



Estudio sobre efectos  
constatados y percepción del

# Cambio Climático

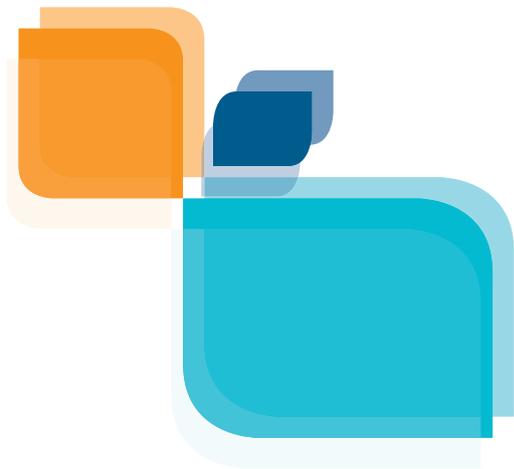
en el medio rural de Castilla-La Mancha



Castilla-La Mancha

calor  
mundo  
desertificación  
temperatura  
Castilla-La Mancha  
cambio climático  
superficie  
planeta  
parámetros  
precipitaciones  
alteraciones  
fauna  
modificación  
ecosistemas  
gases  
Impacto  
clima  
nubosidad  
calentamiento





Estudio sobre efectos  
constatados y percepción del

# Cambio Climático

en el medio rural de Castilla-La Mancha

Segundo Informe



Estudio sobre efectos  
constatados y percepción del

# Cambio Climático

en el medio rural de Castilla-La Mancha

Propuestas de Medidas de Adaptación.

## Coordinadores:

Jonathan Gómez Cantero, Alfonso Rodríguez Torres, Eduardo Bustillo Holgado y Pablo Rodríguez Bustamante.

Coordinación general: GEOCyL Consultoría, S.L.

## Unidad de Apoyo:

Oficina del Cambio Climático de Castilla-La Mancha

La elaboración de este informe ha sido financiada por el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural. FEADER.

## Como citar la obra:

En conjunto:

Jonathan Gómez Cantero, Rodríguez-Torres A., Bustillo Holgado E. y Rodríguez Bustamante P. (Coord.). 2018. Estudio sobre Efectos Constatados y Percepción del Cambio Climático en el Medio Rural de Castilla-La Mancha. Propuestas de Medidas de Adaptación. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

## Por capítulos:

Cada capítulo con su título y autoría.

In Jonathan Gómez Cantero, Rodríguez-Torres A, Bustillo Holgado E. y Rodríguez Bustamante P. (Coord.). 2018. Estudio sobre Efectos Constatados y Percepción del Cambio Climático en el Medio Rural de Castilla-La Mancha. Propuestas de Medidas de Adaptación. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

Edita: Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural de Castilla-La Mancha. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha

Diseño, maquetación e impresión:

IMP Comunicación

2018

Depósito Legal: TO 512-2018

Ejemplar gratuito. Prohibida su venta.

Este informe refleja la opinión de los autores y no necesariamente la de la Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural de Castilla-La Mancha.



Promoviendo una gestión forestal sostenible.

Para más información [www.pefc.org](http://www.pefc.org)

# ESTUDIO SOBRE EFECTOS CONSTATADOS Y PERCEPCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MEDIO RURAL DE CASTILLA-LA MANCHA

## PROPUESTAS DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

### COORDINADORES

Jonathan Gómez Cantero, Alfonso Rodríguez Torres, Eduardo Bustillo Holgado y Pablo Rodríguez Bustamante

### AUTORES

J. Gómez, E. Bustillo, P. Rodríguez, P. Acebedo, S. Amadoro, M. Andrés, R. Arias, A. Avilés, C. Bachiller, F. Bravo, M.J. Cabello, F. Chico, A. Chicote, J.F. Couceiro, A. Domínguez, L.E. Espinoza, J.P. Falomir, J.J. Fernández, M.R. Fernández, I.G. Fernández de Mera, M. Florín, A. García, E. García, F.A. García, J.J. Garde, P. Gavidia, M.B. Gómez, C. Gortázar, R. U. Gosálvez, R. Granda, N. Herrera, J. Laborda, C. Laguna, B.C. Léllis, E. López, F.R. López, D. López-Rey, C. Martín, A. Martínez-Navarro, A. Martínez-Romero, E. Martínez-Burgos, E. Martínez-García, E. Martínez-Ibarra, J. Martínez, R. Mateo, H. Miettinen, L. Miguel, A.J. del Moral, E. Morales, C. Morán, E.M. Muñoz, A. Nájera, J.J. Pardo, M.D. Pérez, R. Pérez, M.I. Picazo, J. Rojo, E. Rubio, F. Ruiz-Fons, A. Sánchez, E. Sánchez, G. Sánchez, T. Sánchez, D. Sánchez-Gómez, D. Sánchez-Ramos, M. Serrano, A.J. Soler, J.M. Tarjuelo, A. Velasco, J. Vicente, J.L. Yela.

### UNIDAD DE APOYO

Alfonso Rodríguez Torres, Javier Santamarta Álvarez y David Martín Arribas.

Oficina del Cambio Climático de Castilla-La Mancha.

Viceconsejería de Medio Ambiente.

Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural.



calor  
Castilla-La Mancha  
cambio climático  
sequía  
superficie  
planeta  
ecosistema  
nuestros  
precipitación  
Impacto  
desertificación

# Presentación

Naciones Unidas, define el cambio climático como uno de los mayores desafíos de nuestro tiempo y supone una presión adicional para nuestras sociedades y el medio ambiente. Desde pautas meteorológicas cambiantes, que amenazan la producción de alimentos, hasta el aumento del nivel del mar, que incrementa el riesgo de inundaciones catastróficas, los efectos del cambio climático son de alcance mundial y de una escala sin precedentes. Si no se toman medidas drásticas desde hoy, será más difícil y costoso adaptarse a estos efectos en el futuro.

Conscientes de que los gobiernos tienen la obligación de promover medidas que faciliten la adaptación al mismo, a la vez que contribuyan a mitigar sus efectos, así como de la importancia que ya está teniendo este proceso en la vida de los castellano-manchegos, el Gobierno presidido por Emiliano García-Page, ha encargado la realización de este informe que contiene un estudio sobre efectos constatados y percepción del Cambio Climático en el medio rural de nuestra Comunidad Autónoma, con el objeto de disponer de una base sólida y rigurosa, construida con la opinión de expertos en diferentes campos, que aportando su visión cualificada sobre este suceso, constituyan la base sobre la que construir las decisiones políticas futuras en la lucha contra el Cambio Climático en Castilla-La Mancha.

Los efectos y cambios producidos por la alteración del clima son cada vez más evidentes en nuestra región. La subida en más de un grado centígrado de la temperatura media regional y la notable pérdida de precipitación, que han tenido lugar en los últimos cuarenta años, están dejando marcas cada vez más reconocibles en nuestra geografía, tanto física como humana.

El adelanto de la temporada de vendimia, el incremento de las floraciones tempranas o el acortamiento de los ciclos fenológicos de muchos de nuestros cultivos agrícolas son signos más que evidentes fácilmente observables para nuestra gente del campo. Son sólo unos pocos ejemplos de los efectos plausibles que no escapan a la sencilla observación diaria de quién más de cerca los padece y que deben adaptar sus calendarios de actividad para hacer sostenibles sus explotaciones.

A primera vista no podemos calificar estos cambios ni como positivos ni como negativos. Es sencillamente una cuestión de modificar los hábitos y costumbres. Sin embargo, otros efectos no tan evidentes necesitan ser analizados en profundidad y contrastados con situaciones históricas, experiencias parecidas, interpretaciones, estadísticas o modelos matemáticos que permitan descartar incertidumbres y establecer la causa real y sus consecuencias a medio y largo plazo.

Este segundo informe (el primero fue en 2009) no se basa en proyecciones climáticas, sino que analiza series históricas de datos climáticos obtenidos de estaciones meteorológicas ubicadas en el territorio regional y recopila y analiza eventos y observaciones realizadas a lo largo de los últimos años, tratando de identificar potenciales efectos provocados por el cambio climático.

El agua, tanto por su disponibilidad como por su gestión, es quizás el principal reto que nos plantea el cambio climático en Castilla-La Mancha, y conscientes de ello, desde el Gobierno ya trabajamos inten-

samente en este campo, tratando de involucrar a todos los agentes sociales que tengan algo que aportar, y que deberá quedar plasmado en un documento del agua que recoja todas las sensibilidades de la sociedad, e impulse medidas de sostenibilidad que colaboren al éxito de las políticas de lucha contra el Cambio Climático en nuestra Región, a la vez que se sienten las bases para que nuestro medio natural, nuestra agricultura, y en definitiva nuestra Región, tenga un futuro viable y sostenible en el medio y largo plazo. No hay que olvidar que de las siete demarcaciones hidrográficas que nos afectan, cuatro dependen exclusivamente de las precipitaciones que se producen en la región para renovar sus recursos hídricos y satisfacer todas las demandas de agua que se generan, tanto las humanas como las naturales.

