes estudios que trabajaron con varios modelos de proyecciones futuras mostraron que este enfoque permite reducir los errores individuales de cada uno de los modelos (Jacob *et al.*, 2014).

Al disponer de 9 RCMs, cada cálculo (porcentaje de días bajo condiciones extremas y porcentaje de días bajo condiciones de ola de calor) va acompañado de una desviación estándar que se calcula mediante la fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (1)$$

donde  $\sigma$  es la desviación estándar;  $x_i$  es el valor correspondiente a cada RCM, mientras que  $\bar{x}$  es una media de todos los modelos; N es el número de RCMs, 9 en este caso.



### 2.2.2. Eventos extremos y olas de calor

Entendemos como evento extremo de temperatura aquel día en el que la temperatura máxima supera el percentil 95 de la serie de temperatura máxima diaria tomando como referencia el período histórico. Esta metodología es la que adopta AEMET en sus estudios de eventos extremos. Como ola de calor definimos aquel episodio de al menos tres días consecutivos en el que se registran máximas por encima del percentil 95 de su serie de temperaturas máximas diarias, es decir, la consecución de al menos 3 días con temperaturas máximas extremas.

En esta sección, es necesario destacar que para todas las ciudades elegimos la estación cálida como el periodo que va desde junio a septiembre. Se han tomado estos cuatro meses porque en algunas de las ciudades analizadas se observó que los 3 meses más cálidos eran los que iban de junio a agosto, mientras que en otras eran los meses de julio a septiembre. Por lo tanto, teniendo en cuenta que en la mayoría de ellas las diferencias de temperatura entre junio y septiembre era poca, se decidió tomar estos 4 meses como estación cálida.

### 2.2.3. Análisis de la fiabilidad de los RCMs

La validación de los datos de temperatura máxima para cada RCM de CORDEX se llevó a cabo mediante la comparación con datos in-situ de las 10 estaciones de AEMET mencionadas anteriormente (Tabla 3). Los datos de las dos bases se promediaron mensualmente para el período 1976-2005 y posteriormente se compararon utilizando dos estadísticas. Por un lado, se realizó una comparación de los valores medios de cada serie y por otro lado se aplicó un test de análisis de

solapamiento, o test de Perkins (Perkins *et al.*, 2007).

Es importante tener en cuenta que la selección de estas dos estadísticas para realizar la validación se debe a que son complementarias, ya que mientras que la comparación de las medias de ambas series nos da una idea del error en relación al valor medio de las mismas, el análisis de solapamiento lo que nos cuantifica es la variación a lo largo de todo el rango de distribución de valores (o función de densidad de probabilidad).

La comparación de los valores medios se hizo calculando en primer lugar el promedio de temperatura máxima para cada estación de AEMET y para cada uno de los 9 RCMs para dicha estación para el periodo histórico. Posteriormente se calculó un porcentaje de error (PE) aplicando la siguiente fórmula:

$$PE = 100 \times \frac{T_{mod} - T_{est}}{T_{ref}} \quad (2)$$

Donde PE es el porcentaje de error (%),  $T_{mod}$  es la temperatura máxima media de cada modelo para el período histórico,  $T_{est}$  es la temperatura máxima media para cada estación y  $T_{ref}$  es el promedio de estas dos temperaturas anteriores ( $T_{mod}$  y  $T_{est}$ ).

En relación al test de solapamiento, lo que se hizo es comparar el grado de solapamiento de los valores de temperatura máxima medios en diferentes rangos de distribución de valores (% de probabilidad). Dicho rango, no es más que la agrupación de datos obtenidos del modelo y de la estación in-situ, en intervalos de 1°C entre los 0 y los 30°C, con lo que se tienen 30 rangos de distribución. Tomamos, dentro de cada uno de los 30

rangos el valor más bajo de la frecuencia de temperatura máxima media, ya sea el de la estación in-situ o la del modelo. Una vez tenemos esos 30 valores más pequeños, los sumamos y seguidamente los multiplicamos por 100 para obtener el porcentaje de solapamiento. En función de este dato, sabremos la similitud entre los valores observados y nuestros valores, siendo más parecidos cuanto más cerca del 100% se encuentren.

### 3. Resultados

#### 3.1. Validación de datos

##### 3.1.1. Temperatura máxima media

La Tabla 5 representa el porcentaje de error entre ambas series mostrando mayoritariamente valores negativos en todas las estaciones seleccionadas para la validación. Teniendo en cuenta que, tal y como se explicó en la sección 2 (Subsección 2.2.3), el porcentaje de

error se calculó como el valor medio de cada modelo menos el valor medio de la serie in-situ, un valor negativo indica que la temperatura media del modelo es menor que la temperatura in-situ de la estación. Por lo tanto, una primera conclusión que se puede sacar es que la temperatura del modelo subestima la temperatura máxima real en todas las estaciones seleccionadas. De los nueve modelos considerados, el modelo 7 es el que tiene un menor porcentaje de error, seguido del 6 y del 5. Lo que nos indica que estos modelos subestiman menos la temperatura real dada por la estación. Aunque se tratará en mayor detalle en la discusión de los resultados, comentar que los menores valores en el modelo pueden ser causados por diferentes motivos como, por ejemplo, el efecto isla de calor en las ciudades o la selección de los píxeles que representan a cada ciudad en cada modelo.

Estaciones	Modelos									Promedio Estación
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A Coruña	-13	-14,5	-14,5	-19	-12,7	-1,5	-3,4	-6,6	-8,6	<b>-10,4 ± 5,8</b>
Santander	-15,7	-16,6	-19,6	-18,5	-15,3	-7,9	-7,9	-10,8	-12,7	<b>-13,9 ± 4,3</b>
León	-29	-22,8	-19,2	-23	-10,9	-10,2	-7,2	-17,9	-12,1	<b>-16,9 ± 7,3</b>
Valladolid	-25,8	-18,5	-16,1	-22,2	-7,3	-11,3	-6,5	-17,9	-10,2	<b>-15,1 ± 6,7</b>
Barcelona	-15,2	-9,9	-18,1	-13,6	-6,3	-6,7	-3,8	-8,7	-6,3	<b>-9,8 ± 4,8</b>
Valencia	-7,3	-10,6	-15,8	-9,2	-6,8	-3,8	-7,1	-3,3	-8,2	<b>-8,0 ± 3,7</b>
Madrid	-16,2	-11,1	-10,8	-14,3	0,2	-3,4	-1,3	-9,4	-4,1	<b>-7,8 ± 5,8</b>
Ciudad Real	-16,6	-14,3	-13,4	-19,3	-4	-7,3	-6,6	-12,1	-8,6	<b>-11,4 ± 5,0</b>
Cádiz	-0,9	-2,7	-6,8	-14	-1,1	-0,9	-0,1	2,1	1,8	<b>-2,5 ± 5,0</b>
Melilla	-5,4	-10,3	-18,3	-10,2	-9,3	-12,2	-11	-6,2	-8,8	<b>-10,2 ± 3,7</b>
<b>Promedio RCMs</b>	<b>-14,5</b>	<b>-13,1</b>	<b>-15,3</b>	<b>-16,3</b>	<b>-7,4</b>	<b>-6,5</b>	<b>-5,5</b>	<b>-9,1</b>	<b>-7,8</b>	<b>-11,2</b>
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
	<b>8,6</b>	<b>5,5</b>	<b>4</b>	<b>4,8</b>	<b>4,9</b>	<b>4</b>	<b>3,3</b>	<b>6,1</b>	<b>4,2</b>	<b>6,4</b>

TABLA 5. Porcentaje de error (%) entre el valor medio de temperatura máxima de las series de los modelos de CORDEX y las series de datos in-situ de 10 estaciones de AEMET durante el período histórico (1976-2005). Diferencia calculada como la diferencia del valor del modelo menos los datos in-situ.

En relación al promedio de los nueve modelos para cada estación (última columna de la tabla 5) se puede apreciar que en las estaciones de León,

Valladolid y Santander se obtiene un porcentaje de error cerca del 15% o incluso mayor, lo que indica que en estas ciudades los modelos subestiman

más la temperatura in-situ de la estación. Por el contrario, en las estaciones de Madrid, Valencia, Barcelona o Cádiz el porcentaje de error es menor al 10%, siendo en Cádiz el menor con un valor próximo al 3%. Cabe destacar también que, según el promedio de todos los modelos (última fila de la tabla 5) ninguno supera un porcentaje de error del 20% por lo que según esta estadística no hay razón para descartar ningún modelo.

### 3.1.2. Test de Perkins

El análisis del grado de solapamiento de las series de CORDEX y las series in-situ de AEMET también fue incluido en este trabajo porque nos permite comparar toda la serie de datos y no sólo su valor medio, proporcionando así una medida complementaria a la analizada en la sección anterior.

El promedio del valor de solapamiento a los 9 RCMs es superior al 70% en todas las estaciones consideradas (tabla 6, última columna). El modelo 4 muestra el porcentaje más bajo con un 70,4% y el 9 el más alto con un 77,9%. Por lo tanto, se puede afirmar que no existe ningún modelo que se desvíe significativamente del patrón general, ya que todos ellos se mueven en un rango similar de porcentaje de solapamiento. Por este motivo, se decidió contar con los 9 RCMs seleccionados inicialmente para llevar a cabo el análisis mediante un multimodelo de las proyecciones futuras en la temperatura máxima media, así como el análisis relativo a eventos extremos y olas de calor.

### 3.2. Análisis de variaciones futuras de la temperatura máxima, eventos extremos y olas de calor.

#### 3.2.1. Variaciones futuras de las temperaturas máximas

La tabla 7 muestra los valores de  $T_{\max}$  para cada ciudad bajo los diferentes escenarios y para los distintos periodos. Podemos ver como en muchas ciudades (22 de 53 analizadas), sobre todo del norte peninsular, algunas capitales de Castilla y León, ciudades como Barcelona o Ceuta y una de Portugal como Porto, la  $T_{\max}$  histórica no supera los 25°C. Sin embargo, para el futuro cercano (2020-2049) bajo el RCP8.5 se puede observar una disminución del número de ciudades (14 ciudades) en las que no superarán los 25°C de  $T_{\max}$ . Además, para finales de siglo bajo el RCP8.5 sólo cuatro ciudades no superarán los 25°C de  $T_{\max}$  que se corresponden con las que están más al norte peninsular y a las bañadas por el Atlántico, salvo Oviedo.

También podemos hacer referencia a que solo en cuatro ciudades se superan los 30°C de  $T_{\max}$  histórica y se localizan sobre todo en el sur peninsular. Pero como podemos observar en la tabla 7, en un futuro cercano y bajo un escenario RCP 8.5, se produce un aumento del número de ciudades (con un total de 14) que superarán los 30°C de  $T_{\max}$ , sobre todo las que se localizan en el centro y sur peninsular. Y más agravante es la situación para finales de siglo, ya que bajo el escenario RCP8.5 todas las ciudades, salvo aquellas situadas en zonas del norte y zonas costeras, superarán los 30°C  $T_{\max}$ . Incluso, las ciudades más cálidas como Córdoba y Sevilla podrían superar los 38°C de  $T_{\max}$ .



Estaciones	Modelos									Promedio estación
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A Coruña	66,4	70	70	64,4	68	68,3	72,8	76,9	78,9	<b>70,6 ± 4,8</b>
Santander	69,4	69,4	65	68,2	70,6	79,7	82,6	75	71,2	<b>72,3 ± 5,7</b>
León	68,3	77,2	78,3	70,3	81,1	75,8	79,7	76,9	80,5	<b>76,5 ± 4,4</b>
Valladolid	73,3	76,9	81,1	69,4	80,3	79,7	83,3	76,9	82,5	<b>78,2 ± 4,5</b>
Barcelona	72,5	79,7	66,4	73	84,4	75,3	79,4	78,9	82,8	<b>76,9 ± 5,7</b>
Valencia	71,4	77,8	66,1	72,2	85,3	73,9	78,3	77,8	75,8	<b>75,4 ± 5,4</b>
Madrid	71,7	79,2	75	72,8	73,9	70,3	74,4	75,5	79,2	<b>74,7 ± 3,0</b>
Ciudad Real	72,8	76,4	76,4	68,9	81,9	74,2	76,9	73,6	82,8	<b>76,0 ± 4,3</b>
Cádiz	74,5	74,2	82	68,8	75,7	76	73,6	74,5	71,5	<b>74,5 ± 3,6</b>
Melilla	75,5	75,8	60,8	76,4	75	68,6	70,3	81,9	73,9	<b>73,1 ± 6,0</b>
<b>Promedio RCMs</b>	<b>71,6 ± 2,8</b>	<b>75,7 ± 3,5</b>	<b>72,1 ± 7,4</b>	<b>70,4 ± 3,3</b>	<b>77,6 ± 5,8</b>	<b>74,2 ± 4,1</b>	<b>77,1 ± 4,3</b>	<b>76,8 ± 2,4</b>	<b>77,9 ± 4,5</b>	<b>74,4 ± 5,1</b>

TABLA 6. Porcentaje de solapamiento entre las series de temperatura máxima de los modelos de CORDEX y las series de datos *in-situ* de 10 estaciones de AEMET durante el período 1976-2005.

En la figura 4 podemos ver el incremento que se proyecta en la  $T_{\max}$  para el futuro cercano bajo los escenarios RCP4.5 (figura 4a) y RCP8.5 (figura 4b). En líneas generales se espera un incremento dependiendo de cada zona de entre  $1^{\circ}\text{C}$  y  $2.2^{\circ}\text{C}$  con pocas diferencias entre los dos escenarios. En zonas del interior se observa un aumento cercano a los  $2^{\circ}\text{C}$  sobre todo para el escenario RCP8.5 (figura 4b). Por lo que, en general, el incremento es mayor sobre todo en el interior peninsular que en zonas costeras.

En la figura 5 vemos el incremento en la  $T_{\max}$  bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 para el futuro lejano (2070-2099). Se puede ver que el aumento es mucho mayor bajo el escenario RCP8.5 (figura 5b) sobre todo en zonas del sur y del interior peninsular, con un aumento de la  $T_{\max}$  entre los  $5^{\circ}$  y  $6^{\circ}\text{C}$ . Este incremento es menor en zonas costeras del Mediterráneo y del Cantábrico con un aumento de entre  $3^{\circ}$  y  $4^{\circ}\text{C}$  bajo el escenario RCP8.5 y de en torno a los  $2^{\circ}\text{C}$  bajo el escenario RCP4.5 (figura 5a).

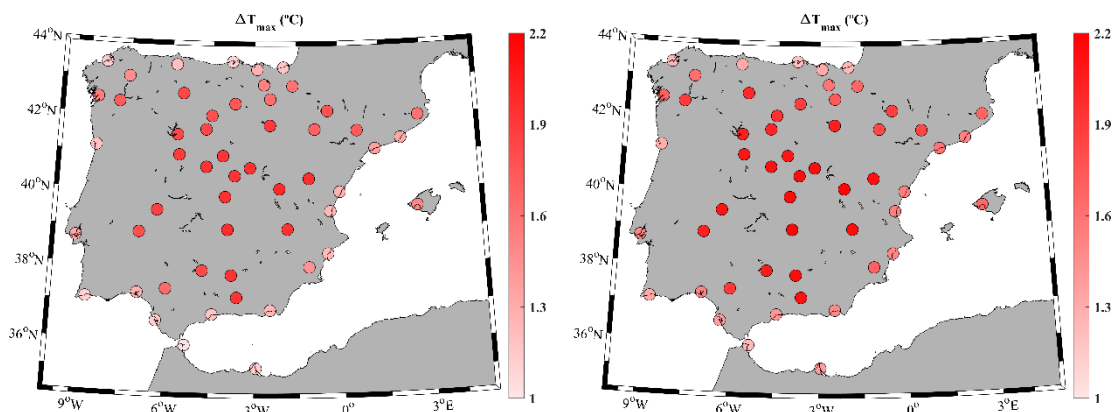


Fig. 4. Mapas con la diferencia de temperatura máxima media ( $\Delta T_{\max}$   $^{\circ}\text{C}$ ) entre el futuro cercano (2020-2049) y el periodo histórico (1976-2005) bajo los escenarios (a) RCP4.5 y (b) RCP8.5.

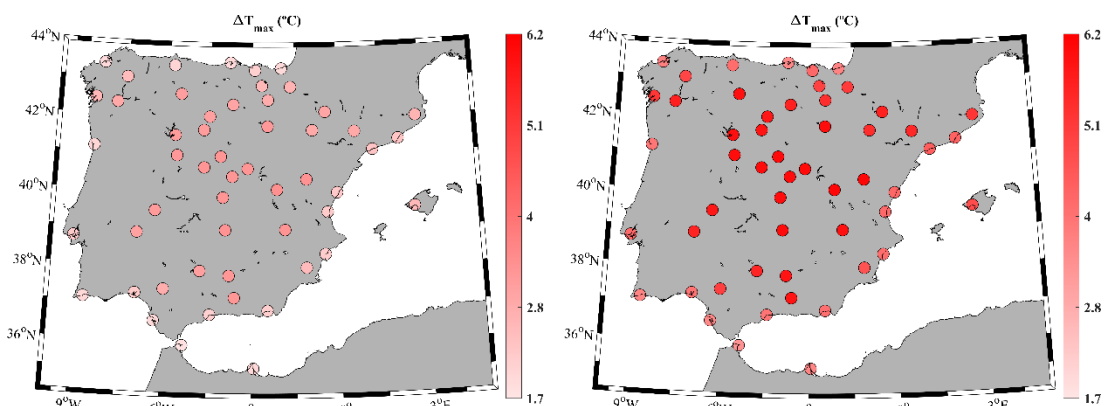


Fig. 5. Mapas con la diferencia de temperatura máxima media ( $\Delta T_{\text{máx}}$  °C) entre el futuro lejano (2070-2099) y el periodo histórico (1976-2005) bajo los escenarios (a) RCP4.5 y (b) RCP8.5.

CIUDADES	TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA				
	Histórico (1976-2005)	RCP4.5 (2020-2049)	RCP8.5 (2020-2049)	RCP4.5 (2070-2099)	RCP8.5 (2070-2099)
Albacete	28,6 ± 2,1	30,6 ± 2,4	30,8 ± 2,3	31,9 ± 2,7	34,6 ± 2,9
Alicante	27,3 ± 1,4	28,5 ± 1,6	28,8 ± 1,5	29,5 ± 1,8	31,4 ± 1,9
Almería	27 ± 1,4	28,2 ± 1,6	28,4 ± 1,6	29,1 ± 1,8	31 ± 1,8
Ávila	22,8 ± 2	24,7 ± 2,3	24,9 ± 2,3	26,1 ± 2,6	28,8 ± 2,9
Badajoz	31,3 ± 1,6	33,1 ± 1,8	33,4 ± 1,9	34,4 ± 2	36,9 ± 2,1
Barcelona	24,5 ± 1,4	25,8 ± 1,7	26 ± 1,7	26,8 ± 2	28,8 ± 2,2
Bilbao	21,7 ± 1,5	23 ± 1,8	23 ± 2	23,9 ± 2,1	25,9 ± 2,4
Burgos	22,5 ± 2	24,2 ± 2,4	24,4 ± 2,4	25,5 ± 2,7	28,1 ± 3,1
Cáceres	29,8 ± 1,6	31,7 ± 1,9	31,9 ± 1,9	33 ± 2,1	35,6 ± 2,3
Cádiz	27,9 ± 1,9	29 ± 2	29,2 ± 2,1	29,8 ± 2,1	31,4 ± 2,2
Castellón	26,3 ± 1,5	27,5 ± 1,7	27,8 ± 1,8	28,5 ± 2	30,5 ± 2,2
Ceuta	24,4 ± 1,3	25,3 ± 1,4	25,6 ± 1,4	26,2 ± 1,6	27,7 ± 1,8
Ciudad real	29,5 ± 1,9	31,4 ± 2,2	31,6 ± 2,1	32,8 ± 2,4	35,4 ± 2,6
Córdoba	33 ± 1,6	34,8 ± 1,8	35,1 ± 1,8	36,1 ± 2	38,5 ± 2,1
Coruña	20,6 ± 1,5	21,7 ± 1,7	21,8 ± 1,9	22,5 ± 1,9	24,3 ± 2
Cuenca	24,7 ± 1,9	26,6 ± 2,3	26,8 ± 2,2	28 ± 2,6	30,8 ± 2,9
Gasteiz	21,4 ± 1,7	22,9 ± 2,1	22,9 ± 2,1	24 ± 2,4	26,3 ± 2,7
Gerona	26,6 ± 1,9	28,2 ± 2,4	28,2 ± 2,3	29,3 ± 2,7	31,8 ± 2,9
Granada	28,4 ± 1,8	30,3 ± 2	30,5 ± 2	31,7 ± 2,2	34,3 ± 2,4
Guadalajara	27,1 ± 2	29,1 ± 2,3	29,3 ± 2,3	30,4 ± 2,6	33,2 ± 2,9
Huelva	29,6 ± 1,5	30,1 ± 1,7	31,1 ± 1,7	32 ± 1,7	33,6 ± 1,8
Huesca	25,9 ± 1,7	27,7 ± 2,2	27,8 ± 2,2	28,9 ± 2,5	31,5 ± 2,8
Jaén	28,5 ± 2,2	30,4 ± 2,4	30,7 ± 2,3	32 ± 2,5	34,3 ± 2,7
León	22,9 ± 1,8	24,7 ± 2,3	24,8 ± 2,3	26 ± 2,6	28,8 ± 2,9
Lleida	29,7 ± 1,7	31,4 ± 2,2	31,5 ± 2,1	32,6 ± 2,4	35,1 ± 2,7
Logroño	23,8 ± 1,9	25,4 ± 2,3	25,5 ± 2,3	26,7 ± 2,6	29,1 ± 3
Lugo	21,3 ± 1,7	22,7 ± 2	22,9 ± 2,2	23,8 ± 2,3	26,2 ± 2,6
Madrid	28,4 ± 1,9	30,3 ± 2,3	30,5 ± 2,2	31,6 ± 2,5	34,3 ± 2,8
Málaga	26,8 ± 1,5	27,9 ± 1,8	28,2 ± 1,7	28,9 ± 2	30,7 ± 2,1
Melilla	25,4 ± 1,4	26,5 ± 1,6	26,8 ± 1,5	27,4 ± 1,7	29 ± 1,9
Murcia	30,6 ± 1,9	32 ± 2,1	32,3 ± 2	33,1 ± 2,3	35,2 ± 2,4
Ourense	23,9 ± 1,8	25,6 ± 2,2	25,7 ± 2,4	26,8 ± 2,5	29,5 ± 2,7
Oviedo	20 ± 1,7	21,1 ± 1,9	21,3 ± 2,1	22 ± 2,2	24,1 ± 2,4

CIUDADES	TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA				
	Histórico (1976-2005)	RCP4.5 (2020-2049)	RCP8.5 (2020-2049)	RCP4.5 (2070-2099)	RCP8.5 (2070-2099)
Palencia	24,7 ± 2	26,4 ± 2,4	26,6 ± 2,4	27,7 ± 2,6	30,4 ± 3
Palma	27,3 ± 1,7	28,7 ± 2	28,9 ± 2	29,9 ± 2,2	32 ± 2,4
Pamplona	22,4 ± 1,8	23,9 ± 2,21	24 ± 2,3	25 ± 2,5	27,4 ± 2,9
Pontevedra	23,1 ± 1,7	24,6 ± 2	24,7 ± 2,2	25,7 ± 2,3	28,2 ± 2,5
Salamanca	25,3 ± 1,9	27,2 ± 2,3	27,4 ± 2,2	28,5 ± 2,5	31,3 ± 2,8
San Sebastián	21,0 ± 1,5	22,1 ± 1,6	22,2 ± 1,8	22,9 ± 1,9	24,6 ± 2,0
Santander	20,4 ± 1,2	21,5 ± 1,4	21,6 ± 1,6	22,3 ± 1,6	24 ± 1,8
Segovia	23,6 ± 2,1	25,6 ± 2,5	25,7 ± 2,5	26,9 ± 2,8	29,7 ± 3,1
Sevilla	33,5 ± 1,5	35,1 ± 1,6	35,4 ± 1,6	36,3 ± 1,7	38,4 ± 1,8
Soria	22,8 ± 2	24,7 ± 2,4	24,9 ± 2,4	26 ± 2,8	28,8 ± 3,2
Tarragona	25,2 ± 1,4	26,5 ± 1,7	26,8 ± 1,7	27,6 ± 2	29,6 ± 2,2
Teruel	24 ± 1,9	26 ± 2,4	26,1 ± 2,2	27,4 ± 2,6	30,1 ± 3
Toledo	29,2 ± 2	31,1 ± 2,3	31,4 ± 2,3	32,5 ± 2,5	35,2 ± 2,8
Valencia	27,2 ± 1,6	28,4 ± 1,8	28,7 ± 1,8	29,4 ± 2	31,3 ± 2,2
Valladolid	25,5 ± 2	27,3 ± 2,3	27,5 ± 2,3	28,6 ± 2,6	31,3 ± 2,9
Zamora	25,9 ± 1,9	27,7 ± 2,3	27,9 ± 2,3	29,1 ± 2,5	31,8 ± 2,8
Zaragoza	28,5 ± 1,9	30,2 ± 2,3	30,3 ± 2,3	31,4 ± 2,6	33,9 ± 3
Porto	22,9 ± 1,5	24 ± 1,5	24,2 ± 1,7	25 ± 1,7	26,8 ± 1,7
Lisboa	26,9 ± 1,5	28,1 ± 1,6	28,3 ± 1,8	29,1 ± 1,8	31 ± 1,9
Faro	26,2 ± 1,6	27,2 ± 1,7	27,4 ± 1,8	28,1 ± 1,9	29,7 ± 1,9

TABLA 7. Valores de temperatura máxima media ( $T_{\text{máx}}$ ) de todas las ciudades consideradas para el período histórico y para los periodos futuros bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

### 3.2.2. Porcentaje de días bajo condiciones extremas en el futuro.

En esta sección se cuantifica el porcentaje de días con temperatura máxima extrema ( $\%T_{\text{ext}}$ ) proyectados para el futuro bajo los dos escenarios durante la estación cálida.

En la tabla 8 se muestra el porcentaje de días con temperaturas máximas extremas para las 53 ciudades analizadas. Para el futuro cercano bajo el escenario RCP4.5 se observa que hay 10 ciudades, sobre todo del norte peninsular, las que están bañadas por el Océano Atlántico y Valencia, que no superarán el 10% de días con temperaturas máximas extremas. La gran mayoría presentará porcentajes de entre el 10 y el 15% y en 13 de ellas se superará el porcentaje del 15%. Estas ciudades se localizan sobre todo en el interior peninsular, exceptuando

Barcelona. En relación al escenario RCP8.5, se observa un aumento del número de ciudades, en este caso 16 ciudades ya superarán el 15% de días con temperaturas máximas extremas, localizadas mayoritariamente en el interior peninsular, zona sur y algunas ciudades que baña el Mar Mediterráneo. Sin embargo, en el futuro cercano no se superará el 10% en la mayor parte de las ciudades localizadas al norte.

Si nos centramos en el futuro lejano, en general podemos comprobar que bajo el escenario RCP4.5 casi la gran mayoría de las ciudades superarán el 20% de días bajo temperaturas extremas, exceptuando las del norte peninsular y algunas ciudades costeras atlánticas como por ejemplo las tres ciudades de Portugal. También comprobamos que hay 17 ciudades que ya superarán el 25% de días bajo temperaturas máximas extremas, localizadas sobre todo en el



centro y sur peninsular. Es bajo el escenario RCP8.5 donde se produce un aumento mucho mayor en estos porcentajes, ya que se puede ver como una veintena de ciudades superarán el 50% de días de temperatura máxima extrema en zonas bañadas por el mar Mediterráneo, y en el centro y sur peninsular.

La figura 6 muestra que no hay claras diferencias entre los dos escenarios, simplemente comentar que bajo el RCP8.5 (figura 6b), se produce un aumento sobre todo en el centro y sur peninsular de entorno al 15% y algo menos para la zona norte y las zonas costeras atlánticas de en torno al 10% de días.

En la figura 7 podemos ver el %T<sub>ext</sub> en las ciudades analizadas para el futuro

lejano (2070-2099) bajo el RCP4.5 (figura 7a) y RCP8.5 (figura 7b). Se observa que hay diferencias notables en el aumento del porcentaje de días, sobre todo para el RCP8.5. Así, se esperan fuertes incrementos en el número de días bajo temperaturas máximas extremas en las zonas costeras del Mediterráneo, zonas del sur peninsular y del centro, llegando a superar el porcentaje de 50% de días. El incremento en las ciudades del norte y las bañadas por el Océano Atlántico es menor, ya que no se llegará a superar en la mayor parte de los casos la cifra del 25% de días. Por lo tanto, se observa un patrón claramente diferente en el incremento de %T<sub>ext</sub> entre la zona más al oeste y la más al este de la Península Ibérica.

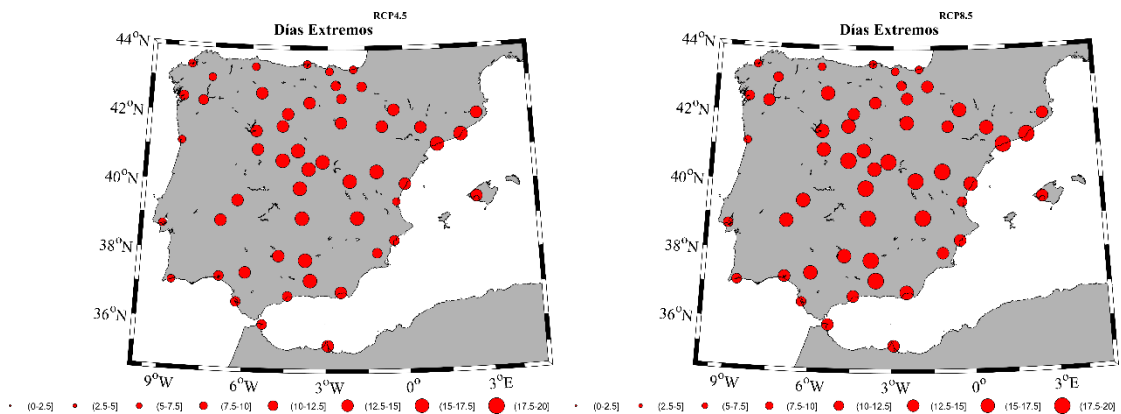


Fig. 6. Porcentaje de días bajo temperaturas máximas extremas en las ciudades analizadas para el futuro cercano (2020-2049) bajo el escenario RCP4.5 (a) y RCP8.5 (b).

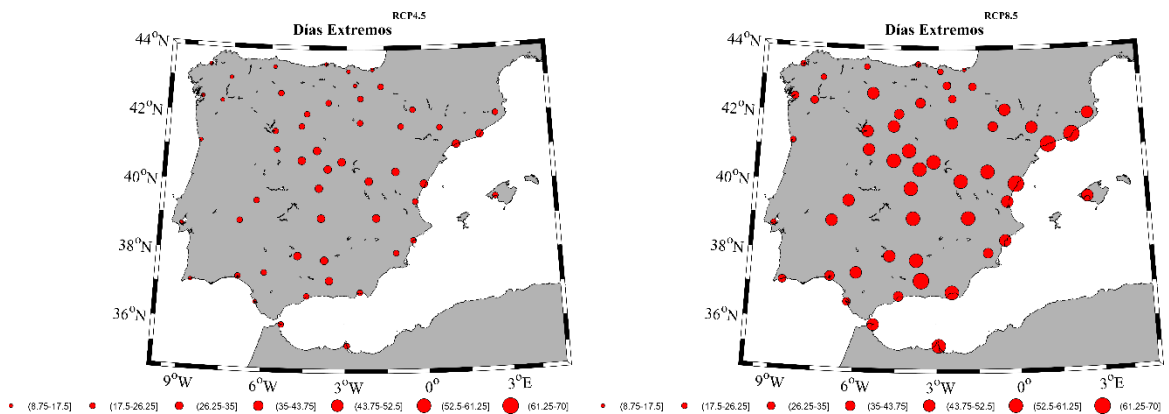


Fig. 7. Porcentaje de días bajo temperaturas máximas extremas en las ciudades analizadas para el futuro lejano (2070-2099) bajo el escenario RCP4.5 (a) y RCP8.5 (b).