Pero en este amplio informe, no sólo se analizan los recursos hídricos, sino que se estudia la variación climática experimentada en los últimos 36 años en Castilla-La Mancha, las perturbaciones meteorológicas extremas observadas en la región, los efectos inducidos por las alteraciones climáticas en los bosques, cultivos, sanidad ganadera, infraestructuras, salud humana y su relación con la despoblación del mundo rural. Se incluye también un interesante estudio sobre la percepción del cambio climático por la ciudadanía de Castilla-La Mancha y un análisis del tratamiento de la información en los medios de comunicación.

Los autores de cada capítulo, a los quiero reconocer y agradecer su trabajo, no sólo hacen constar su análisis crítico de la situación sino que aportan de forma bien fundamentada potenciales medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad de cada sector.

Al igual que el primer informe, los resultados de este trabajo complementarán las medidas de las estrategias frente al cambio climático en Castilla-La Mancha en los futuros horizontes temporales de cumplimiento de la Unión Europea y permitirán acercarnos al objetivo del Acuerdo de París, porque nos permiten avanzar e incluso anticiparnos a los efectos, reorientar criterios y asegurar los niveles de bienestar y desarrollo de manera sostenible.

Construir las estrategias y planes de acción sobre la base del conocimiento es el paso fundamental para construir el futuro regional y va a permitir, a través de una acción temprana, disminuir las vulnerabilidades de nuestro sistema socioeconómico, reducir los costes y garantizar su sostenibilidad.

**Francisco Martínez Arroyo**

*Consejero de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural*

# Índice



<b>1. En el clima .....</b>	<b>10</b>
1. Alteraciones climáticas observadas en los últimos años .....	11
2. Extremos meteorológicos: analizar el pasado para entender el presente .....	53
3. Los escenarios previstos en Castilla-La Mancha .....	67
<b>2. En los recursos hídricos .....</b>	<b>76</b>
1. Recursos hídricos y cambio climático en Castilla-La Mancha .....	77
2. El futuro del Río Tajo en los escenarios de cambio climático y uso de sus recursos .....	97
<b>3. En el medio natural.....</b>	<b>102</b>
1. Efectos observados en la naturaleza, la fauna y espacios protegidos .....	103
2. Efectos del cambio climático sobre los montes de Castilla-La Mancha.....	117
3. Una visión general a la problemática de los incendios forestales .....	135
4. Régimen de incendios, dinámica y evolución de los incendios forestales en Castilla-La Mancha en un escenario de cambio climático. ....	147
5. Polen atmosférico y cambio climático en Castilla-La Mancha .....	189
6. Usos y pérdida de suelo .....	199
7. Los humedales y el cambio climático en Castilla-La Mancha.....	213
8. Humedales de tratamiento y reutilización de aguas residuales.....	233
9. Cambio climático en los humedales, ocurrencia de supercélula en Salicor.....	239
10. El botulismo aviar: una amenaza añadida para los humedales castellano-manchegos ante el cambio climático .....	245
11. Artrópodos y cambio climático en Castilla-La Mancha: una evaluación preliminar .....	249
12. Problemática sanitaria de la sobreabundancia de ungulados silvestres e interacción con el cambio climático .....	259



<b>4. En la socioeconomía.....</b>	<b>264</b>
1. Efectos del cambio climático en la ganadería.....	265
2. Cambio climático y fisiología reproductiva .....	271
3. Cambio climático, vectores y enfermedades vectoriales.....	277
4. La viticultura de Castilla-La Mancha ante el cambio climático.....	287
5. El pistachero ante el cambio climático en España .....	295
6. Efectos del cambio climático en el cultivo del ajo .....	301
7. El almendro en Castilla-La Mancha frente al cambio climático.....	309
8. El caso del regadío .....	315
9. Herramientas para mitigar el efecto del cambio climático sobre los regadíos.....	321
10. Daños en infraestructuras .....	327
11. Impactos en el turismo rural.....	333
12. Cambio climático y despoblación .....	359
<b>5. Salud y cambio climático en Castilla-La Mancha.....</b>	<b>380</b>
1. Efectos del cambio climático sobre la salud humana en Castilla-La Mancha.....	381
2. Cambio climático y alergias polínicas.....	397
<b>6. Sociedad y cambio climático en Castilla-La Mancha.....</b>	<b>408</b>
1. La percepción de cambio climático en la región .....	409
2. Medios de comunicación y cambio climático .....	431
<b>Un reto de futuro.....</b>	<b>440</b>
<b>Anexo.....</b>	<b>442</b>

# Capítulo 1

## En el clima



## Alteraciones climáticas observadas en los últimos años

Jonathan Gómez Cantero

Geógrafo-Climatólogo, investigador en cambio climático.

Docente, Consultor internacional. Actualmente en El Tiempo de CMM

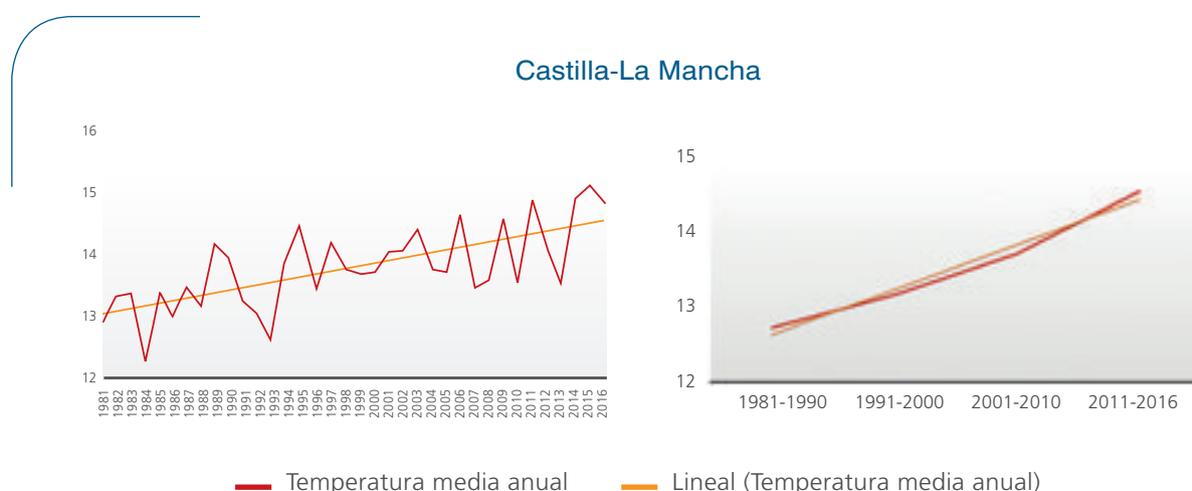
Para el buen estudio de las tendencias climáticas, se hace obligatorio usar todas las redes de toma de datos disponibles. En este caso, se dispone de las estaciones de AEMET de primer orden, una estación por cada capital provincial más la de Molina de Aragón en Guadalajara. Aun siendo conscientes del bajo porcentaje de territorio cubierto, son los datos más fiables de los que se dispone, tomados en estaciones homologadas y que cumplen con los estándares de la Organización Meteorológica Mundial. Se trata, pues, de unos datos de gran fiabilidad científica que permiten su tratamiento desde distintos puntos de vista estadísticos.

*Los datos han sido elaborados por la Oficina del Cambio Climático de Castilla-La Mancha (Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Desarrollo Rural) a partir de los datos oficiales suministrados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, en julio de 2017.*

### Temperaturas

Analizados los datos de temperatura para el periodo 1981-2016 en el conjunto de la región, se observa un aumento indiscutible de la temperatura media anual, de hasta 1,4°C para el periodo de estudio. El año más cálido de la serie fue 2015 con 15,14°C de temperatura media, mientras que el más frío fue 1984 con 12,84°C. La temperatura media interanual ha llegado en algunos momentos a crecer a un ritmo de 0,04°C.

Si analizamos los datos por décadas, la información es aún más relevante, pues constata un claro aumento. Pasó de 13,47°C de media en el primer intervalo, a 14,63°C en el último, aunque hemos de tener presente que aún quedarían algunos años para cerrar la década. El aumento ha llegado a ser de 0,28°C, pero en caso de 2001-2010/2011-2016 el aumento fue de 0,53°C, por lo que no sólo debe constatar un claro calentamiento, sino una aceleración en el ritmo. Cada década, la temperatura no sólo se incrementa, sino que la subida es con mayor fuerza.



Si analizamos cartográficamente los mayores aumentos, veremos que Cuenca tiene el mayor aumento de la temperatura media anual, con un valor que alcanzaría los 1,89°C para el periodo de estudio.

Albacete también tendría un gran aumento térmico que alcanzaría los 1,55°C, mientras que en Guadalajara, Toledo y Ciudad Real se moverían entre los 1,26°C y los 1,3°C.

### Primavera

Para los meses de marzo, abril y mayo se constata igualmente un calentamiento de 1,8°C para el conjunto de años. El año más frío fue 1984 con 9,71°C, de hecho, ha sido el único año cuya media ha caído de los 10°C, mientras el más cálido ha sido 2015 con 14,09°C.