CIUDADES	DÍAS CON TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA (%)			
	RCP4.5 (2020-2049)	RCP8.5 (2020-2049)	RCP4.5 (2070-2099)	RCP8.5 (2070-2099)
Albacete	16.01 ± 6	17.8 ± 5.2	29.5 ± 12.5	56 ± 16.6
Alicante	10.9 ± 3.3	13.4 ± 4.3	19.1 ± 8.8	44.2 ± 18.9
Almería	13±3.9	16.1 ± 4.3	24.4 ± 9	53.1 ± 16.3
Ávila	15.6 ± 4.8	17.7 ± 4.4	28.2 ± 9.7	54.2 ± 13.9
Badajoz	13.4 ± 3.2	15.4 ± 2.9	22.5 ± 4.7	45 ± 7.5
Barcelona	15.9 ± 6.1	18.9 ± 8	33.2 ± 14.3	69.1 ± 18.8
Bilbao	8.7 ± 1.8	8.9 ± 2.9	11.2 ± 2.6	18.6 ± 6.9
Burgos	12.7 ± 3.4	13.8 ± 3.8	20.7 ± 6.5	38.4 ± 11.1
Cáceres	13.9 ± 3.7	16.3 ± 3.4	24.3 ± 6.4	49.6 ± 9.8
Cádiz	10.5 ± 2.6	12.2 ± 2	16.6 ± 2.8	31.9 ± 6.1
Castellón	13.4 ± 4.9	17.2 ± 7.4	29.1 ± 15.1	63 ± 25.6
Ceuta	12 ± 3.8	13.8 ± 3.6	22.2 ± 7.9	52 ± 12.7
Ciudad real	15.8 ± 5.5	18.1 ± 4.8	29.3 ± 10.6	56.8 ± 13.1
Córdoba	14.8 ± 5	17.1 ± 4.2	26.4 ± 8.1	52.2 ± 8.8
Coruña	8.8 ± 1.5	9.2 ± 2.5	11.3 ± 2.1	21.9 ± 5.1
Cuenca	16.2 ± 5.6	18.3 ± 4.9	30.2 ± 11.9	58 ± 15.4
Gasteiz	11 ± 2.5	11.6 ± 3.5	16.2 ± 4.5	29 ± 8.6
Gerona	12.9 ± 4.1	13.5 ± 4.5	21.8 ± 8.7	47 ± 15
Granada	17.5 ± 5.9	19.7 ± 6	32.9 ± 13	62.6 ± 14
Guadalajara	15.5 ± 5.1	17.6 ± 4.2	28.5 ± 10.2	55.2 ± 14.2
Huelva	11.5 ± 3	13.3 ± 2.3	19.6 ± 4.6	38.2 ± 8.7
Huesca	14 ± 4	15.6 ± 4.2	24.3 ± 8.6	49.3 ± 13.3
Jaén	16.3 ± 6	18.4 ± 5.3	29.6 ± 11.4	56.7 ± 12.9
León	13.2 ± 3.7	15.4 ± 4.3	22.3 ± 7	45.8 ± 12
Lleida	13.8 ± 3.9	15.3 ± 4.1	24.2 ± 8.4	50.5 ± 13.2
Logroño	11.7 ± 2.9	12.6 ± 3.6	18.7 ± 6.1	34.7 ± 10.6
Lugo	9.6 ± 1.9	10.4 ± 3.2	12.9 ± 3.2	24.5 ± 6.7
Madrid	15.3 ± 5	17.3 ± 4.2	27.8 ± 9.7	54.8 ± 14.2
Málaga	11.3 ± 3.3	12.8 ± 3.2	19.5 ± 7.8	40.4 ± 14.7
Melilla	12.5 ± 5.2	14.9 ± 5.3	24.7 ± 12.7	55.6 ± 24.8
Murcia	12.1 ± 3.8	13.9 ± 5.1	21.5 ± 10.4	43.3 ± 18
Ourense	11.5 ± 2.5	13.1 ± 3.7	17 ± 3.9	34.2 ± 8.2
Oviedo	8.4 ± 1.9	8.9 ± 3.3	11.2 ± 4	22.7 ± 9.3
Palencia	12.9 ± 3.7	14.7 ± 3.8	21.9 ± 7.2	43.2 ± 12
Palma	13 ± 4.9	14.5 ± 4.1	24 ± 10.7	50.9 ± 18.1
Pamplona	11.9 ± 2.7	12.5 ± 3.4	17.9 ± 5.4	32.3 ± 9.6
Pontevedra	10.9 ± 1.4	11.5 ± 2.5	14.8 ± 2.2	30.3 ± 6
Salamanca	14.2 ± 3.8	16.5 ± 4	25.1 ± 7.7	49.7 ± 12.4
San Sebastián	8,7± 1,7	8,9 ± 3	10,9 ± 2,7	17,3 ± 6,9
Santander	8.6 ± 2.3	9.1 ± 4.6	11.9 ± 4.6	24.1 ± 12.9
Segovia	15.2 ± 4.7	17.2 ± 4.5	27.4 ± 9.7	52.5 ± 14.1
Sevilla	13.3 ± 4	15.3 ± 3	22.6 ± 5.3	44 ± 5.7
Soria	14.5 ± 4.4	16.1 ± 4.1	25.4 ± 9.2	47.8 ± 13.8
Tarragona	15.3 ± 4.2	18.2 ± 6	31.9 ± 13.5	67.8 ± 19.7
Teruel	16.2 ± 5.5	17.8 ± 4.6	29.5 ± 11.3	55.7 ± 15
Toledo	15.6 ± 5.3	17.7 ± 4.5	28.3 ± 10.1	55 ± 13.9
Valencia	10 ± 3.2	12.3 ± 4.9	18.4 ± 10.1	48 ± 25.4

CIUDADES	DÍAS CON TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA (%)			
	RCP4.5 (2020-2049)	RCP8.5 (2020-2049)	RCP4.5 (2070-2099)	RCP8.5 (2070-2099)
Valladolid	13.4 ± 4.1	15.3 ± 4.2	23.3 ± 8	45.8 ± 12.8
Zamora	13.3 ± 3.7	15.7 ± 4	23.1 ± 7.1	47 ± 11.9
Zaragoza	12.9 ± 3.6	14.1 ± 3.8	21.3 ± 7.5	41.2 ± 12.4
Porto	9.1 ± 1.4	9.7 ± 1.9	11.8 ± 2.2	22 ± 6.1
Lisboa	9.6 ± 1.8	10.3 ± 1.8	13 ± 1.9	22.7 ± 4.6
Faro	9.9 ± 2	11.9 ± 1.6	16.8 ± 2.5	34.4 ± 4.8

TABLA 8. Porcentaje de días bajo temperaturas máxima extremas en las ciudades analizadas para el futuro cercano (2020, 2049) y lejano (2070-2099) bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

### 3.2.3. Porcentaje de días bajo ola de calor para el futuro.

En la tabla 9 se muestra el porcentaje de días bajo ola de calor para todas las ciudades consideradas. Bajo el escenario RCP4.5 y para el futuro más cercano, podemos ver como en 14 ciudades se superarán el 10% de días bajo olas de calor. Estas ciudades están ubicadas sobre todo en zonas del interior y sur peninsular. Por el contrario, podemos ver cómo algunas ciudades del norte de la península y alguna ciudad costera del Mediterráneo y del Atlántico no superarán el 5% de días de ola de calor. Para el escenario RCP8.5 vemos un aumento en el número de ciudades, en este caso 27 ciudades que superarán el 10% de días de ola de calor e incluso ciudades donde se espera un incremento superior al 15%, principalmente las ubicadas sobre todo en el centro y sur de la península y algunas ciudades del Mediterráneo.

A finales de siglo, bajo el escenario RCP4.5 prácticamente casi todas las ciudades superarán el 10% de días bajo ola de calor e incluso ciudades del interior y sur de la península superarán el 20% de días de ola de calor. Bajo el escenario más pesimista, comprobamos como prácticamente todas las ciudades superarán el 20% de días de ola de calor, exceptuando las ciudades más al norte y zonas atlánticas. También es destacado el número de ciudades que

superarán los 40% de días bajo ola de calor, localizadas sobre todo en el interior, sur de la Península y zonas bañadas por el Mediterráneo. Hay que destacar especialmente las ciudades de Barcelona y Tarragona dónde superarán el 60% de días bajo condiciones de ola de calor.

El mapa de la figura 8 muestra el porcentaje de días bajo ola de calor en todas las ciudades consideradas para el futuro cercano bajo los escenarios RCP4.5 (figura 8a) y RCP8.5 (figura 8b). Se observa un aumento sobre todo en el centro y sur de la Península de entorno a 10-12% de días bajo ola de calor para el escenario RCP4.5. Bajo el escenario RCP8.5 este porcentaje aumenta hasta el 12-14% así como el número de ciudades bajo ese porcentaje incluyendo en este caso alguna situada a orillas del Mediterráneo.

La figura 9 muestra el porcentaje de número de días bajo condiciones de ola de calor para el futuro lejano. Visualmente destaca la importante diferencia que existe ente ambos escenarios. Así, bajo el escenario RCP4.5 (figura 9a) muy pocas ciudades superan el 25%, sin embargo, bajo el escenario RCP8.5 (figura 9b) las únicas ciudades que no sobrepasan este límite son algunas ciudades ubicadas al norte y oeste de la Península Ibérica. Además, bajo el escenario RCP8.5 hay muchas ciudades que superarán el 40% de días

bajo ola de calor y están ubicadas en zonas del centro y sur de la Península, y

alguna que otra ciudad del Mediterráneo.

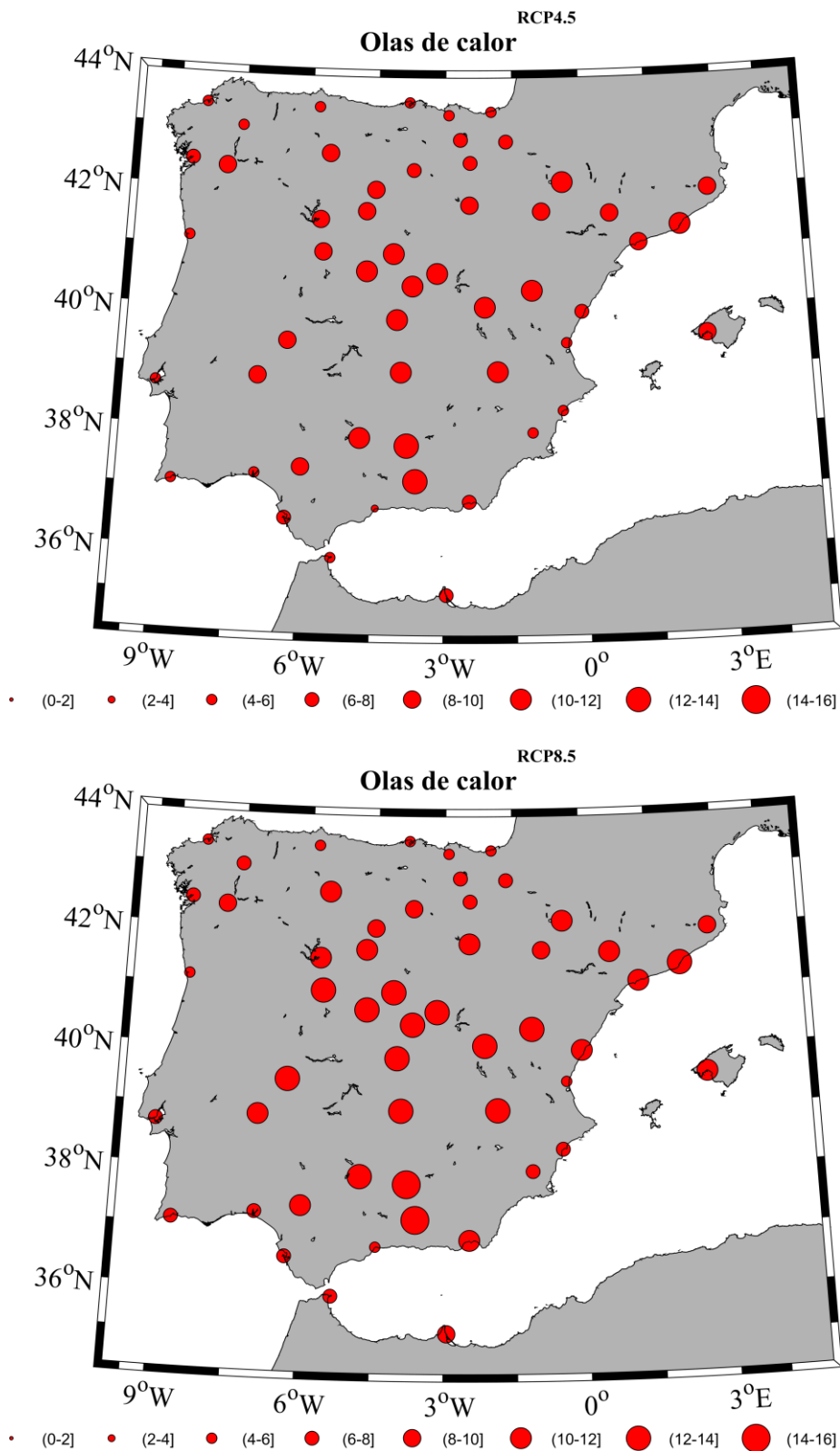


Fig. 8. Porcentaje de días bajo condiciones de ola de calor para el futuro cercano (2020-2049) bajo dos escenarios: (a) RCP4.5 y (b) RCP8.5.



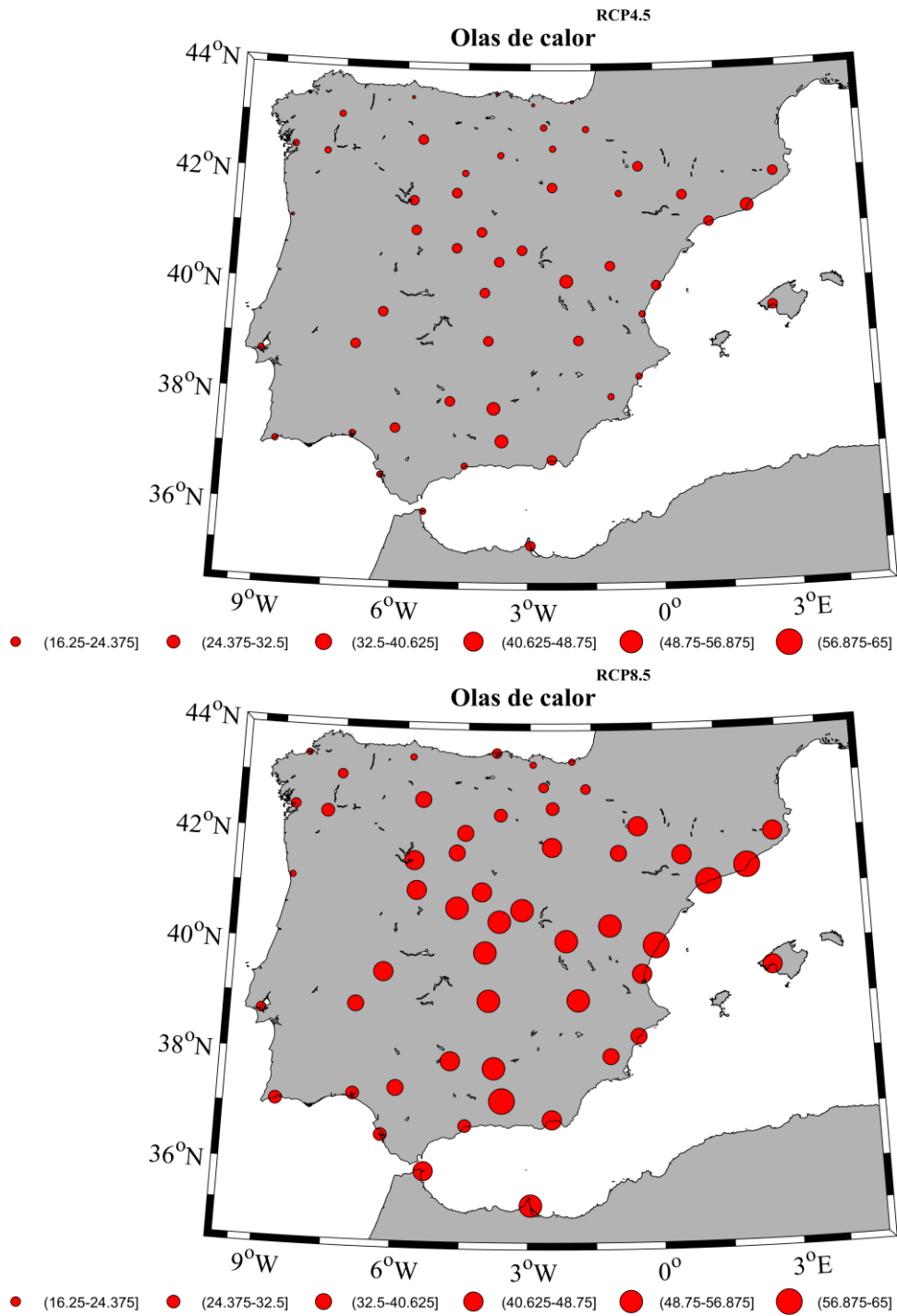


Fig. 9. Porcentaje de días bajo condiciones de ola de calor para el futuro lejano (2070-2099) bajo dos escenarios: (a) RCP4.5 y (b) RCP8.5.

CIUDADES	DÍAS BAJO CONDICIONES OLA DE CALOR (%)			
	RCP4.5 (2020-2049)	RCP8.5 (2020-2049)	RCP4.5 (2070-2099)	RCP8.5 (2070-2099)
Albacete	11.5 ± 5.8	13.1 ± 5.6	23.9 ± 13.1	51.2 ± 18.8
Alicante	4.5 ± 3.3	6.3 ± 3.9	10.8 ± 8.6	35.7 ± 21.2
Almería	7.7 ± 3.9	10.3 ± 4.3	17 ± 8.7	46.5 ± 18.1
Ávila	11.2 ± 4.8	13.1 ± 4.9	22.7 ± 10,2	49.5 ± 15.6
Badajoz	9.4 ± 3.6	11.3 ± 3.2	17.7 ± 5.3	40.2 ± 8.7
Barcelona	10.1 ± 5.9	12.6 ± 8.1	25.8 ± 14.6	64 ± 21.2
Bilbao	4.4 ± 1.8	4.5 ± 2.9	5.6 ± 2.8	11.5 ± 7.4
Burgos	8 ± 3.4	8.5 ± 4.1	14.4 ± 6.5	30.7 ± 12.5
Cáceres	9.9 ± 4	12.2 ± 3.9	19.3 ± 6.8	45.1 ± 11.2
Cádiz	6 ± 2.8	7.4 ± 2.2	11 ± 3.1	25.4 ± 6
Castellón	7.7 ± 4.6	10.7 ± 7.6	22 ± 15.6	57.4 ± 28.5
Ceuta	5.2 ± 3.3	6.5 ± 3.9	13.5 ± 8.4	44.4 ± 14.9
Ciudad real	11.5 ± 5.6	13.5 ± 5.4	24 ± 11.6	52.5 ± 14.9
Córdoba	10.9 ± 5	13 ± 4.5	21.7 ± 9	47.4 ± 10.1
Coruña	5.3 ± 1.6	5.3 ± 2.5	6.5 ± 2.4	15.7 ± 5.3
Cuenca	12 ± 5.9	13.7 ± 5.3	25 ± 12.6	53.5 ± 17.3
Gasteiz	6.5 ± 2.5	6.5 ± 3.5	9.8 ± 4.5	20.7 ± 9.5
Gerona	8.6 ± 3.9	9.3 ± 4.5	16.4 ± 8.8	41 ± 16.9
Granada	13 ± 5.9	15.2 ± 6.4	27.8 ± 13.8	58.4 ± 15.9
Guadalajara	11.3 ± 5.2	13.2 ± 4.6	23 ± 10.7	50.7 ± 15.9
Huelva	6 ± 3	7.4 ± 2.3	12.4 ± 4.7	30.5 ± 8.8
Huesca	10 ± 3.9	11.3 ± 4.2	19.1 ± 8.9	44 ± 14.8
Jaén	12.2 ± 6	14.2 ± 5.9	24.5 ± 12.4	52.3 ± 14.7
León	9.1 ± 3.6	11 ± 4.7	16.7 ± 7.3	40.5 ± 13.3
Lleida	9.8 ± 3.9	11.1 ± 4.3	18.9 ± 8.6	45.3 ± 15
Logroño	7.1 ± 3.2	7.5 ± 3.7	12.4 ± 6	26.7 ± 11.6
Lugo	5.9 ± 2.2	6.4 ± 3.2	8.4 ± 3.6	18,1 ± 7.3
Madrid	10.7 ± 5	12.7 ± 4.5	22.4 ± 10.2	50 ± 15.9
Málaga	3.8 ± 2.7	4.8 ± 2.8	10.2 ± 7.5	30.8 ± 17.2
Melilla	6.9 ± 5	8.6 ± 5.2	18 ± 12.8	50 ± 26.9
Murcia	5.4 ± 2.9	6.8 ± 4.1	13.6 ± 9.5	34.7 ± 20.4
Ourense	8.1 ± 2.6	9.1 ± 4.1	12.3 ± 4.2	28.3 ± 8.5
Oviedo	4.4 ± 2	4.9 ± 3.5	6.3 ± 4.2	16.1 ± 10.4
Palencia	8.5 ± 3.7	9.9 ± 4.2	16 ± 7.5	36.6 ± 13.3
Palma	8.7 ± 4.7	10.2 ± 4.1	18.4 ± 10.2	45.2 ± 19.9
Pamplona	7.3 ± 2.9	7.4 ± 3.5	11.6 ± 5.4	24.3 ± 10.4
Pontevedra	7.2 ± 1.4	7.5 ± 2.6	9.9 ± 2.3	24.1 ± 5.8
Salamanca	9.9 ± 4.1	12 ± 4.7	19.6 ± 8.2	44.8 ± 14
San Sebastián	4.1 ± 1.8	4,4 ± 2,8	5,3 ± 2,7	10,7 ± 7,2
Santander	4.3 ± 2.3	4.9 ± 4.4	6.6 ± 4.7	18 ± 13.9
Segovia	10.9 ± 4.7	12.5 ± 4.9	21.9 ± 10.3	47.5 ± 15.8
Sevilla	9.3 ± 4	11 ± 3	17.7 ± 5.7	38.7 ± 6.5
Soria	9.9 ± 4.5	11 ± 4.5	19.1 ± 9.5	41.7 ± 15.7
Tarragona	8.1 ± 4.1	10.4 ± 6.1	23.2 ± 14.5	61.3 ± 23.1
Teruel	11.8 ± 5.9	13.1 ± 5.1	23.8 ± 11.8	50.7 ± 17
Toledo	11.3 ± 5.5	13.1 ± 5.1	22.9 ± 10.8	50.6 ± 15.5
Valencia	4.1 ± 2.3	5.7 ± 4	11.1 ± 9.2	41.1 ± 27.6

CIUDADES	DÍAS BAJO CONDICIONES OLA DE CALOR (%)			
	RCP4.5 (2020-2049)	RCP8.5 (2020-2049)	RCP4.5 (2070-2099)	RCP8.5 (2070-2099)
Valladolid	9 ± 4	10.7 ± 4.6	17.5 ± 8.4	40 ± 14.5
Zamora	9.2 ± 3.8	11.2 ± 4.6	17.7 ± 7.6	41.9 ± 13.5
Zaragoza	8.2 ± 3.5	9 ± 4.2	15.4 ± 7.6	34.2 ± 14
Porto	5.4 ± 1.7	5.9 ± 2	7,3 ± 2.3	16.1 ± 6.5
Lisboa	5.5 ± 2.2	6 ± 2.1	8.1 ± 2.3	16.6 ± 4.8
Faro	4.6 ± 2.2	6.1 ± 1.4	9.9 ± 2.9	26.7 ± 4.9

TABLA 9. Valores de porcentaje de días bajo ola de calor para el futuro cercano y lejano bajo los escenarios 4.5 y 8.5.

#### 4. Discusión

En primer lugar, se analizó la fiabilidad de las diferentes simulaciones comparando las series de temperatura máxima de cada modelo con datos in-situ de cada estación de AEMET mediante dos métodos complementarios, comparación de medias y test de Perkins. Se llegó a la conclusión de que los modelos tienden a subestimar el valor de la temperatura máxima real. Este hecho puede estar relacionado con el efecto de isla de calor que se da en las grandes urbes y que podría estar infravalorado por los modelos, debido a que este fenómeno es de una resolución espacial muy baja por lo que puede no estar suficientemente integrado en las simulaciones. Además, se debe tener en cuenta que la selección de cada pixel que define a cada ciudad se hizo considerando los cuatro vecinos más próximos, lo que también puede llevar a cierta atenuación de la señal de temperatura máxima. A mayores, también es importante señalar que, dado que el periodo histórico analizado es bastante extenso, se inicia en 1976, en muchas ocasiones las estaciones meteorológicas ubicadas en las ciudades sufrieron cambios importantes en su entorno debido al crecimiento de las mismas, lo cual puede favorecer también una ligera sobreestimación de la temperatura en los propios datos medidos in-situ con respecto al patrón general de temperatura de la ciudad.

En relación al análisis de la diferencia de temperatura máxima media para el futuro en comparación al periodo histórico (1975-2005), en la figura 4 se observa como para el futuro cercano se espera un incremento dependiendo de la zona de entre 1°C y 2,2°C. Las zonas donde más se notará serán las del interior peninsular. No se proyecta una gran diferencia entre el escenario RCP4.5 (figura 4a) y RCP8.5 (figura 4b). Sin embargo, para el futuro lejano (figura 5), la diferencia entre ambos escenarios es mucho mayor. Así, bajo el escenario RCP8.5 se espera un incremento entre los 5°C y 6°C en ciudades del interior y sur peninsular, siendo las zonas costeras y el Cantábrico dónde el incremento es menor, con valores de alrededor de 4°C. En relación a valores medios de temperatura máxima se puede ver en la tabla 7 que para el futuro cercano bajo el escenario RCP8.5, muchas ciudades del sur e interior peninsular ya superarán con facilidad los 30°C, pero para finales de siglo la mayoría de las ciudades analizadas ya superarán los 30°C quedando al margen sólo las del norte peninsular. Señalar como casos extremos las ciudades de Sevilla y Córdoba donde se proyectan valores medios de temperatura máxima diaria superiores a los 38°C a final de siglo. Considerando que tras el proceso de validación una de las conclusiones a las que se llegó es que las simulaciones tienden a subestimar ligeramente la

temperatura máxima media in situ, es importante señalar que tal vez los valores de temperatura máxima media que se han comentado a lo largo de este trabajo pueden llegar a ser incluso algo mayores en las diferentes ciudades analizadas.

En relación al porcentaje de días de eventos extremos, por propia definición de lo que se considera como evento extremo, durante el periodo histórico el porcentaje promedio de días bajo condiciones de evento extremo es del 5%. Por lo tanto, considerando el futuro cercano, se proyecta un incremento del 10% de días de temperatura extrema, llegando al 15% en zonas del sur e interior peninsular bajo el escenario RCP8.5 (figura 6). Para finales de siglo, se puede apreciar en la figura 7 que habrá un notable aumento del porcentaje de días de temperatura extrema, ya que habrá lugares donde el incremento supere el 45% de días con temperatura extrema, estos lugares corresponderían con las zonas costeras del Mediterráneo, interior y sur peninsular, como por ejemplo Granada el incremento superará el 55% de días con temperatura extrema o Jaén que podrá superar el 50% de días con temperatura máxima extrema. Esto supone un incremento de más del 45% con respecto al período histórico, tomado como referencia. Bajo el escenario RCP4.5 para finales del siglo XXI las ciudades con un mayor incremento no superarían el 25% respecto al periodo histórico.

En cuanto a las olas de calor, se calculó el valor promedio de días bajo condiciones de ola de calor para el período histórico con el propósito de poder establecer una comparación con los valores proyectados para el futuro. Así, se obtuvo un valor aproximado del 2% que varía ligeramente dependiendo de cada ciudad. Se observa que para el

futuro cercano bajo el escenario RCP8.5 (figura 8b) se superará de largo ese 2% de días bajo ola de calor, llegando incluso al 12-14%. Las ciudades más afectadas serán las del sur e interior peninsular y algunas bañadas por el Mediterráneo. Para finales de siglo, el incremento en muchas ciudades de estas zonas será superior al 40% (figura 9b). Destacar que ciudades densamente pobladas como Barcelona, registrarán un incremento superior al 60%. Bajo el escenario RCP4.5, el incremento sería menor del 20% en la mayor parte de las ciudades, no sobrepasando el 10% en ciudades del norte peninsular para el futuro lejano.

Los resultados de este estudio se compararon con los resultados obtenidos en la “Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España” (Amblar-Francés *et al.*, 2017) elaborado por el Ministerio de Agricultura Pesca Alimentación y Medio Ambiente. En este informe también se estudia la variación de la temperatura máxima en relación al periodo histórico. A la hora de realizar la comparación entre nuestro trabajo y este informe se debe tener en cuenta que los periodos tomados como referencia varían, ya que por ejemplo el trabajo de Amblar-Francés *et al.*, (2017) toma como periodo histórico el 1961-1990 y como futuro lejano el 2081-2100. Además, los RCMs seleccionados en un caso y otro no son exactamente los mismos. En esta guía, para el futuro lejano y bajo el RCP8.5 se proyectan variaciones durante el verano (junio-agosto) entre 5,4°C y 8,4°C que son valores que se encuentran ligeramente por encima del rango de incremento obtenido en este estudio para el futuro lejano bajo el mismo escenario de emisiones. En cuanto al patrón espacial, vemos que los valores de incremento inferiores también se dan en las zonas



costeras, especialmente en el norte peninsular.

Sobre las olas de calor este informe nos dice que, para finales de siglo, todas las proyecciones presentan anomalías positivas respecto al periodo histórico con valores más altos en el escenario RCP8.5. Los valores probables para finales de siglo pronostican que las olas de calor más largas tendrán una duración de entre 15 y 50 días más que el promedio, tomando como periodo de referencia el periodo histórico en la España peninsular, estos datos son similares a nuestros resultados en el que vemos que muchas ciudades superarán el 40% de días bajo ola de calor (alrededor de 48 días considerando toda la estación cálida) para el escenario RCP8.5. Según el informe los cambios menores se producirían en Galicia, comunidades de la Cornisa Cantábrica y la Rioja y se dispararían en las comunidades del levante español y en Baleares. Por lo tanto, este patrón espacial coincide con el obtenido en nuestro trabajo.