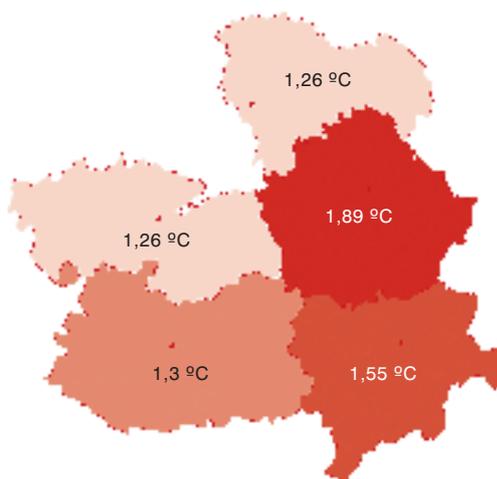
El ritmo de crecimiento interanual ha sido de media de 0,05°C, aunque en algunos años como 2013-2014 fue de 2,68°C. Estos datos constatan una marcada variabilidad, cada vez más intensa, pero caracterizada en todo caso por una tendencia al alza. Primaverares frescas, pueden alternarse con primaverares extremadamente cálidas.

Por provincia, es Cuenca la que tiene un mayor aumento para estos meses del año, que alcanzaría hasta 2,42°C, seguida de Albacete que se quedaría en 2,17°C de aumento. El resto estarían por debajo de los dos grados de aumento, quedándose Ciudad Real en 1,74°C; Toledo en 1,53°C y Guadalajara en 1,03°C.

### Verano

Los meses de junio, julio y agosto son los que presentan el calentamiento más marcado. La temperatura ha aumentado para el periodo de estudio en 2,27°C, pasando esta época del año de tener una temperatura media de entorno a los 21°C a en algunos casos, más de 25°C. El verano más frío volvió a ser el del año 1984 con 21,6°C, mientras que el de 2015 alcanzó los 25,09°C.

Variación de la temperatura (1981-2016)

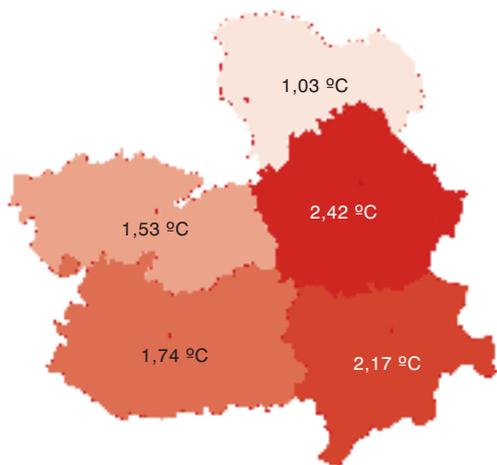


Castilla-La Mancha

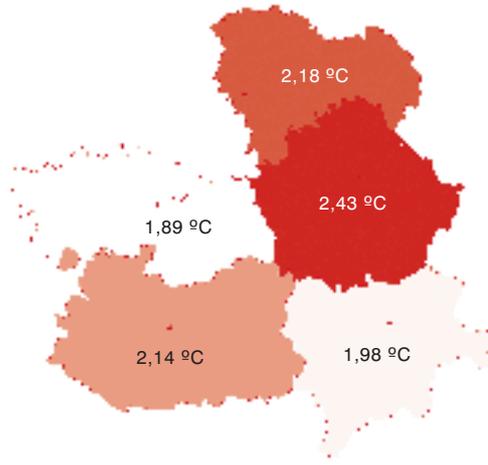


— Temperatura media primavera (MAM) — Lineal (Temperatura media primavera (MAM))

Variación de temperaturas en primavera (MAR-ABR-MAY) 1981-2016



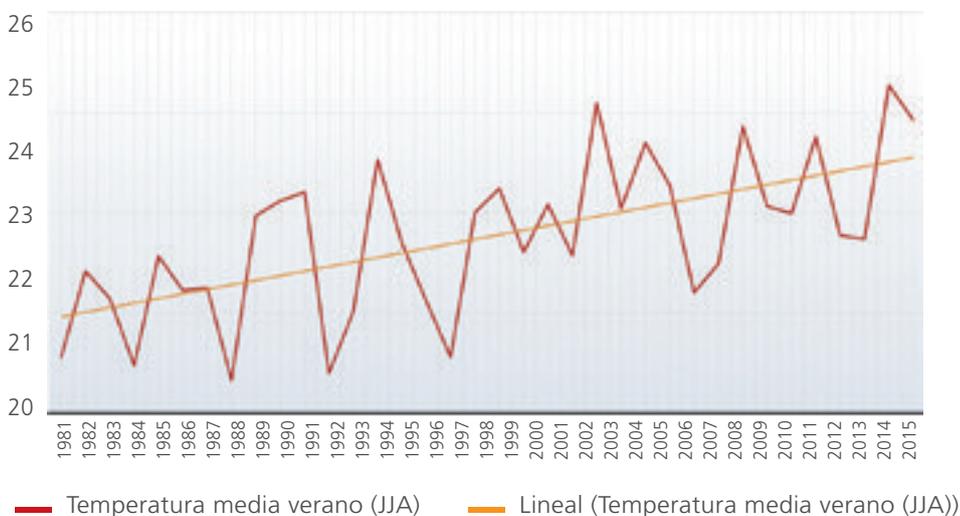
Variación de temperaturas en verano (JUN-JUL-AGO) 1981-2016

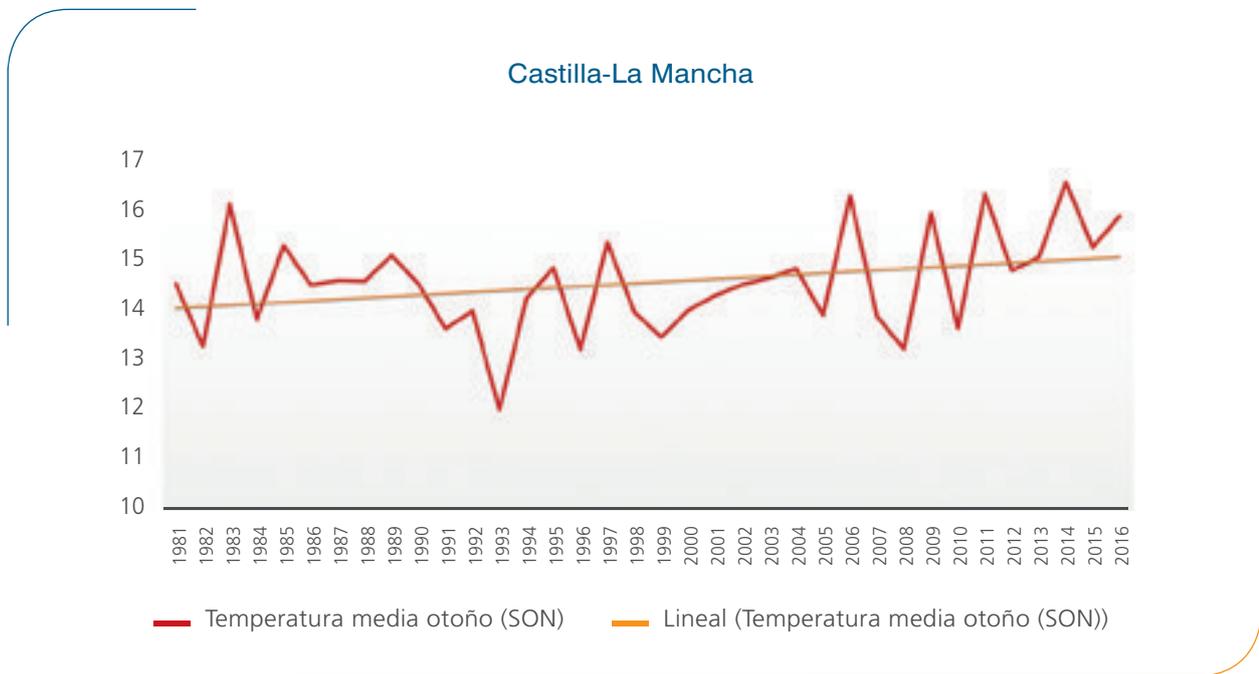


Aunque también hay una marcada variabilidad interanual con veranos más frescos y otros más cálidos, la nueva realidad climático hace que los que ahora se consideran "frescos", sería más cálidos que los de comienzos de los años ochenta.

Los meses de junio, julio y agosto son los que presentan, en general, el mayor aumento térmico. Los días de verano son cada vez más cálidos y a su vez aumentan los días con temperaturas por encima de 30°C. Cuenca llega a alcanzar un aumento de 2,42°C, seguida en este caso por Guadalajara con 2,18°C de aumento, y de Ciudad real, con 2,14°C. Albacete presenta un aumento de 1,98°C y Toledo de 1,89°C, unas cifras verdaderamente alarmantes, pues se trata de grandes aumentos en los meses de más calor.

Castilla-La Mancha



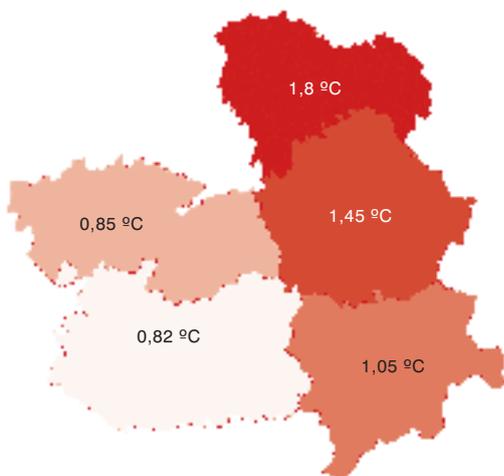


## Otoño

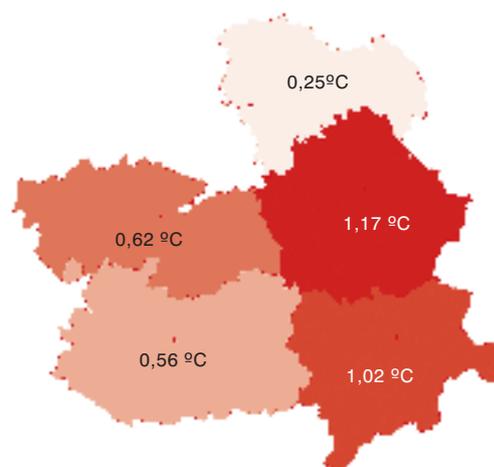
El otoño (septiembre, octubre y noviembre) también muestra a lo largo del periodo de estudio un aumento generalizado que llega a los 1,84°C. Muestra además una fuerte variabilidad interanual, de hecho, el año que muestra esta estación más fría es 1993 con una temperatura media de 11,9°C, mientras que el más cálido es 2014 con 16,3°C.

La temperatura aumenta a un ritmo de 0,05°C por año, de media, aunque hay periodos en que esa variabilidad entre años puede ser de más de 2,6°C como ocurre entre 2008 y 2009.

Variación de temperaturas en otoño (SEP-OCT-NOV) 1981-2016



Variación de temperaturas en invierno (DIC-ENE-FEB) 1981-2016



En los meses de otoño, Guadalajara es la que presenta un mayor aumento de la temperatura, que alcanzaría los 1,8°C. Por detrás iría Albacete con 1,08°C y por debajo del grado de aumento estaría en resto, con valores de 0,85°C en Toledo; 0,82°C en Ciudad Real, y 1,45°C en Cuenca.

## Invierno

Los meses correspondientes a diciembre, enero y febrero son los que presentan una mayor variabilidad interanual, pero en todo caso, también se constata un aumento generalizado de 0,56°C para el intervalo de estudio, lo que hace que sea la estación que más lentamente aumenta su temperatura.

Es especialmente llamativo, que, debido a cada vez una mayor variación anual, la estación más fría fue la del año 2005 con 3,88°C y el más cálido 2016 con 7,37°C.

En los meses de invierno también se constata un aumento térmico, aunque no tan pronunciado como en el resto de estaciones del año. Cuenca ha ascendido su temperatura en 1,17°C, Albacete en 1,02°C, mientras que Toledo y Ciudad Real estarían entre 0,56°C y 0,62°C. Guadalajara presenta un leve aumento de 0,25°C.

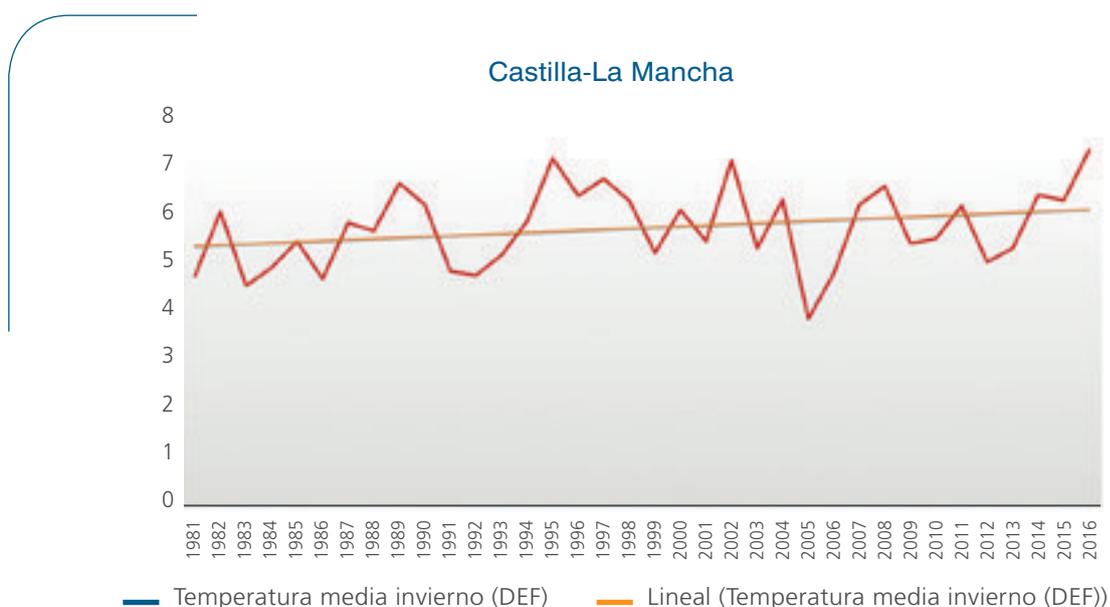
## Picos térmicos

Otras variables importantes para analizar esta realidad climática, es atender a las temperaturas más altas y más bajas. Por ejemplo, el número de días por encima de 30°C aumenta a un gran ritmo, de 0,6 días más por año. Pese a ello, hay una gran variabilidad interanual, pero eso no impide este gran aumento.

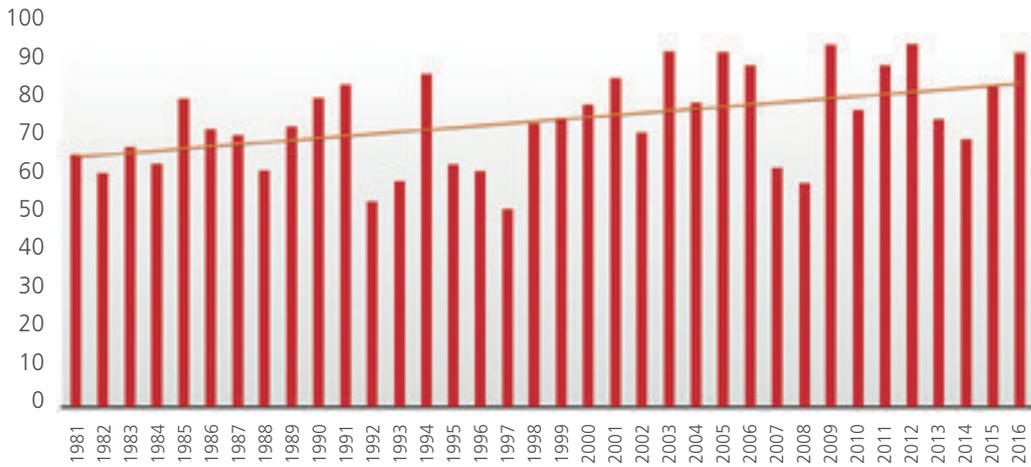
El año con menor número de días por encima de 30°C fue de 50 en 1997, mientras que en 2009 y 2012 llegó a 92.

Por el contrario, el número de heladas ha disminuido de forma muy marcada en el conjunto de la región, aunque marcando grandes variaciones entre distintos años. Curiosamente, el año 2005 fue el que más días hizo caer los termómetros por debajo de esta cifra, hasta 94 veces, mientras que en 1997 solo lo hizo en 39.

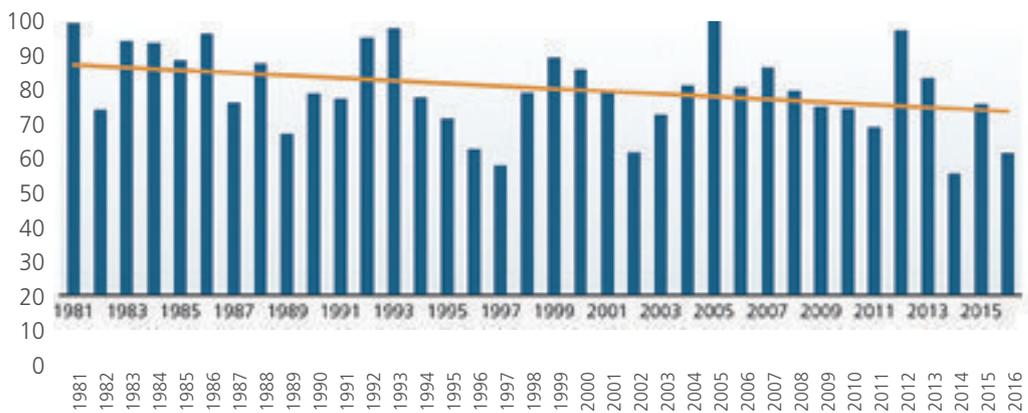
El número de días por debajo de -5°C también ha caído de forma moderada, a un ritmo medio de 0,18 días por año. El año 2005 fue el que más número de heladas tuvo con 32, mientras que en 2002 apenas fueron 3.