En la actualidad el gobierno tiene un Plan para reducir el impacto sobre la salud de la población en ciudades donde se dé un exceso de temperatura (Ministerio de Sanidad Consumo y Bienestar Social, 2019). Este plan se basa en las siguientes actuaciones: desarrollo de un Sistema de Información Ambiental para la predicción de temperaturas excesivas, información a la población sobre los efectos del exceso de calor, coordinación en los servicios sociales para la identificación de los grupos de riesgo. Estas actuaciones del Plan se activan desde el 1 de junio hasta el 15 de septiembre de cada año. Los datos expuestos en este trabajo en relación a la diferencia de temperatura máxima media, porcentaje de días de eventos extremos y olas de calor deberían de

servir a modo de concienciación para las diferentes instituciones para que vean la gravedad de la situación, sobre todo para finales de siglo, y así adecuar las medidas a incluir en este tipo de planes que buscan mitigar los efectos de los eventos extremos de temperatura máxima.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se analizó la evolución futura de las temperaturas máximas durante la estación cálida (junio-septiembre) en 53 ciudades (Península Ibérica, Baleares, Ceuta y Melilla). Se utilizaron datos de temperatura máxima obtenidos del proyecto CORDEX mediante 9 modelos regionales y a partir de sus simulaciones para el periodo histórico (1980-2005) y para los dos periodos futuros: uno próximo (2020-2049) y otro lejano (2070-2099), se analizó como variará la temperatura máxima, el porcentaje de días con eventos extremos y el porcentaje de días bajo ola de calor, en base a dos escenarios futuros el RCP4.5 y el RCP8.5. Como paso previo, se observó que los 9 RCMs son válidos para llevar a cabo este análisis ya que muestran un grado de fiabilidad similar. Las principales conclusiones que se obtuvieron son las siguientes:

- Las temperaturas máximas medias aumentarán a lo largo del siglo XXI en toda la Península Ibérica, con incrementos entre los 5°C y los 6°C en zonas de sur e interior peninsular a finales de siglo bajo el escenario RCP8.5. En 31 ciudades se superarán los 30°C y ciudades como Sevilla o Córdoba llegarán a superar incluso los 38°C. Las ciudades del norte serán las que tengan un menor incremento alrededor de los 3°C y 4°C y no se espera que superen los 30°C a finales de siglo.

- El porcentaje de días con eventos extremos irán también en aumento, con incrementos superiores al 45% de días con temperaturas extremas en ciudades costeras del Mediterráneo y también del interior y sur peninsular para finales de siglo bajo el escenario RCP8.5. Menores incrementos, con valores en torno al 25% se esperan en ciudades del oeste y norte peninsular.

- Por último, las olas de calor también tendrán un aumento drástico, se proyecta un incremento del 40% de días bajo ola de calor para finales de siglo según el escenario RCP8.5, éstas ciudades se concentrarán sobre todo en el interior y sur peninsular, como las zonas costeras bañadas por el Mediterráneo. Quedan al margen las zonas del norte y zonas costeras bañadas por el Atlántico que no superarán el 20% de días bajo ola de calor para finales de siglo.

En definitiva, todos los resultados analizados muestran un claro aumento en la temperatura máxima de todas las ciudades y por consiguiente un aumento de los eventos con temperatura extrema y de olas de calor para finales de siglo. Ante estas predicciones, las zonas más afectadas deberán aplicar medidas para prevenir los efectos adversos de estos eventos extremos.

## Referencias

- Amblar-Francés, P., Casado, M.J., Pastor, A., Ramos, P., y Rodríguez, E. (2017). Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España. Ministerio de agricultura y pesca alimentación y medio ambiente.
- Giorgi, F., Jones, C., y Asrar, G. (2009). Addressing climate information needs at regional level: The CORDEX framework. *WMO Bulletin*, 58, 175-183.
- IPCC, (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. Available: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/> 2.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., ... y Georgopoulou, E. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), 563-578.
- Folland, C., Parker, D., Karl, T., Vinnikov, K., 1990. Observed climate variations and change. In: Houghton, J., Jenkins, G., Ephraums, J. (Eds.), *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, pp. 195–238.
- Ministerio de Sanidad Consumo y Bienestar Social, (2019). Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud. Disponible en: [https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/planAltasTemp/2019/docs/Plan\\_Nacional\\_de\\_Exceso\\_de\\_Temperaturas\\_2019.pdf](https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/planAltasTemp/2019/docs/Plan_Nacional_de_Exceso_de_Temperaturas_2019.pdf)
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., ... y Meehl, G. A. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756.
- Patz J. A., Campbell-Lendrum D., Holloway T. and Foley J. A. (2005). Impacts of regional climate change

on human health. *Nature*, 438(17), 310-317.

Perkins, S.E., Pitman, A.J., Holbrook, N.J., McAneney, J. (2007) Evaluation of the AR4 climate Models' simulated daily maximum temperature, minimum temperature, and precipitation over Australia using probability density functions. *J Clim*; 20:4356e76.

Schoof, J.T., & Robeson, S.M. (2016). Projecting changes in regional temperature and precipitation extremes in the United States. *Weather and Climate Extremes* 11, 28-40.

# Tendencias en índices de precipitación y temperatura extrema en Galicia para el periodo 1960-2017

M. Rilo\*, M. N. Lorenzo

\* *mrilo@alumnos.uvigo.es*

*EPhysLab (Environmental Physics Laboratory), Facultade de Ciencias,  
Universidade de Vigo,  
Campus As Lagoas s/n, Ourense, Spain*

## RESUMEN

La preocupación por el cambio climático actual y sus efectos sobre la población y los ecosistemas ha aumentado progresivamente durante las últimas décadas debido a los cambios en la intensidad y frecuencia de los eventos extremos. La comprensión de estas variaciones permite incrementar el grado de adaptación y de resiliencia de las poblaciones, así como mejorar nuestra eficiencia en la mitigación de sus efectos. El objetivo de este estudio consiste en el análisis de las tendencias anuales y estacionales de los principales índices extremos de temperatura y precipitación recomendados por el ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) dentro de Galicia localizada en el suroeste europeo a partir de datos de precipitación y temperatura recogidos en 17 estaciones meteorológicas durante el periodo 1960-2017.

*Palabras Clave:* Cambio climático, Precipitación, Temperatura, Índices extremos, Galicia.

---

## 1. Introducción

El clima de una determinada región se define como la descripción estadística en términos de la media y la variabilidad de un conjunto de parámetros relevantes, como temperatura, precipitación, humedad, viento, etc., durante un determinado periodo de tiempo que, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), ha de ser como mínimo de 30 años (IPCC, 2013).

Cambios en dichos parámetros, tienen repercusiones negativas a nivel medioambiental, modificando los hábitats y dificultando la supervivencia de las especies que se encuentran en los mismos, además de que pueden

implicar variaciones en la frecuencia e intensidad de eventos extremos.

### 1.2. Eventos extremos

Los eventos extremos se caracterizan por una probabilidad de ocurrencia por encima y por debajo de los percentiles 90 y 10 de su función de densidad de probabilidad, calculada para una región determinada (IPCC, 2013). Algunos ejemplos de este tipo de eventos son las precipitaciones extremas, las olas de calor, las sequías o los huracanes, aunque el tipo de fenómeno extremo que pueda producirse dependerá de las características de cada región.

Con la intención de estudiar este tipo de fenómenos, el ETCCDMI (Expert Team on Climate Change Detection,



Monitoring and Indices) realizó una selección de 27 índices extremos de precipitación y temperatura basados en umbrales relativos (Peterson, 2005). Estos índices se calculan a partir de datos diarios de temperatura o precipitación por encima o por debajo de umbrales establecidos de acuerdo con diferentes parámetros físicos específicos de una determinada zona. Al tratarse de umbrales relativos, son aplicables a cualquier región y a escala planetaria (Zhang *et al.*, 2011). Dado que las tendencias globales no tienen porque coincidir necesariamente con las observadas a escalas regionales, es de gran importancia el estudio de estos índices a nivel local. En esta línea, se han seleccionado una serie de índices del ETCCDI, para el estudio de los eventos climáticos extremos en Galicia. La elección de estos índices se hizo buscando poder comparar los resultados obtenidos con otros estudios previos similares (Rodrigo y Trigo, 2007; Gómez-Gesteira *et al.*, 2011; Ramos *et al.*, 2011; Santo *et al.*, 2014).

## 1.2. Área de estudio

El área de estudio en la que se centra este trabajo es la correspondiente a Galicia, situada en el extremo noroeste de la Península Ibérica, entre los 42° y 44° de latitud norte y entre 9° y 7° de longitud oeste (Figura 1).

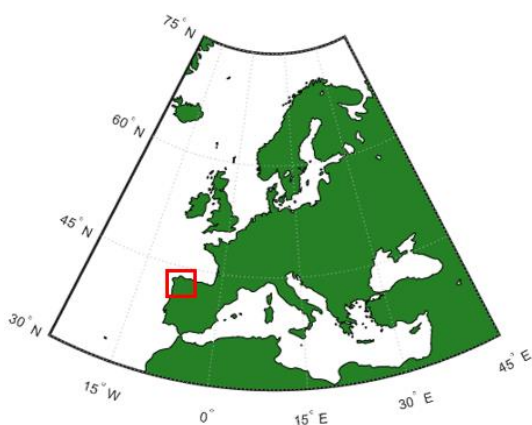


Fig 1. Localización del área de estudio.

Esta región se ve afectada por los vientos del oeste de la célula de Ferrel y por la corriente en chorro a través de la llegada de sistemas sinópticos. Las masas de aire que llegan a Galicia poseen características térmicas e higrométricas muy diversas, que se pueden clasificar según su lugar de formación en polar, ártica y tropical (Naranjo y Pérez-Muñuzuri, 2006). Por otra parte, la complejidad y variedad morfológica del terreno origina diferencias dentro del territorio a meso y microescala (Martínez-Cortizas y Pérez-Alberti, 1999; Cruz *et al.*, 2009).

## 2. Datos y procedimiento

### 2.1. Datos

Las series de datos de temperatura y precipitación utilizadas para el cálculo de los índices fueron reconstruidas a partir de series de datos recogidos por un conjunto de 17 estaciones meteorológicas pertenecientes a dos agencias meteorológicas distintas, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y Meteogalicia, dependiente de la Xunta de Galicia.

Aunque la mayoría de las estaciones midieron ambas variables, unas pocas recogieron exclusivamente datos de temperatura o precipitación. Considerando ambas variables independientemente, la precipitación fue medida por un total de 13 estaciones, mientras que la temperatura por 11. En la Figura 2 se muestra la localización de dichas estaciones.

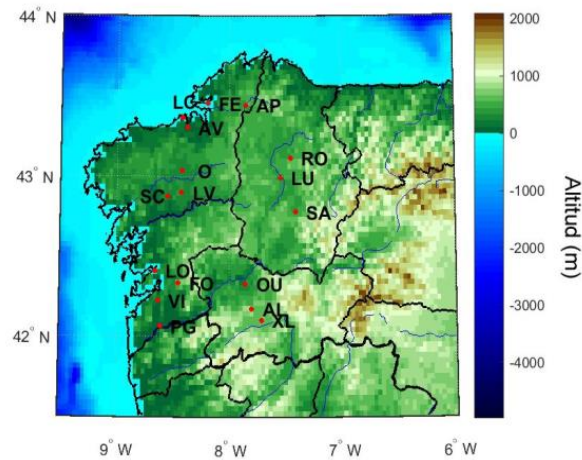


Fig 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas que tomaron datos de precipitación y temperatura. La escala de color representa la altitud (m) de la región de estudio.

Los datos de las primeras décadas pertenecen a las estaciones de AEMET, mientras que los más recientes a las de Meteogalicia. Tras la aplicación de una serie de análisis estadísticos que permitieron comprobar que es posible unir las series de datos de AEMET con los de su respectiva pareja de Meteogalicia, se obtuvo para cada

ubicación un conjunto de medidas diarias de precipitación y temperatura que abarca el periodo 1965-2014 en el de las temperaturas (Tabla 1), y 1960-2017 en el caso de las precipitaciones (Tabla 2). Algunas de las estaciones contienen periodos menores de tiempo, ya que entraron más tarde en funcionamiento.

Estación	Localización (WGS84)	Periodo
Allariz (AL)	-7.80, 42.18	1975 - 2014
As Pontes (AP)	-7.86, 43.45	1965 - 2014
A Coruña (LC)	-8.42, 43.37	1965 - 2014
A Coruña Aeropuerto (AV)	-8.37, 43.31	1971 - 2014
Lavacolla (LV)	-8.41, 42.89	1965 - 2014
Lourizán (LO)	-8.65, 42.44	1965 - 2014
Lugo (LU)	-7.55, 43.00	1967 - 2014
Ourense (OU)	-7.86, 42.33	1973 - 2014
Paramos-Guillarei (PG)	-8.61 42.06	1969 - 2014
Vigo (VI)	-8.72, 42.23	1965 - 2014
Xinzo de Limia (XL)	-7.73, 42.08	1965 - 2014

TABLA 1. Ubicación de las estaciones y longitud temporal de las series de datos de temperatura.

Estación	Localización (WGS84)	Periodo
Allariz (AL)	-7.80, 42.18	1960 - 2017
As Pontes (AP)	-7.86, 43.45	1960 - 2017
A Coruña (LC)	-8.42, 43.37	1960 - 2017
Ferrol (FE)	-8.19, 43.45	1960 - 2014
Fornelos (FO)	-8.45, 42.33	1977 - 2013
Lavacolla (LV)	-8.41, 42.89	1960 - 2017
Lugo (LU)	-7.55, 43.00	1966 - 2017
Lourizán (LO)	-8.65, 42.44	1960 - 2013
Ordes (O)	-8.43, 43.03	1960 - 2017
Ourense (OU)	-7.86, 42.33	1973 - 2017
Rozas (RO)	-7.46, 43.11	1986 - 2017
Sarria (SA)	-7.50, 42.85	1960 - 2017
Vigo (VI)	-8.72, 42.23	1960 - 2017

TABLA 2. Ubicación de las estaciones y longitud temporal de las series de datos de precipitación.

## 2.2. Índices extremos

Como se comentaba anteriormente, los índices seleccionados fueron los recomendados por el ETCCDI. Aunque inicialmente se tuvieron en cuenta los 27 índices, finalmente se decidió

prescindir de aquellos que no aportaban información relevante para el estudio del clima en Galicia. En cuanto a los índices de temperatura se consideraron 9 de los 13 propuestos (Tabla 3) y en el caso de los de precipitación 10 de los 17 recomendados (Tabla 4).

Índice	Definición	Unidades
TX90	Número de días con temperatura máxima superior al percentil 90.	días
TX10	Número de días con temperatura máxima inferior al percentil 10.	días
TN90	Número de días con temperatura mínima superior al percentil 90.	días
TN10	Número de días con temperatura mínima inferior al percentil 10.	días
TXx	Valor máximo de temperatura máxima diaria.	°C
TXn	Valor mínimo de temperatura máxima diaria.	°C
TNx	Valor máximo de temperatura mínima diaria.	°C
TNn	Valor mínimo de temperatura mínima diaria.	°C
FD	Días de helada. Número de días con temperatura mínima inferior a 10°C.	días
ID	Días de Hielo. Número de días con temperatura máxima inferior a 0°C.	días
SU	Días de calor. Número de días con temperatura máxima superior a 25°C.	días
TR	Noches tropicales. Número de noches con temperatura mínima superior a 20°C.	días

WDSI	Número de periodos cálidos, con al menos 6 días consecutivos de temperatura máxima superior al percentil 90.	periodos
CSDI	Número de periodos fríos, con al menos 6 días consecutivos de temperaturas mínimas inferiores al percentil 10.	periodos
GSL	Longitud de la estación de crecimiento. Número de días al año con temperatura media superior a 5°C.	días
DTR	Rango de temperaturas diurnas. Media de la diferencia entre las temperaturas máxima diaria y mínima diaria.	°C
ETR	Rango de temperaturas extremas. Diferencia entre el valor máximo de temperatura máxima (TXx) y el mínimo de temperatura mínima (TNn) anual.	°C

TABLA 3. Índices de temperatura extrema

Índice	Definición	Unidades
PPt	Precipitación total en el periodo considerado.	mm
SDII	Intensidad de precipitación diaria, calculada como la cantidad de precipitación total entre el número de días húmedos (precipitación $\geq 1$ mm).	mm
CDD	Días secos consecutivos. Máxima duración de un periodo seco (precipitación diaria $< 1$ mm).	días
CDW	Días húmedos consecutivos. Máxima duración de un periodo húmedo (precipitación $\geq 1$ mm).	días
R10	Número de días de precipitación superior a 10 mm.	días
R20	Número de días de precipitación superior a 20 mm.	días
R25	Número de días de precipitación superior a 25 mm.	días
RX1D	Valor máximo de precipitación diaria registrada en el periodo considerado.	mm
RX5D	Valor de precipitación máxima en un periodo de 5 días consecutivos.	mm
R90p	Precipitación en días húmedos. Cantidad de precipitación en días por encima del percentil 90 de precipitación total acumulada en el periodo considerado.	mm
R95p	Precipitación en días muy húmedos. Cantidad de precipitación días por encima del percentil 95 de precipitación total acumulada en el periodo considerado.	mm
R99p	Precipitación en días de precipitación extrema. Cantidad de precipitación en días por encima del percentil 99 de precipitación total acumulada en el periodo considerado.	mm
R95pTot	Porcentaje de días de R95p respecto al total de días húmedos.	%

TABLA 4. Índices de precipitación extrema

### 2.3. Métodos

Las series de datos utilizadas en cada punto fueron construidas a partir de series independientes pertenecientes a dos redes de estaciones meteorológicas independientes pero ubicadas en puntos muy cercanos, de forma que los datos medidos por cada pareja de estaciones son equivalentes. Para comprobar que

es posible la unión de las series se aplicaron cuatro análisis estadísticos diferentes, la correlación de Pearson, el error medio absoluto (MAE), el sesgo y el error cuadrático medio (RMSE) (Wilks, 2006).

De acuerdo con los resultados obtenidos, todas las estaciones pudieron



ser completadas con los datos de su respectiva homóloga exceptuando tres localizaciones en el caso de la precipitación (Ferrol, Fornelos y Lourizán) que terminan unos años antes que el resto, como se observa en la Tabla 2. Sin embargo, se ha decidido no prescindir de ellas puesto que solamente hay una diferencia de 3 años respecto al resto de estaciones.

Posteriormente se llevó a cabo un proceso de homogeneización de las series consistente en la comprobación de que fueran lo más completas posibles para evitar la presencia de grandes saltos temporales. También se revisaron en busca de posibles datos ilógicos, resultantes de algún error en los aparatos de medida o durante alguna parada de funcionamiento.

Adicionalmente, se establecieron las siguientes condiciones:

- En el cálculo de los índices de forma anual, únicamente se utilizaron años con un número de datos igual o superior a 300 días.
- En el cálculo de índices de forma estacional, solamente se utilizaron trimestres con un número máximo de 15 datos nulos.

El cálculo de los índices se llevó a cabo tanto estacional como anualmente. La división en estaciones del año se llevó a cabo de la siguiente forma:

- Invierno: diciembre, enero, febrero.
- Primavera: marzo, abril, mayo.
- Verano: junio, julio, agosto.

- Otoño: septiembre, octubre, noviembre.

Una vez obtenidos los diferentes índices se aplicó el test de Mann-Kendall, ampliamente usado en estudios de datos medioambientales para conocer la significatividad de sus tendencias. (Gilbert, 1987).

### 3. Resultados

Los resultados para los diferentes índices fueron recogidos en tablas en las que las tendencias significativas se indican con dos asteriscos (\*\*) cuando esta es igual o superior al 95% ( $p \text{ value} \leq 0.05$ ), y con uno (\*) cuando es igual o superior al 90% ( $p \text{ value} \leq 0.10$ ). Los resultados se muestran también de forma gráfica sobre el mapa del área de estudio.

#### 3.1. Temperatura

Los resultados para los índices de temperatura considerados fueron calculados tanto en tablas como sobre mapas, en esta sección mostraremos solo aquellos resultados que consideramos más relevantes o representativos. En la Tabla 5, se muestran los resultados obtenidos para el índice Número de días con temperatura máxima superior al percentil 90 (TX90). Adicionalmente, la Figura 3 muestra los datos obtenidos sobre un mapa de la región de estudio.

Estación	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Allariz	-0,25	-0,32**	0,22**	-0,04	-0,23*
As Pontes	0,65**	0,12**	0,25**	0,15**	0,15**
Coruña	0,65**	0,14**	0,32**	0,12**	0,18**
Coruña Aeropuerto	0,33**	0,18*	0,09*	-0,82	0,15**
Lavacolla	0,39**	0,07	0,22**	0,11**	0,12**
Lourizán	0,44**	0,20**	0,24**	0,17**	0,12**
Lugo	0,30*	0,56**	-0,28**	-0,79**	0,24**
Ourense	0,68**	0,21**	0,32**	0,31**	0,22**
Paramos Guillarei	-0,41**	0,08	0,11	-0,11	-0,11
Vigo	0,35**	0,17**	0,19**	0,12*	0,14**
Xinzo	0,21**	-0,13	0,10*	0,15**	0,11

TABLA 5. Valores anuales y estacionales de la tendencia anual del índice TX90. Los asteriscos indican las tendencias significativas al 95% (\*\*)/90% (\*).

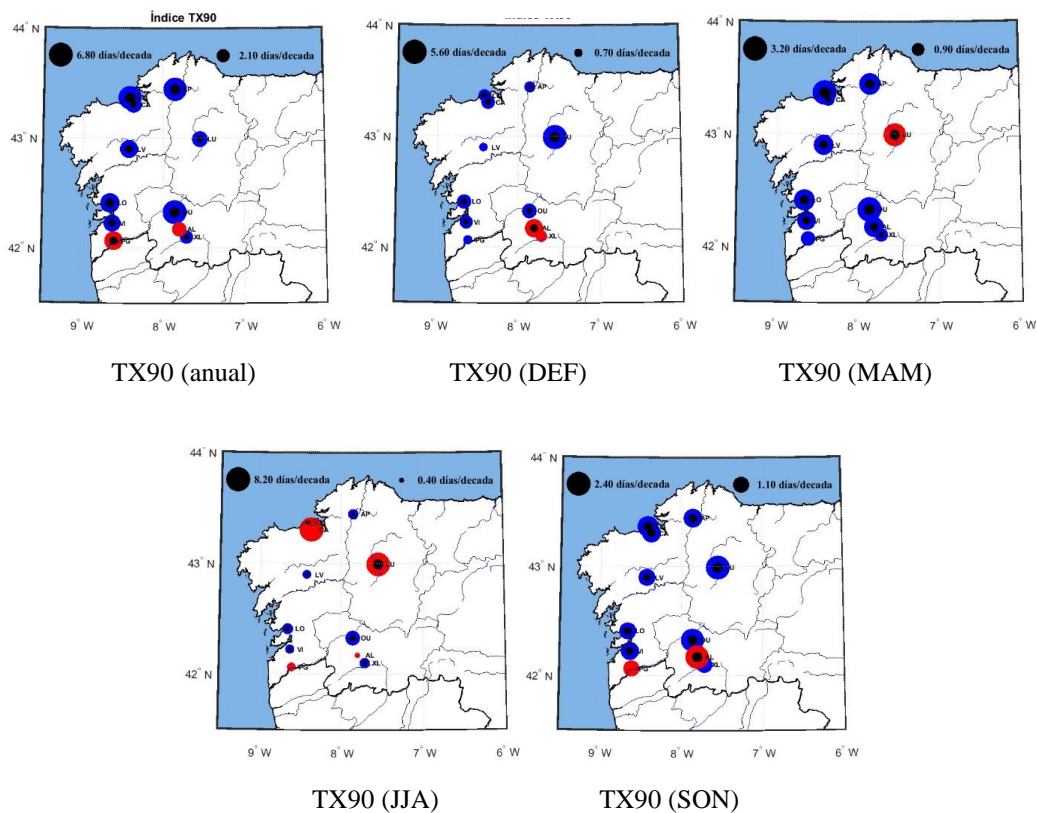


Fig. 3. Tendencias decadales en el índice TX90. El tamaño de los círculos indica la magnitud de las tendencias. El punto negro central señala aquellas tendencias que son significativas en un 90% o superior. El color rojo indica disminución del índice, en cambio el azul indica incremento.

A la vista de los resultados mostrados en la Tabla 5, es posible afirmar que, aunque con alguna excepción, la tendencia generalizada en la frecuencia de días cálidos (TX90) es positiva y significativa en todo el territorio gallego.

Analizando otros índices de temperatura, como el Número de días con

temperatura mínima superior al percentil 90 (TN90), que indica frecuencia de noches cálidas, se observa un comportamiento muy similar, siendo la mayoría de las tendencias significativas y uniformes en todas las localizaciones.

En cuanto a los índices Número de días con temperatura máxima inferior al

percentil 10 (TX10) y Número de días con temperatura mínima inferior al percentil 10 (TN10), que indican días y noches frías respectivamente, las tendencias encontradas en ambos casos consisten en una disminución uniforme y significativa en toda Galicia a lo largo del año. En la figura 4 se muestran las tendencias anuales encontradas para estos tres índices que siguen el

comportamiento del índice TX90 mostrado en la figura 3. El resto de gráficas y tablas no se muestran para evitar redundancia en los resultados. Comparando los cuatro índices se detecta una cadencia de incremento de los días y noches cálidos mayor que el de descenso de las temperaturas mínimas.

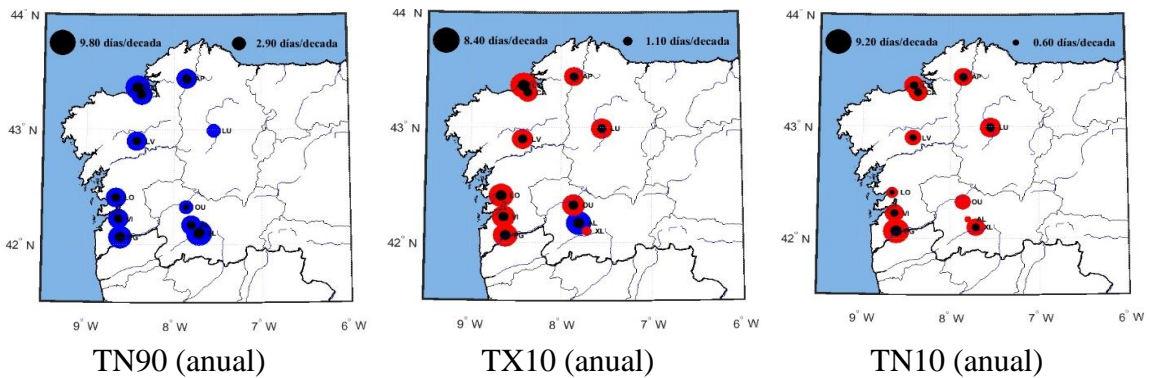
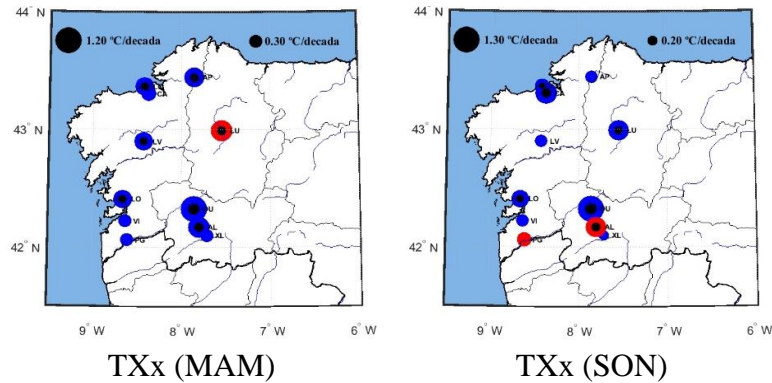


Fig. 4. Tendencias decadales anuales en el índice TN90, TX10 y TN10. El tamaño de los círculos indica la magnitud de las tendencias. El punto negro central señala aquellas tendencias que son significativas en un 90% o superior. El color rojo indica disminución del índice, en cambio el azul indica incremento.

En cuanto a la tendencia de los valores de las temperaturas máximas, índice de Valor máximo de temperatura máxima diaria (TXx), se observa que ésta es positiva y uniforme especialmente durante los meses de primavera y otoño. También los valores máximos de temperatura mínima, índice Valor

máximo de temperatura mínima diaria (TNn), muestran un aumento significativo y muy homogéneo en los meses de verano y otoño. En la figura 5 se muestran los mapas de los periodos en los que estas tendencias son más representativas.



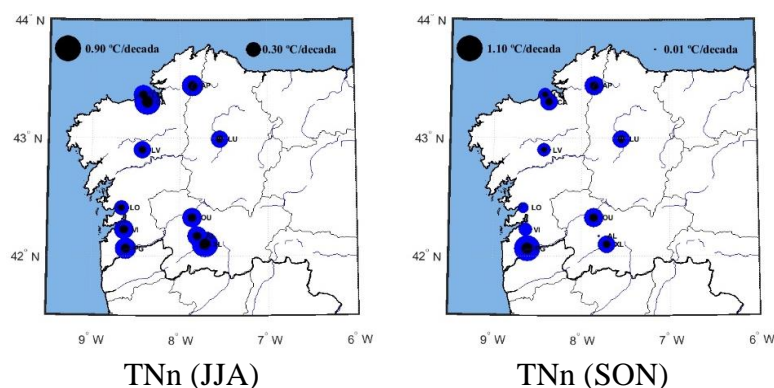


Fig. 5. Tendencias decadales estacionales de los índices TXx y TNn. El tamaño de los círculos indica la magnitud de las tendencias. El punto negro central señala aquellas tendencias que son significativas en un 90% o superior. El color rojo indica disminución del índice, en cambio el azul indica incremento.

Los índices relacionados con los Días de helada, considerando días de helada aquellos con temperatura mínima inferior a 10°C (FD), y Días de calor, siendo aquellos con temperatura máxima superior a 25°C (SU), muestran tendencias homogéneas y significativas en todo el territorio.

En el caso del índice FD estas tendencias son negativas indicando un menor número de días de helada (Tabla 6). Los principales cambios se observan durante la primavera y el otoño, y en menor medida durante el invierno. La mayor disminución se observa en las localizaciones de interior rondando los 3-4 días/década en primavera y otoño y

pudiendo llegar a los 8 días/década durante el periodo anual, véase Xinzo.

En el caso del índice SU, estas tendencias muestran un incremento en el número de días calurosos.

En cuanto al índice SU, son los trimestres de primavera, verano y otoño los que presentan las mayores tendencias con incrementos significativos al 95% que rondan los 5 días/década en las localizaciones situadas más al oeste de la comunidad gallega (Tabla 7).

Estación	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Allariz	-0,06	-0,03	-0,11	-0,00	0,00
As Pontes	-0,51**	-0,23*	-0,18**	0,00	-0,11**
Coruña	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coruña Aeropuerto	-0,14	-0,16	-0,02	0,00	-0,03*
Lavacolla	-0,18**	-0,07	-0,06**	0,00	-0,03**
Lourizán	-0,02	0,00	0,00	0,00	-0,01
Lugo	-0,59**	-0,18	-0,25**	-0,00	-0,09**
Ourense	-0,28	-0,09	-0,07	0,00	-0,11**
Paramos Guillarei	-0,50**	-0,28**	-0,14**	0,00	-0,08**
Vigo	-0,14**	-0,10**	-0,03**	0,00	-0,01*
Xinzo	-0,83**	-0,19	-0,34**	-0,03**	-0,26**

TABLA 6. Valores anuales y estacionales de la tendencia anual del índice FD. Los asteriscos indican las tendencias significativas al 95% (\*\*)/90% (\*).

Estación	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Allariz	-0,07	0,00	0,22**	0,22**	-0,22
As Pontes	0,62**	0,00	0,12**	0,12**	0,15**
Coruña	0,30**	0,00	0,03**	0,03**	0,13**
Coruña Aeropuerto	0,25	0,35*	0,00	0,00	0,09**
Lavacolla	0,50**	0,00	0,15**	0,15**	0,14**
Lourizán	0,58**	0,00	0,18**	0,18**	0,17**
Lugo	0,49**	1,33**	-0,08**	-0,08**	0,37**
Ourense	1,04**	0,00	0,46**	0,46**	0,33**
Paramos Guillarei	0,00	0,00	0,21**	0,21**	0,00
Vigo	0,44**	0,00	0,11**	0,11**	0,13*
Xinzo	0,44**	0,00	0,08**	0,08**	0,15*

TABLA 7. Valores anuales y estacionales de la tendencia anual del índice SU. Los asteriscos indican las tendencias significativas al 95% (\*\*)/90% (\*).