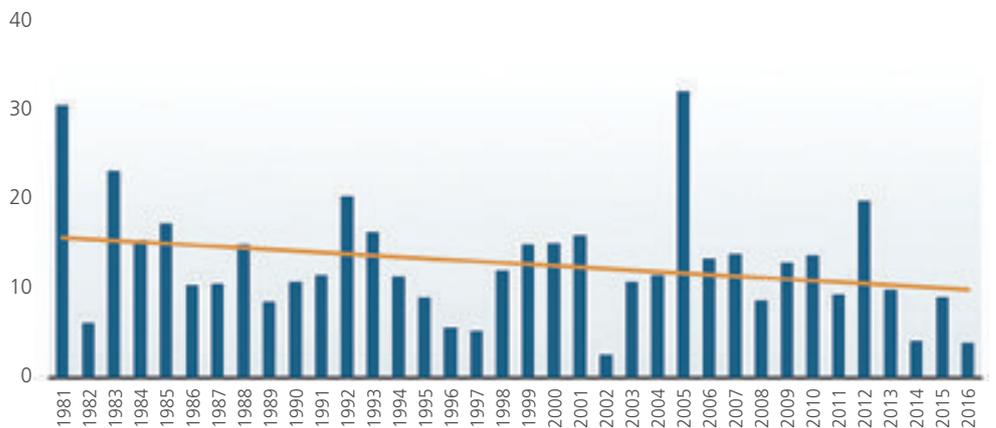
Castilla-La Mancha



■ Número de días por encima de 30°C    — Lineal (Número de días por encima de 30°C)



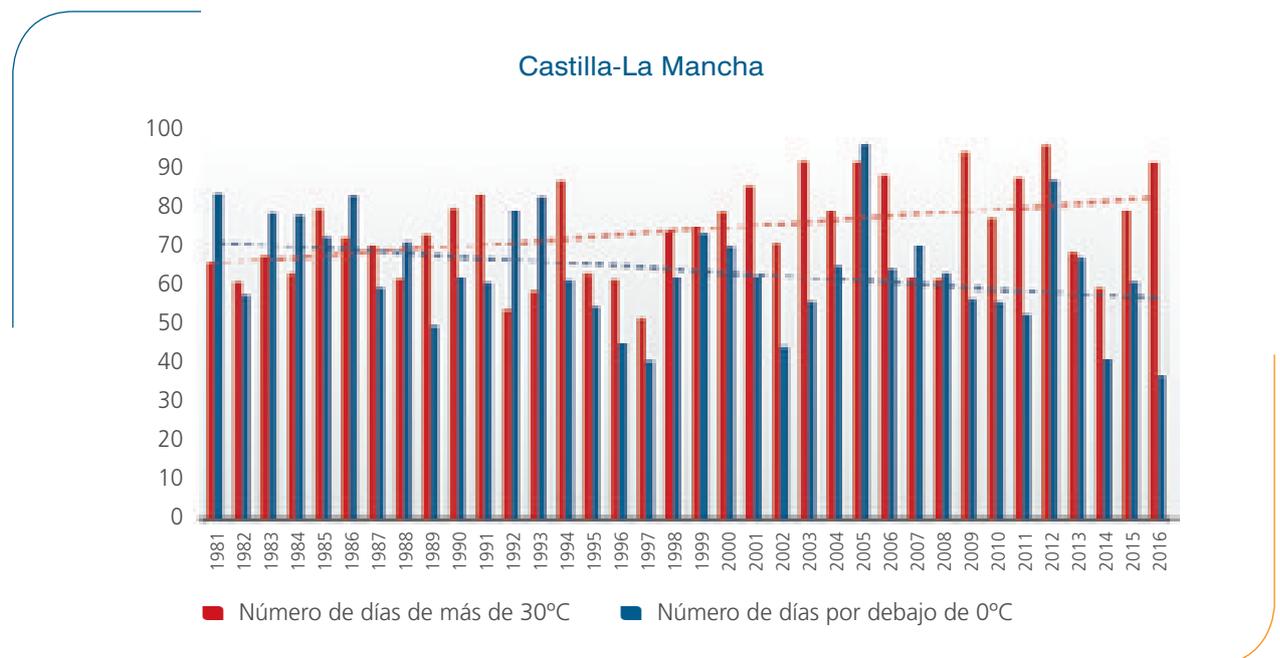
■ Número de días por debajo de 0°C    — Lineal (Número de días por debajo de 0°C)



■ Número de días por debajo de -5°C    — Lineal (Número de días por debajo de -5°C)

En conclusión, podemos establecer que el número de días cálidos, está con un marcado aumento, mientras que el número de días que registran heladas está descendiendo. Los días cálidos ya no sólo se registran en verano, sino que se extienden a los meses de finales de la primavera y comienzos del otoño.

En resumen, podemos observar que, para el conjunto de los años, así como para cada una de las estaciones, se observa un marcado aumento de las temperaturas, especialmente en verano. En todos los casos, hay cada vez una mayor variabilidad, sobre todo en invierno, que por otro lado es la estación que muestra el calentamiento más moderado.



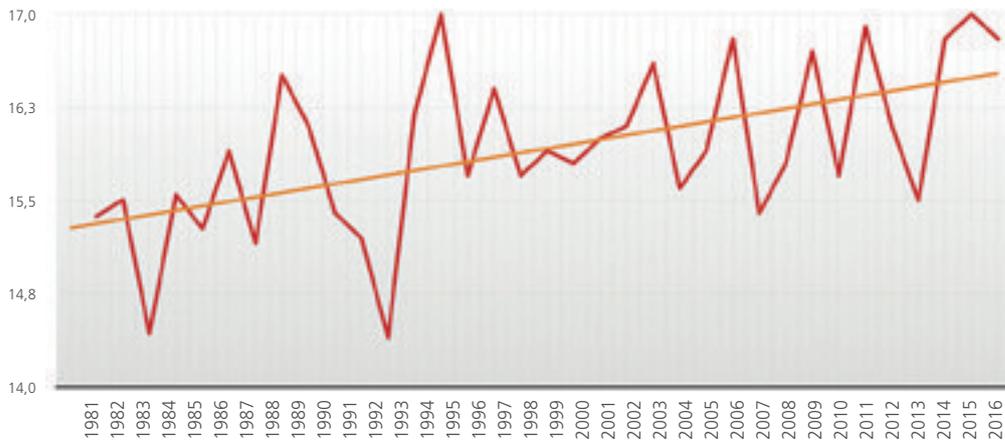
## Toledo

En el caso de Toledo, hay un marcado aumento de la temperatura media anual de  $0,036^{\circ}\text{C}$  por año. Pese a la tendencia media, existe una marcada variabilidad térmica interanual, pero los últimos años, han sido más de  $1,2^{\circ}\text{C}$  más cálidos que los del comienzo del estudio. El año más frío de la serie fue 1993 con  $14,4^{\circ}\text{C}$ , mientras que el más cálido se registró en 2015 con  $17^{\circ}\text{C}$ .

En el caso de las estaciones, **el verano** es la que presenta un mayor aumento, debido a la mayor frecuencia de los días cálidos y muy cálidos. La temperatura en esta estación correspondiente a los meses de junio, julio y agosto, crece a un ritmo de  $0,054^{\circ}\text{C}$  por año, es decir, casi  $1,9^{\circ}\text{C}$  para el periodo de estudio. Además, es la estación que muestra un mayor contraste entre los distintos años y pese a que las demás también lo muestran, no llega a ser una variación tan brusca.

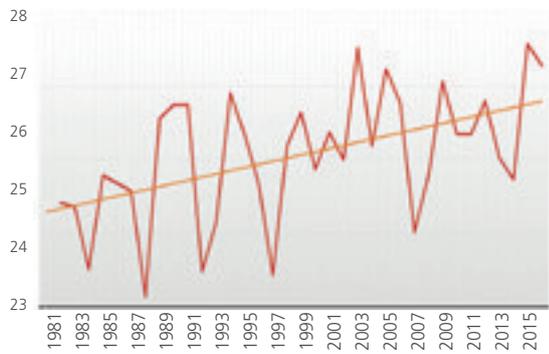
El número de días por encima de  $30^{\circ}\text{C}$  creció a un ritmo de  $0,52$  por año, de hecho, ahora se puedan llegar a registrar en esta zona, hasta 19 días más, de media, que a comienzos del periodo de estudio. Por el contrario, el número de días que registran temperaturas por debajo de los  $0^{\circ}\text{C}$  ha descendido de media a un ritmo de  $0,38$  por año, o lo que es lo mismo, ahora hay unos 14 días menos de heladas que antes. El año con más días por encima de  $30^{\circ}\text{C}$  fue 2011 con 114, mientras que el que tuvo mayor número de heladas también fue en fechas actuales, en 2005, con 73, lo que pone de manifiesto, las grandes variaciones a las que está sometido este entorno.

Toledo

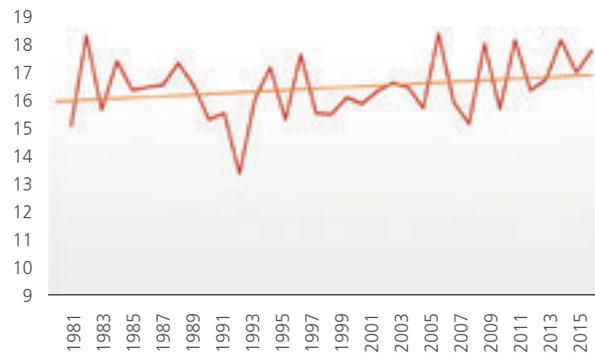


— Temperatura media anual

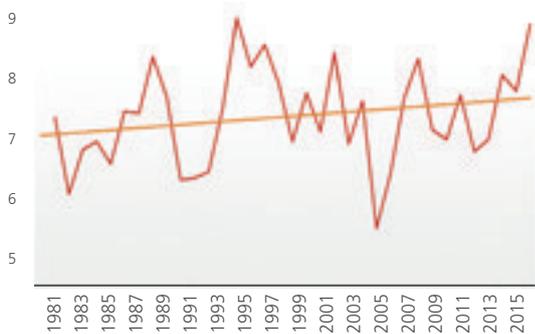
— Lineal (Temperatura media anual)



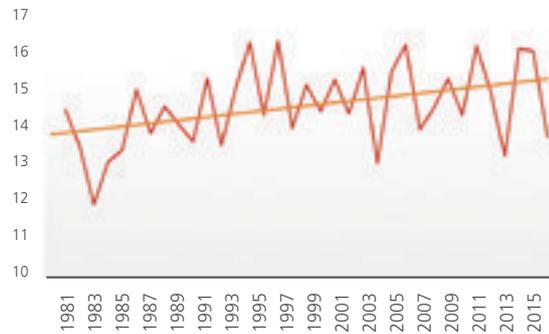
— Temperatura media verano (JJJ)  
— Lineal (Temperatura media verano (JJJ))



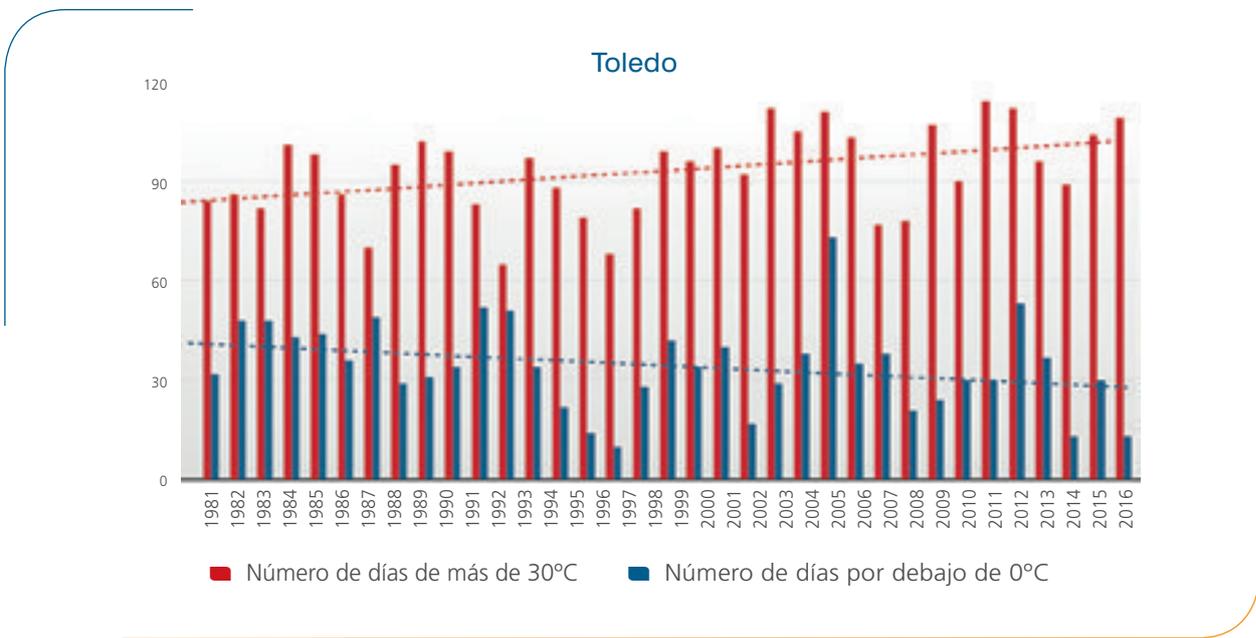
— Temperatura media otoño (SON)  
— Lineal (Temperatura media otoño (SON))



— Temperatura media invierno (DEF)  
— Lineal (Temperatura media invierno (DEF))

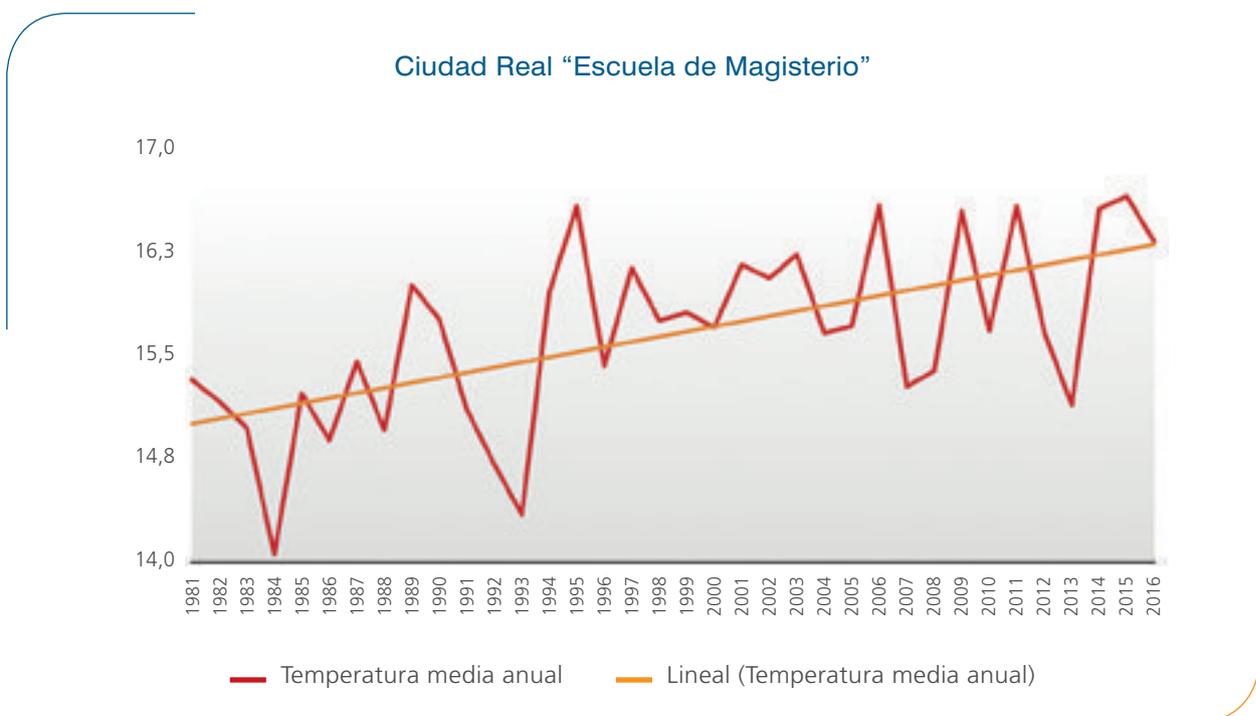


— Temperatura media primavera (MAM)  
— Lineal (Temperatura media primavera (MAM))

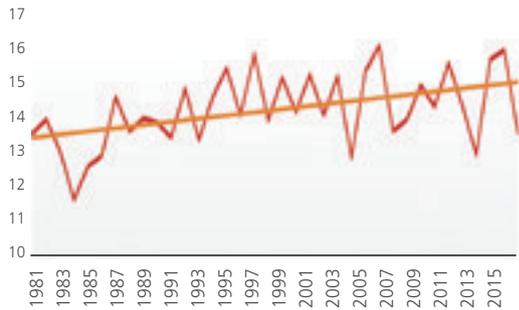


### Ciudad Real

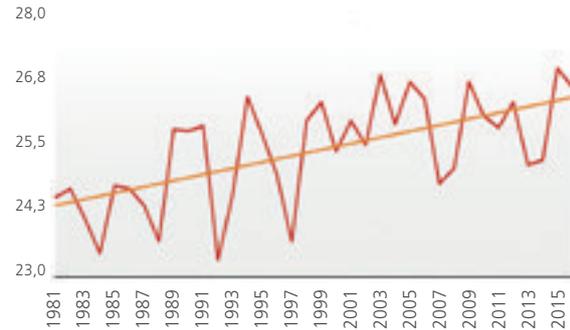
En el caso de Ciudad Real se produce un aumento general de la temperatura, aunque a un ritmo más débil. Por año la temperatura se incrementa  $0,037^{\circ}\text{C}$ , lo que supone  $1,35^{\circ}\text{C}$  más para todo el periodo de estudio. Hay una marcada variabilidad en la que de un año a otro puede llegar a existir más de  $1,6^{\circ}\text{C}$  de diferencia, como del año 1993 a 1994. El año más frío fue 1984 con una temperatura media de  $14,1^{\circ}\text{C}$ , mientras que el más cálido fue 2015 con  $16,7^{\circ}\text{C}$