En relación con los periodos cálidos, índice Número de periodos cálidos con al menos 6 días consecutivos de temperatura máxima superior al percentil 90 (WSDI), y fríos, índice Número de periodos fríos con al menos 6 días consecutivos de temperaturas mínimas inferiores al percentil 10

(CSDI), destacan tendencias positivas generalizadas en el primer caso en los meses de invierno y primavera mientras que los periodos fríos muestran una disminución muy homogénea en toda Galicia durante la primavera y el verano (Figura 6).

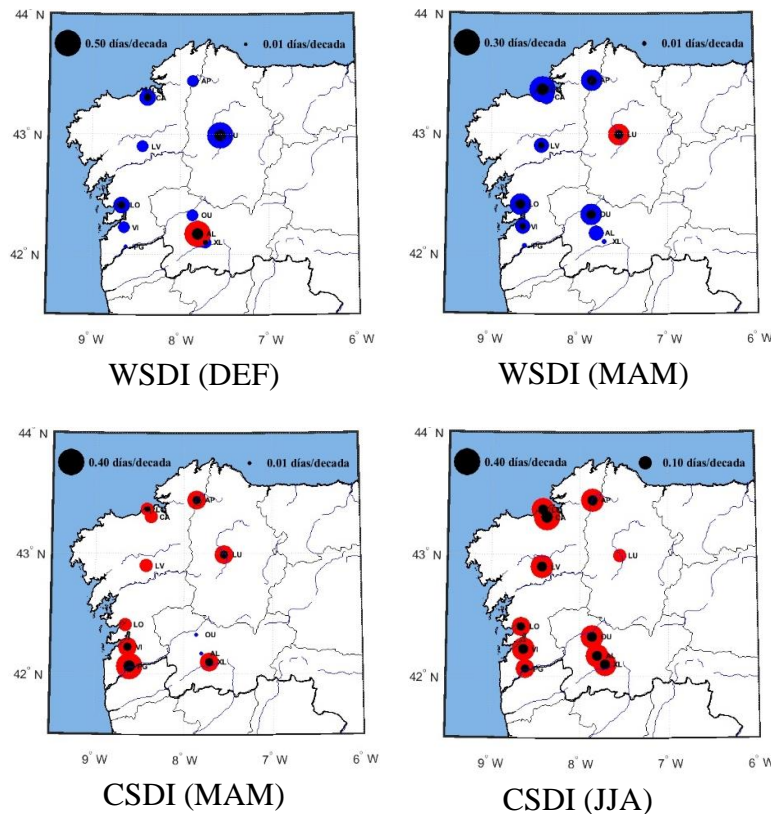


Fig. 6. Tendencias decadales estacionales en el índice WSDI y CSDI. El tamaño de los círculos indica la magnitud de las tendencias. El punto negro central señala aquellas tendencias que son significativas en un 90% o superior. El color rojo indica disminución del índice, en cambio el azul indica incremento.



### 3.2. Precipitación

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los índices de precipitación considerados. De nuevo, comentaremos únicamente los resultados más relevantes.

En la Tabla 8, que recoge los resultados del índice de Precipitación total en el periodo considerado (PrecTot), se observa una tendencia anual negativa en todo el territorio aunque no es significativa en todas las ubicaciones.

Destaca Fornelos donde el descenso anual alcanza -314,7 mm/década, seguido por el de Sarria, de -123,4 mm/década. Atendiendo al análisis estacional observamos que estas variaciones anuales son debidas principalmente a los descensos que se están produciendo en los meses de invierno y primavera sobre todo en la mitad sur de la comunidad gallega tal y como se puede ver en la Figura 7.

Estación	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Allariz	-4,82**	-2,66**	-1,08**	-0,48	-0,44
As Pontes	-1,96	-0,91	-0,71	0,49	-0,75
Coruña	-0,62	-0,68	-0,34	0,19	0,18
Ferrol	-1,11	-1,99	0,11	0,55	0,33
Fornelos	-314,7**	-22,37*	-5,56	-1,58	2,58
Lavacolla	-11,52**	-5,72**	-3,03**	0,03	-2,36
Lugo	-2,20*	-2,23	-0,24	-0,42	0,51
Ordes	-2,55	-2,05	-0,58	0,23	-0,23
Ourense	-0,17	-1,31	0,39	-0,70	1,40
Lourizán	-3,27	-3,61	-0,95	0,66	0,71
Rozas	-0,19	2,33	1,01	-1,24	-1,21
Sarria	-12,34**	-5,07**	-2,83**	-1,22*	-2,46*
Vigo	-11,05**	-6,05**	-2,86**	-0,10	-2,08

TABLA 8. Valores anuales y estacionales de la tendencia anual del índice PrecTot. Los asteriscos indican las tendencias significativas al 95% (\*\*)/90% (\*).

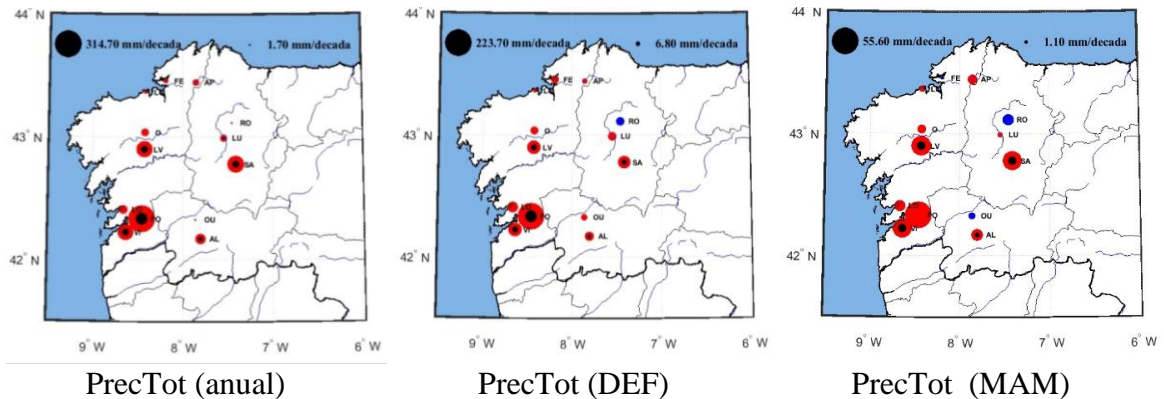


Fig 7. Tendencias decadales anuales y estacionales en el índice PrecTot. El tamaño de los círculos indica la magnitud de las tendencias. El punto negro central señala aquellas tendencias que son significativas en un 90% o superior. El color rojo indica disminución del índice, en cambio el azul indica incremento.

Las tendencias observadas en la Intensidad de precipitación diaria calculada como la cantidad de precipitación total entre el número de días lluviosos, considerando días lluviosos aquellos con una precipitación

> 1mm (SDII), son negativas y significativas en todo el territorio durante la mayor parte del año. Además encontramos que en las ubicaciones donde se registra un descenso de la precipitación total acumulada (PrecTot)

también se registran descensos de la intensidad de precipitación diaria. Las mayores disminuciones se dan en los

meses de invierno y llegan a alcanzar los -3.8 mm/década.

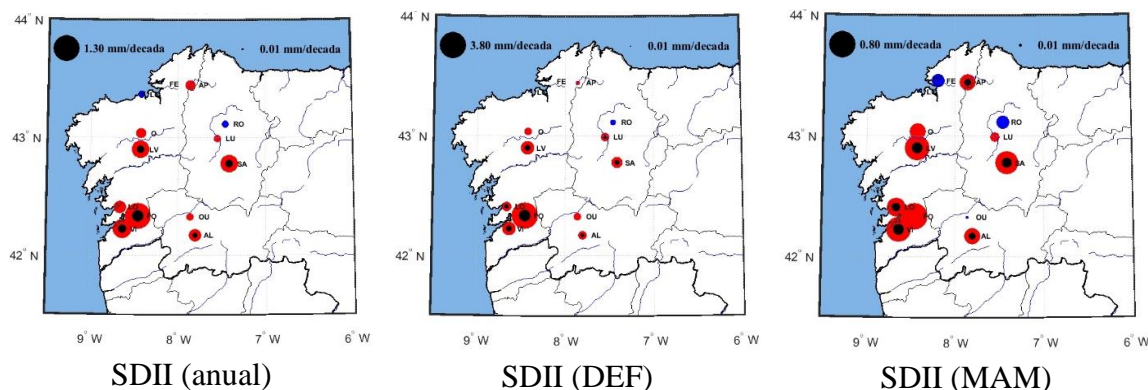


Fig 8. Tendencias decadales anuales y estacionales en el índice SDII. El tamaño de los círculos indica la magnitud de las tendencias. El punto negro central señala aquellas tendencias que son significativas en un 90% o superior. El color rojo indica disminución del índice, en cambio el azul indica incremento.

En cuanto a los índices Número de días de precipitación superior a 10 mm (R10), Precipitación en días por encima del percentil 90 de precipitación total acumulada en el periodo considerado (R90p) y Porcentaje de días de R95p respecto al total de días húmedos (R95pTot), relacionados con la intensidad de precipitación diaria encontramos comportamientos semejantes entre ellos. En general, las tendencias son negativas en los meses de invierno y primavera en el interior y sur de la comunidad, y variables y no significativas en el norte. Concretamente, el índice R10 (Tabla 9) indica que se está produciendo un descenso anual del número de días de

precipitación intensa, aunque estas tendencias solo son significativas en cuatro de las trece ubicaciones debido a la variabilidad estacional existente.

En la Tabla 10, correspondiente al Índice R90p, se observa que las tendencias en general son negativas y significativas al 95%, excepto en otoño que no son significativas, y en menor medida en el verano, donde solo son significativas en 3 de las 13 estaciones estudiadas. En el índice R95pTot se observan resultados similares (Tabla 11). El periodo estacional con mayor número de tendencias es la primavera y en todos los casos son negativas. En el resto de periodos las tendencias son más variadas.

Estación	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Allariz	-0,19*	-0,10*	-0,02	-0,02	-0,03
As Pontes	-0,14	-0,08	-0,02	0,01	-0,04
Coruña	-0,01	-0,04	-0,01	0,01	0,03
Ferrol	0,03	-0,07	0,05	0,02	0,05
Fornelos	-0,51**	-0,25	-0,12	-0,05	0,14
Lavacolla	-0,33**	-0,18*	-0,07**	0,01	-0,07
Lugo	-0,09	-0,11	0,00	-0,01	0,01
Ordes	-0,14	-0,10	-0,01	0,00	-0,03
Ourense	-0,06	-0,09	0,02	-0,03	0,05
Lourizán	-0,12	-0,14	-0,02	0,02	0,01
Rozas	0,04	0,07	0,14	-0,06*	-0,05
Sarria	-0,57**	-0,22**	-0,14**	-0,05**	-0,15**
Vigo	-0,27**	-0,17*	-0,05	-0,01	-0,05

TABLA 9. Valores anuales y estacionales de la tendencia anual del índice R10mm. Los asteriscos indican las correcciones significativas al 95% (\*\*)/90% (\*).

Estación	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Allariz	-3,87**	-1,90**	-1,37**	-0,64**	-0,09
As Pontes	-0,52	-0,09	-0,82**	0,34	-0,10
Coruña	0,93	0,12	0,03	0,18	0,45
Ferrol	-0,29	-0,55	-0,10	0,52	0,22
Fornelos	-24,25**	-14,67**	-5,94	-0,29	-0,35
Lavacolla	-9,16**	-3,87**	-3,41**	0,01	-1,20
Lugo	-0,80	-1,24	-0,06	-0,30	0,51
Ordes	-1,36	-0,89	-0,91	0,26	0,22
Ourense	0,34	-0,20	0,11	-0,55**	0,97
Lourizán	-1,88	-1,29	-1,57*	0,32	1,09
Rozas	0,81	2,25	0,11	-0,61	-0,38
Sarria	-7,27**	-2,85*	-2,64**	-0,81*	-1,01
Vigo	-8,47**	-3,38**	-3,13**	-0,55	-1,00

TABLA 10. Valores anuales y estacionales de la tendencia anual del índice R90p. Los asteriscos indican las correcciones significativas al 95% (\*\*)/90% (\*).

Estación	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Allariz	-0,12*	-0,16	-0,34**	-0,16	0,12
As Pontes	0,04	0,07	-0,20*	0,09	0,04
Coruña	0,07	0,03	-0,01	0,14	0,13
Ferrol	-0,03	-0,05	-0,05	0,07	0,07
Fornelos	-0,42*	-0,67*	-0,66*	-0,06	-0,16
Lavacolla	-0,18**	-0,08	-0,41**	0,03	-0,11
Lugo	0,01	-0,01	0,04	-0,28*	0,21
Ordes	-0,01	-0,01	-0,21*	0,11	0,05
Ourense	0,10	0,20	0,06	-0,50*	0,14
Lourizán	-0,04	-0,09	-0,25*	0,18	0,08
Rozas	0,13	0,67**	0,00	-0,22	0,12
Sarria	-0,21**	-0,12	-0,42**	-0,20	-0,02
Vigo	-0,21**	-0,25**	-0,47**	-0,24	-0,01

TABLA 11. Valores anuales y estacionales de la tendencia anual del índice R95pTot. Los asteriscos indican las correcciones significativas al 95% (\*\*)/90% (\*).

Teniendo en cuenta el conjunto de resultados de los índices R10, R90p y R95pTot, relacionados con la cantidad de precipitación diaria, se aprecian tendencias contrarias entre costa e

interior en los meses de verano (Figura 9), si bien en todos los casos, las únicas tendencias significativas son las negativas.

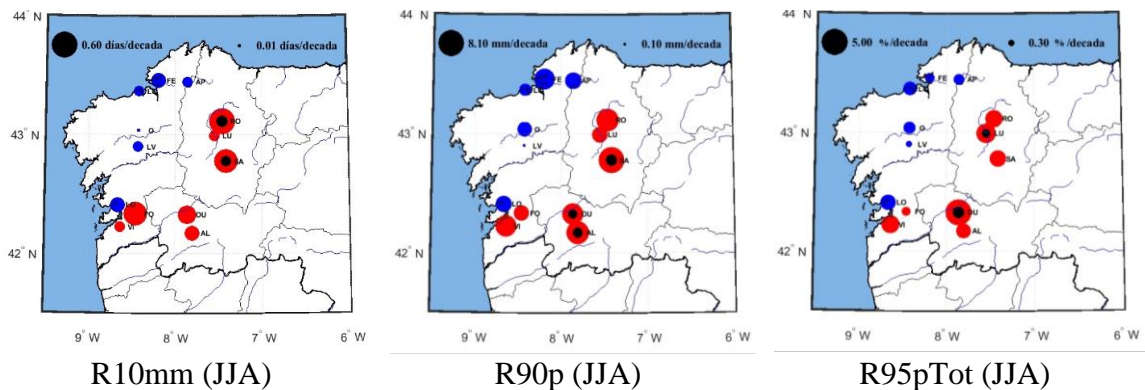


Fig 9. Tendencias decadales en los meses de verano (JJA) de los índices R10mm, R90p y R95pTot. El tamaño de los círculos indica la magnitud de las tendencias. El punto negro central señala aquellas tendencias que son significativas en un 90% o superior. El color rojo indica disminución del índice, en cambio el azul indica incremento.

En cuanto al índice de Valor máximo de precipitación diaria registrada (RX1D, Tabla 12), las tendencias negativas son las únicas que alcanzan significatividad sobre todo en primavera en el interior y sur de la comunidad. Durante el resto de

los periodos estacionales las tendencias son variables predominando las positivas en otoño aunque no llegan a alcanzar una significatividad superior al 90%.

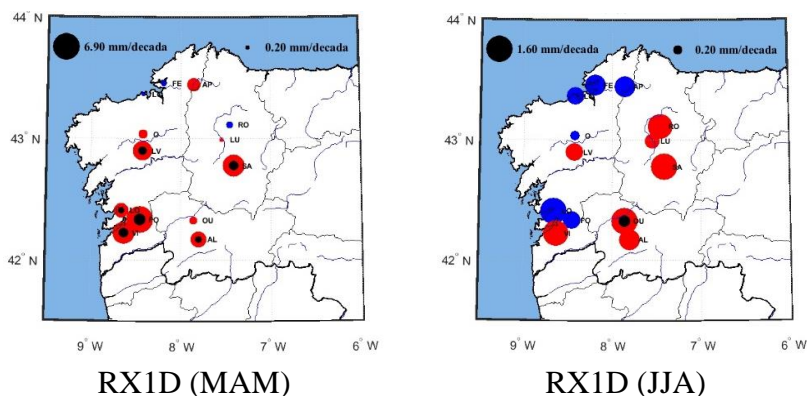
Estación	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Allariz	-0,15*	-0,18**	-0,24**	-0,10	-0,02
As Pontes	-0,03	0,11	-0,17	0,10	-0,18
Coruña	0,08	-0,04	0,02	0,07	0,12
Ferrol	-0,13*	-0,15	0,04	0,10	0,01
Fornelos	-0,51	-1,66**	-0,69*	0,07	0,24
Lavacolla	-0,21	-0,10	-0,36**	-0,07	-0,18
Lugo	0,19*	0,06	-0,02	-0,05	0,10
Ordes	0,18	0,18	-0,08	0,02	0,21
Ourense	0,25	0,12	-0,06	-0,16*	0,27
Lourizán	-0,05	-0,09	-0,21**	0,16	0,25
Rozas	0,16	0,40	0,05	-0,14	-0,05
Sarria	-0,45**	-0,13	-0,46**	-0,16	-0,20
Vigo	-0,24	-0,45**	-0,48**	-0,15	-0,01

TABLA 12. Valores anuales y estacionales de la tendencia anual del índice RX1D. Los asteriscos indican las correcciones significativas al 95% (\*\*)/90% (\*).

El índice Valor de precipitación máxima en un periodo de 5 días consecutivos (RX5D) presenta un comportamiento similar al máximo diario acumulado. Como se observa en la Figura 10, donde se muestran los mapas de primavera y verano para ambos índices, RX1D y RX5D, en los meses de primavera las tendencias son

predominantemente negativas y significativas al 90% y 95%.

En verano existe diferencia entre interior y costa, aunque solo son significativas en dos ubicaciones, Lourizán (1,5 mm/década) y Sarria (-4,1 mm/década) para el índice RX5D y en una para el índice RX1D.



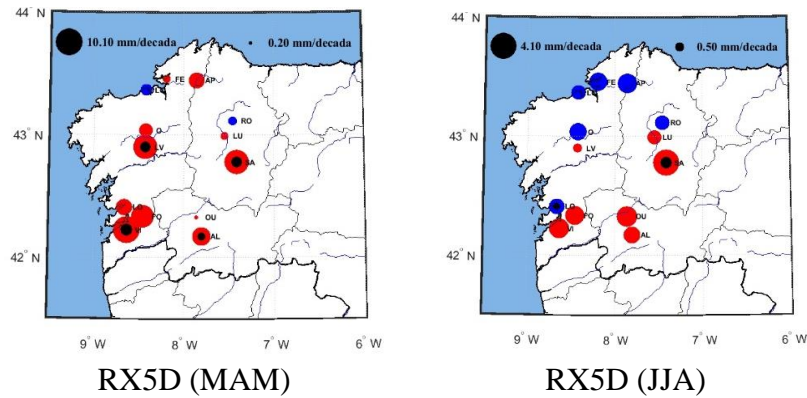


Fig 10. Tendencias decadales y estacionales en los índices RX1D y RX5D. El tamaño de los círculos indica la magnitud de las tendencias. El punto negro central señala aquellas tendencias que son significativas en un 90% o superior. El color rojo indica disminución del índice, en cambio el azul indica incremento.

En la duración de los periodos de Días secos consecutivos (CDD), encontramos una mayoría de valores negativos, aunque solamente significativos en los casos de As Pontes y Ordes. También la tendencia en Sarria es significativa al 95%, pero en este caso es positiva. La homogeneidad anual no se observa en los periodos

estacionales, en general, las tendencias son variadas y muy pocas son significativas. Como vemos en la Tabla 13, el periodo donde hay un mayor número de tendencias significativas es en verano, y de nuevo encontramos diferencia de tendencias entre costa e interior.

Estación	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Allariz	-0,06	-0,03	-0,05	0,00	0,04
As Pontes	-0,12*	0,01	-0,01	-0,13*	-0,02
Coruña	0,001	-0,06	0,02	-0,01	0,05*
Ferrol	-0,07	-0,03	-0,04	-0,01	0,01
Fornelos	-0,13	0,13	0,05	-0,10	-0,12
Lavacolla	0,001	-0,04	0,01	-0,04	0,05
Lugo	-0,16	-0,06	0,13**	-0,09	0,03
Ordes	-0,04*	0,01	0,00	-0,08**	0,01
Ourense	0,001	-0,07	0,13	0,34**	0,02
Lourizán	-0,05	0,00	-0,02	-0,11	-0,05
Rozas	0,01	0,01	-0,03	0,20	0,02
Sarria	0,22**	0,02	0,05	0,16	0,06
Vigo	-0,02	-0,02	0,01	0,01	0,01

TABLA 13. Valores anuales y estacionales de la tendencia anual del índice CDD. Los asteriscos indican las tendencias significativas al 95% (\*\*)/90% (\*).

Las tendencias en el índice de Días húmedos consecutivos registrados en el periodo considerado (CWD) son en general negativas para todo el territorio y a lo largo del año. Los descensos anuales están en torno a los 0,5 días/década, y son significativos al 90% o superior en cinco de las trece localizaciones estudiadas.

Representando los resultados en un mapa (Figura 11), podemos apreciar cierta homogeneidad hacia un descenso de la longitud de los periodos húmedos en los meses de primavera, verano y otoño. De nuevo, las únicas tendencias significativas al 90% o superior son las negativas.



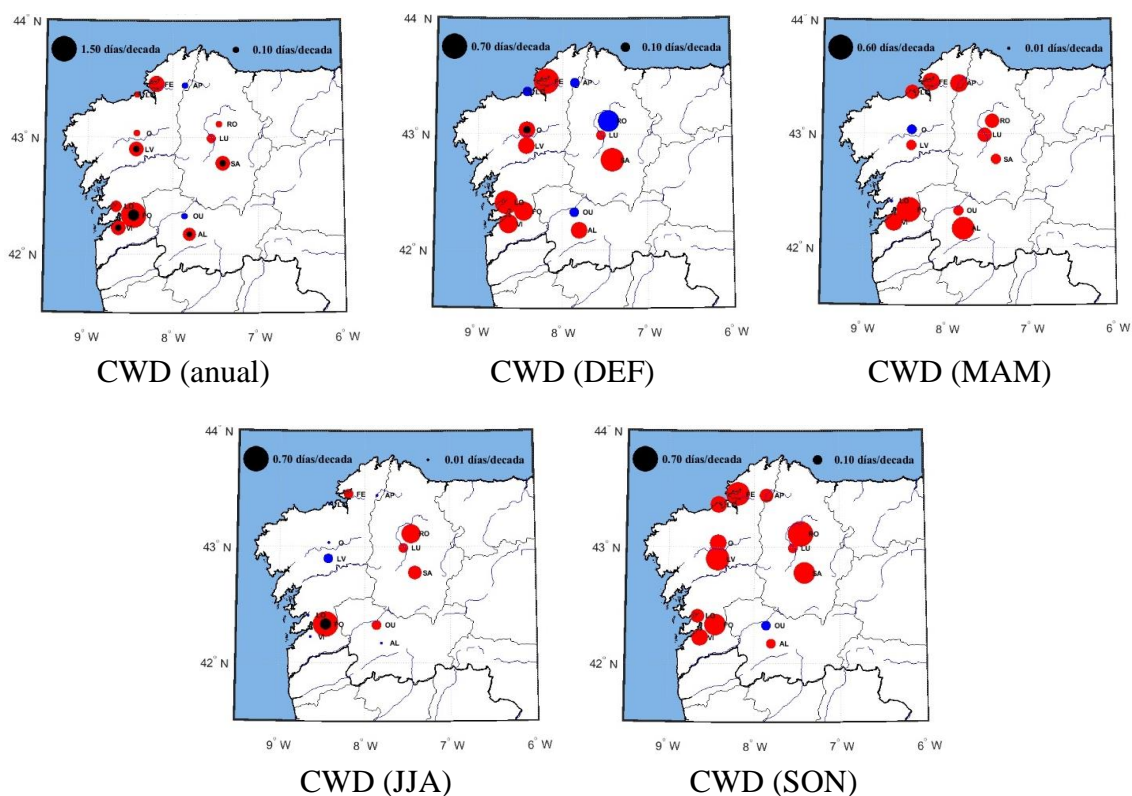


Fig 11. Tendencias decadales y estacionales en el Índice CWD. El tamaño de los círculos indica la magnitud de las tendencias. El punto negro central señala aquellas tendencias que son significativas en un 90% o superior. El color rojo indica disminución del índice, en cambio el azul indica incremento.

#### 4. Conclusiones

El principal objetivo de este trabajo es el estudio de los cambios en las variables climáticas de temperatura y precipitación que se han ido produciendo en las últimas décadas (periodo 1960-2017) en el territorio correspondiente a la Comunidad Autónoma de Galicia, situada en el noroeste de la Península Ibérica.

Analizando el conjunto de resultados de los índices de Temperatura podemos concluir que se está produciendo un incremento en el número de días y noches cálidas (TX90, TN90) y un descenso de los días y noches fríos (TX10, TN10), esto coincide con las conclusiones de estudios previos realizados a escala regional (Cruz *et al.*, 2009) y para el conjunto de la Península Ibérica (Rodríguez-Puebla *et al.*, 2010,

Andrade *et al.*, 2012, Brunet *et al.*, 2007). Las temperaturas máximas (TXx) muestran tendencias positivas significativas en los meses de primavera y otoño, y las mínimas (TNn) en verano y otoño. Al contrario de lo encontrado a nivel europeo por Tank y Können, 2003, el incremento de las temperaturas mínimas es mayor que el de las máximas. En cuanto al número de días de helada (FD) se observa una disminución en el cómputo anual, mientras que el número de días de calor ( $T_{max} > 25^{\circ}$ ) va en aumento. La tendencia anual de días de verano (SU) muestra un incremento generalizado en toda la región. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Fernández-Montes y Rodrigo, 2012 en cuyo trabajo se incluye nuestra área de estudio.

En concordancia con los índices anteriores, encontramos que los periodos cálidos (WSDI) muestran tendencias positivas, significativas en los meses de invierno y primavera, y los periodos fríos presentan tendencias negativas significativas en primavera y verano. De acuerdo con Ramos *et al.*, 2011, en Portugal, región colindante a Galicia, las tendencias en este índice coinciden.

En relación con la precipitación anual acumulada (PrecTot), a diferencia de los resultados obtenidos en estudios previos como el de Cruz *et al.*, 2009 en el que las tendencias no eran significativas, en nuestro análisis cinco de las trece estaciones utilizadas, situadas en el centro y sur de Galicia, muestran tendencias significativas decrecientes que se repiten en invierno y primavera. El índice SDII, relacionado con la intensidad de precipitación muestra un comportamiento similar al de PrecTot. En otros trabajos como el de De Lima *et al.*, 2014, realizado para la región de Portugal en el periodo 1941-2007, la conclusión fue similar. Los índices relacionados con la cantidad de precipitación (RX1D, RX5D, R95pTot, R90p) presentan comportamientos semejantes y muestran tendencias negativas en las regiones de interior y sur de Galicia, mientras que en la región norte las variaciones observadas son

variables y no significativas. Los días de precipitación intensa (R10) también parecen estar disminuyendo en invierno en las regiones interior y sur de Galicia. El índice que registra la duración de los periodos secos (CDD) muestra una gran variabilidad en las tendencias asociadas tanto al periodo como a la localización geográfica del punto analizado. La tendencia en la longitud de los periodos húmedos (CWD) es negativa, mostrándose uniforme en todo el territorio y a lo largo del año, aunque los valores significativos se obtienen principalmente en cinco ubicaciones del interior y sur de Galicia.

En general, las tendencias existentes en los índices de precipitación se inclinan hacia un descenso en casi todos los casos, aunque los valores varían bastante según la localización geográfica y la época del año. Sin embargo, aunque los cambios por ahora son relativamente pequeños y parecen decantarse hacia disminuciones, también se observan incrementos en otoño en los índices RX1D y RX5D, índices relacionados con la torrencialidad que aunque aún no muestran significatividad en sus valores hay que tener en cuenta ya que muchos de los resultados encontrados en este estudio una década atrás no mostraban significatividad en sus tendencias y hoy si la muestran (Cruz *et al.*, 2009).

## Agradecimientos

Queremos agradecer a Meteogalicia y AEMET el suministro de datos meteorológicos.

## Referencias

- Andrade, C., Leite, S.M., Santos, J.A., 2012. Temperature extremes in Europe: overview of their driving atmospheric patterns. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12:1671-1691.
- Brunet, M., Jones, P.D., Sigró, J., Saladié, O., Aguilar, E., Moberg, A.,

- Della-Marta, P.M., Lister, D., Walther, A., López, D., 2007. Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850–2005. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112.
- Cruz, R., Lago, A., Lage, A., Rial, M.E., Diaz-Fierros, F., Salsón, S. (2009). Evolución recente do clima de Galicia. Tendencias observadas nas variables meteorolóxicas. En Xunta de Galicia Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible (Ed.), *Evidencias e Impacto do Cambio Climático en Galicia* (pg. 19-58). Tórculo Artes Gráficas S.A.
- De Lima, M.I.P., Trigo, R.M., Santo, F.E., Ramos, A.M., 2014. Trends and correlations in annual extreme precipitation indices for mainland Portugal, 1941–2007. *Theoretical and Applied Climatology*, 119:55-75.
- Fernández-Montes, S., Rodrigo, F.S., 2012. Trends in seasonal indices of daily temperature extremes in the Iberian Peninsula, 1929–2005. *International Journal of Climatology*, 32:2320-2332.
- Gilbert, R.O., 1987. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Estados Unidos: Van Nostrand Reinhold Company.
- Gómez-Gesteira, M., Gimeno, L., de Castro, M., Lorenzo, M.N., Alvarez, I., Nieto, R., Taboada, J.J., Crespo, A.J.C., Ramos, A.M., Iglesias, I., Gomez-Gesteira, J.L., Santo, F.E., Barriopedro, D., Trigo, I.F., 2011. The estate of climate in NW Iberia. *Climate Research*, 48:109-144.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Martínez-Cortizas, A., Pérez-Alberti, A., 1999. *Atlas Climático de Galicia*. Santiago de Compostela: GRAFICANT S.L.
- Naranjo, L., Pérez-Muñuzuri, V., 2006. *A Variabilidade natural do clima en Galicia*. Edita Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible, Xunta de Galicia. ISBN 978-84-96494-74-8
- Peterson, T.C., 2005. *Climate Change Indices*. *World Meteorological Organization Bulletin*, 54, 2.
- Ramos, A.M., Trigo, R.M., Santo, F.E., 2011. Evolution of extreme temperatures over Portugal: recent changes and future scenarios. *Climate Research*, 48:177-192.
- Rodrigo, F.S., Trigo, R.M., 2007. Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002. *International Journal of Climatology*, 27:513-529.
- Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A.H., García-Casado, L.A., Nieto, S., 2010. Trends in warm days and cold nights over the Iberian Peninsula: relationships to large-scale variables. *Climatic Change*, 100:667–684.
- Santo, F.E., deLima, M.I.P., Ramos, A.M., Trigo, R.M., 2014. Trends in seasonal surface air temperature in mainland Portugal, since 1941. *Royal Meteorological Society*, 34:1814-1837.
- Tank, M.G.K., Können, G.P., 2003. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99. *Royal Netherlands*

Meteorological Institute, De Bilt,  
Netherlands.

Wilks, D.S., 2006. *Statistical Methods  
in the Atmospheric Sciences*. Estados  
Unidos: ELSEVIER.

Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G.C.,  
Jones, P., Tank, A.K., Peterson, T.C.,  
Trewin, B., Zwiers, F.W., 2011. In-  
dices for monitoring changes in ex-  
tremes based on daily temperatura  
and precipitation data. *WIREs Clim  
Change*, 2:851-870.