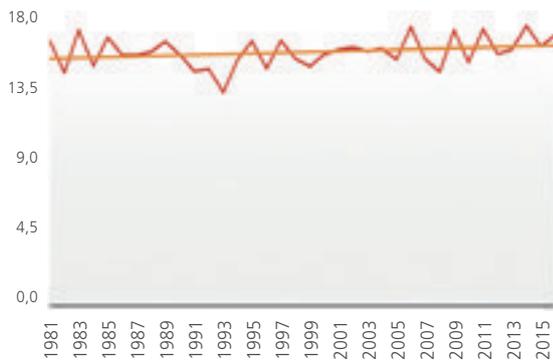
Ciudad Real “Escuela de Magisterio”



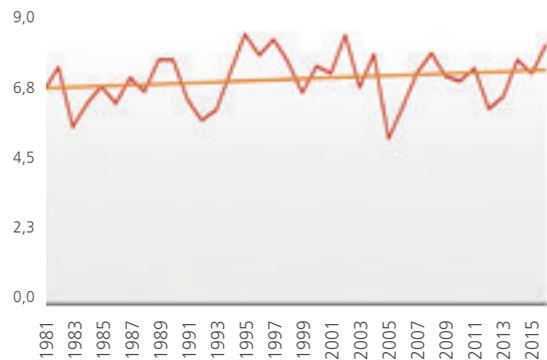
— Temperatura media primavera (MAM)  
— Lineal (Temperatura media primavera (MAM))



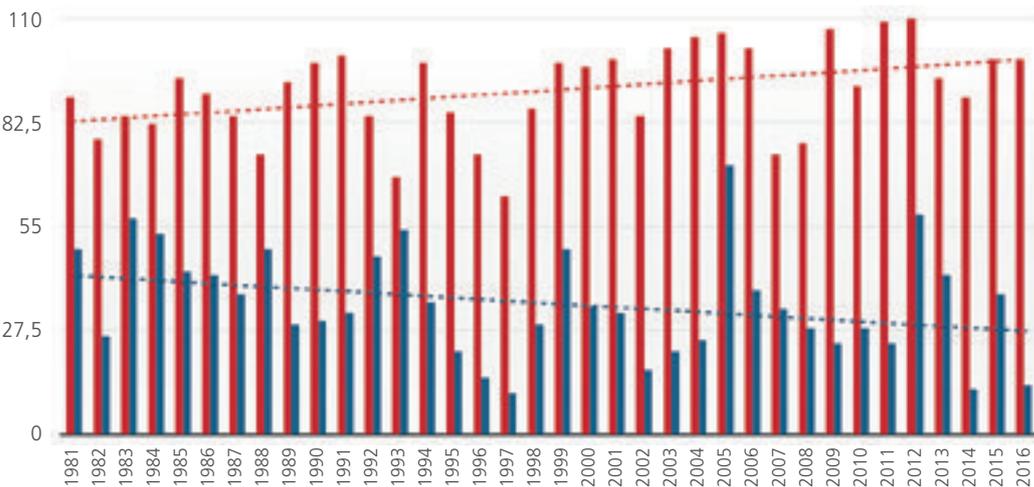
— Temperatura media verano (JJA)  
— Lineal (Temperatura media verano (JJA))



— Temperatura media otoño (SON)  
— Lineal (Temperatura media otoño (SON))



— Temperatura media invierno (DEF)  
— Lineal (Temperatura media invierno (DEF))



■ Número de días de más de 30°C   ■ Número de días por debajo de 0°C

En el comportamiento de las estaciones también se produce un aumento muy marcado en el verano, seguido de la primavera. En el caso de la primera, la temperatura crece de media a  $0,06^{\circ}\text{C}$ , ahora los veranos son hasta  $2,13^{\circ}\text{C}$  más cálidos que antes, mientras que en la primavera crece a un ritmo de  $0,049^{\circ}\text{C}$  y año, habiendo aumentado la temperatura desde el comienzo de la serie hasta la actualidad, en  $1,74^{\circ}\text{C}$ .

En los meses de otoño e invierno también ha aumentado la temperatura, pero a un ritmo menor, de  $0,023^{\circ}\text{C}/\text{año}$  y  $0,016^{\circ}\text{C}/\text{año}$  respectivamente, lo que supone un aumento en ambos casos menor a  $1^{\circ}\text{C}$  para el periodo de estudio.

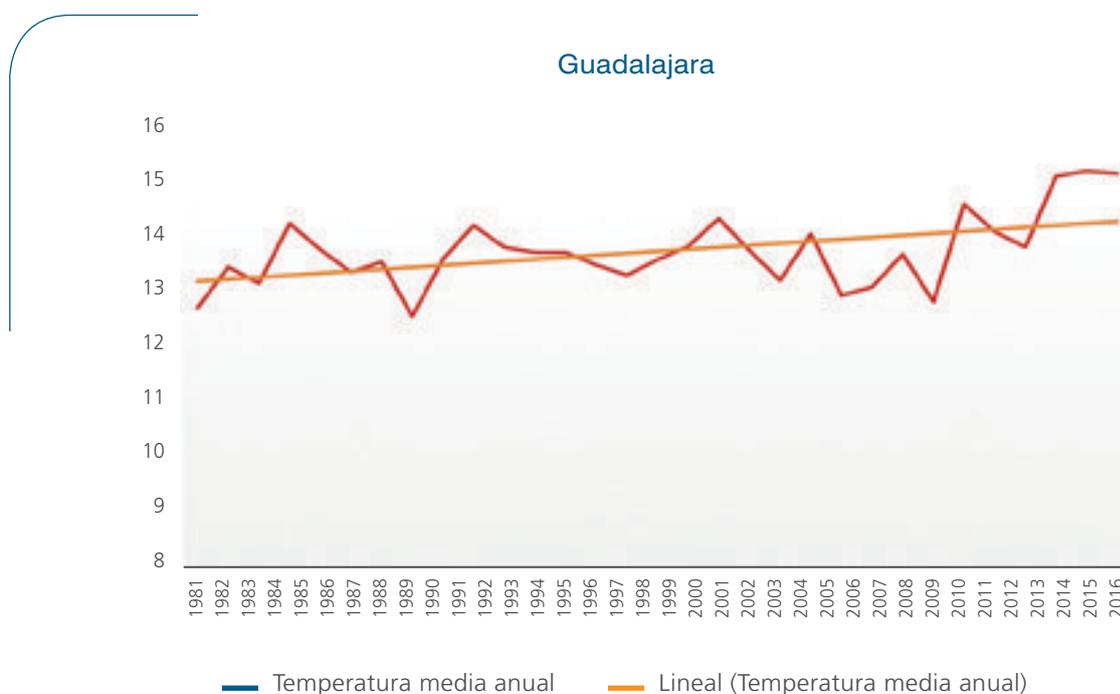
En el caso del número de días por encima de  $30^{\circ}\text{C}$  se ha producido un aumento de  $0,47$  por año, lo que equivale ahora a tener 17 días más con esta temperatura o superior que a comienzos de la serie. En el caso del número de días que registran heladas, disminuyen a un ritmo de  $0,42$  por año. Ahora hay 15 días menos de heladas que a comienzos de los años 80. Los días cálidos aumentan en mayor proporción que descienden los días con temperaturas iguales o inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ .

### Guadalajara

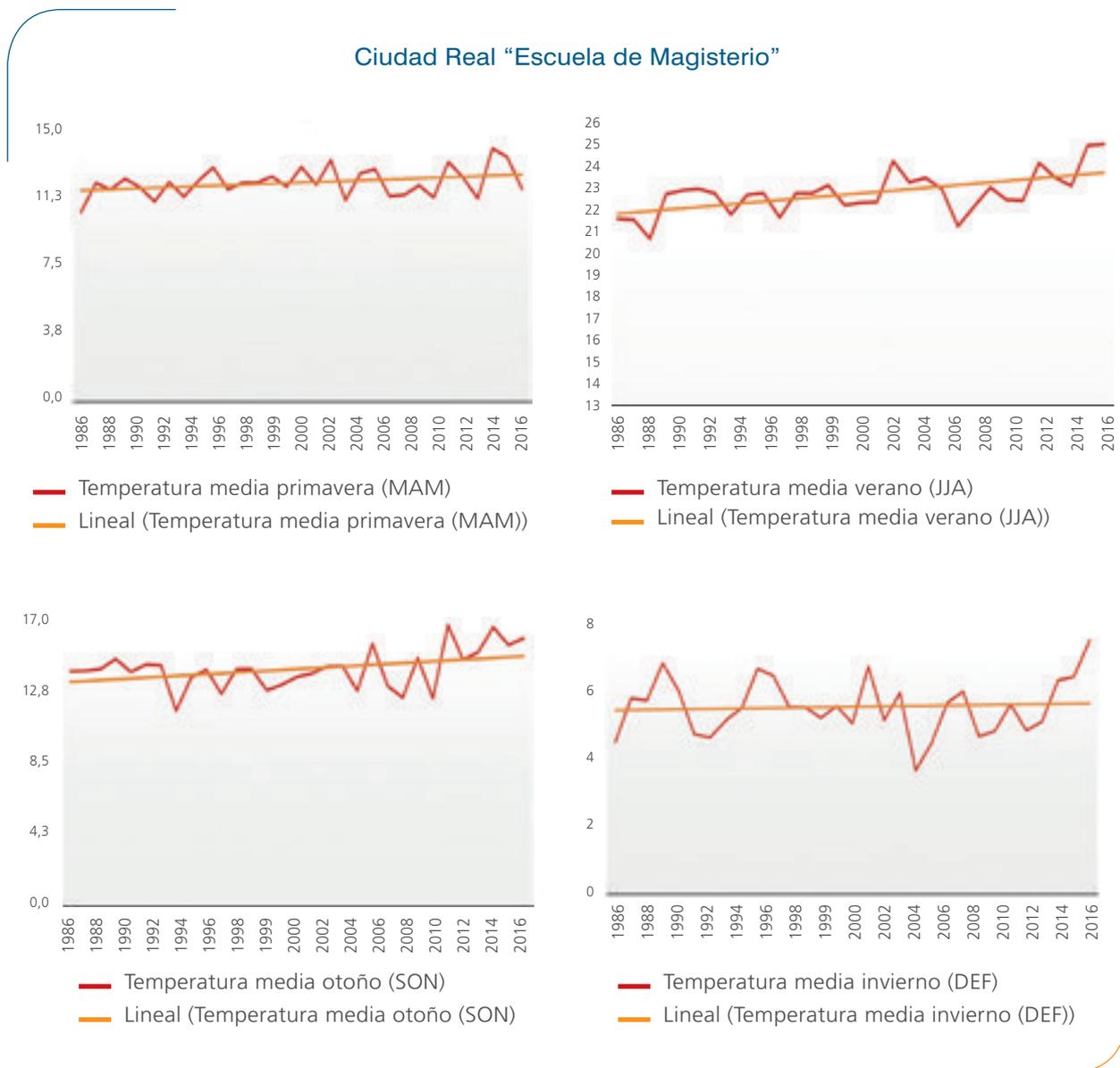
En el caso de la estación de Guadalajara-Serranillo sólo se dispone de los datos desde 1986 por lo que la comparativa con otras estaciones puede producir algún error al no estar referida al mismo número de años, pero los datos siguen siendo muy relevantes.

La temperatura media anual ha aumentado a un ritmo de  $0,036^{\circ}\text{C}$  por año, lo que ha supuesto  $1,2^{\circ}\text{C}$  más, para todo el periodo. El año 1993 fue el más frío con  $12,6^{\circ}\text{C}$ , mientras que 2015 fue el más cálido con  $15,2^{\circ}\text{C}$ .

En cuanto a las estaciones, vuelve a ser el verano la que aumenta su temperatura a un mayor ritmo, de  $0,062^{\circ}\text{C}$  por año, un total de  $2,18^{\circ}\text{C}$  más de aumento para todo el periodo. A diferencia de otras zonas, el otoño es la segunda que más aumenta, con un ritmo de  $0,051^{\circ}\text{C}/\text{año}$ , suponiendo  $1,53^{\circ}\text{C}$  para todo el periodo. Le siguen la primavera y el invierno, en el caso de este último con un leve aumento de  $0,2^{\circ}\text{C}$  para todo el periodo, prácticamente cero.



Ciudad Real “Escuela de Magisterio”



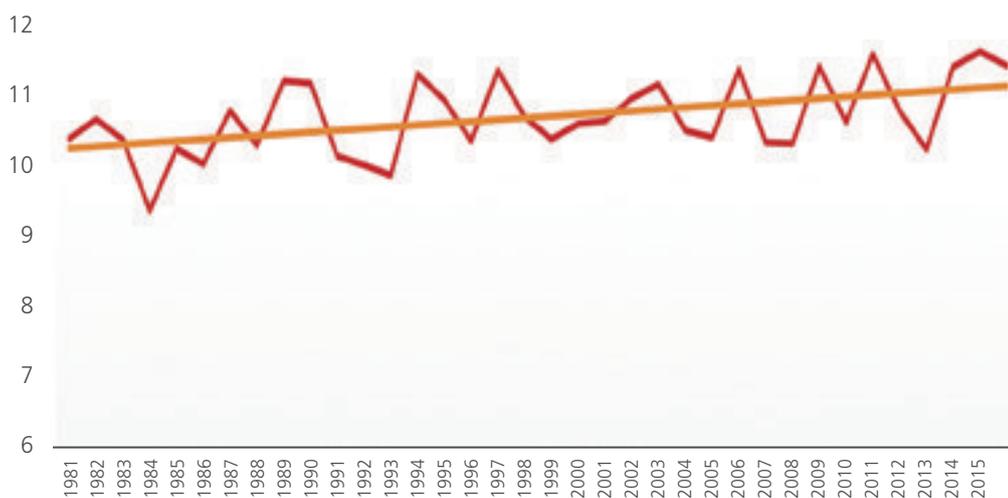
En el caso de **Molina de Aragón** el comportamiento es muy similar. No hemos de olvidar, que la ubicación geográfica hace de este municipio y esta estación, una de las más frías de todo el país donde son muy frecuentes las heladas y temperaturas máximas no demasiado altas.

La temperatura media anual aumentó  $0,026^{\circ}\text{C}$  por año, suponiendo  $0,93^{\circ}\text{C}$  para todo el periodo. El año más frío fue 1984 con una temperatura media de  $9,3^{\circ}\text{C}$ , mientras que el más cálido fue 2015 con  $11,6^{\circ}\text{C}$ .

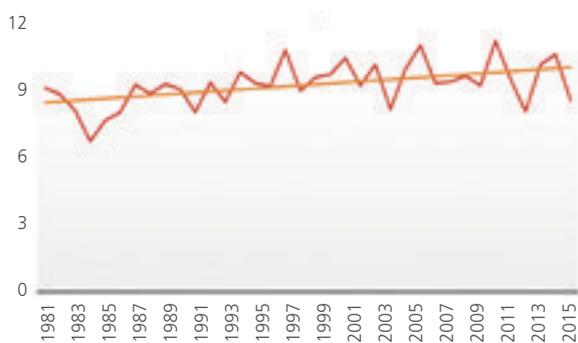
Pese al aumento térmico, la variabilidad interanual no es demasiado marcada y se produce un incremento bastante homogéneo.

En el caso de este observatorio meteorológico, es singular el hecho de que es la primavera la que tiene el mayor aumento de temperatura, de  $0,045^{\circ}\text{C}$  y año, lo que llega a ser  $1,6^{\circ}\text{C}$  más, para todo el periodo. El verano le sigue de cerca con un aumento de  $0,036^{\circ}\text{C}$  al año, es decir,  $1,3^{\circ}\text{C}$  para el mismo intervalo de tiempo. El invierno apenas presenta una tendencia, tan sólo de  $0,28^{\circ}\text{C}$  para todo el registro, por lo que podemos decir que es cero.

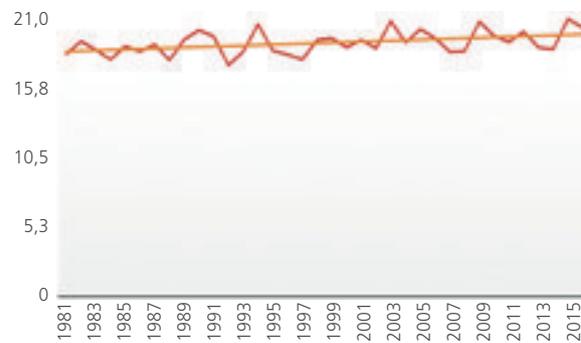
### Molina de Aragón



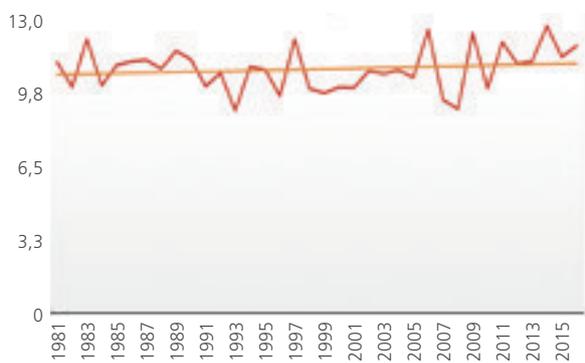
— Temperatura media anual — Lineal (Temperatura media anual)



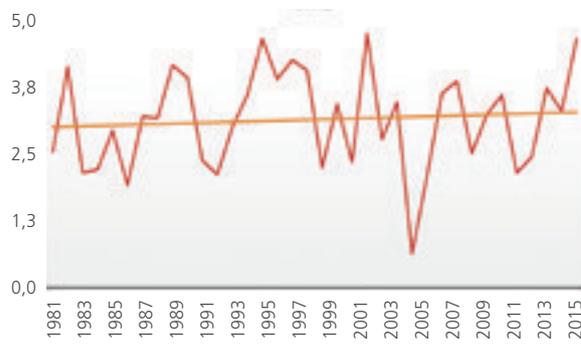
— Temperatura media primavera (MAM)  
— Lineal (Temperatura media primavera (MAM))



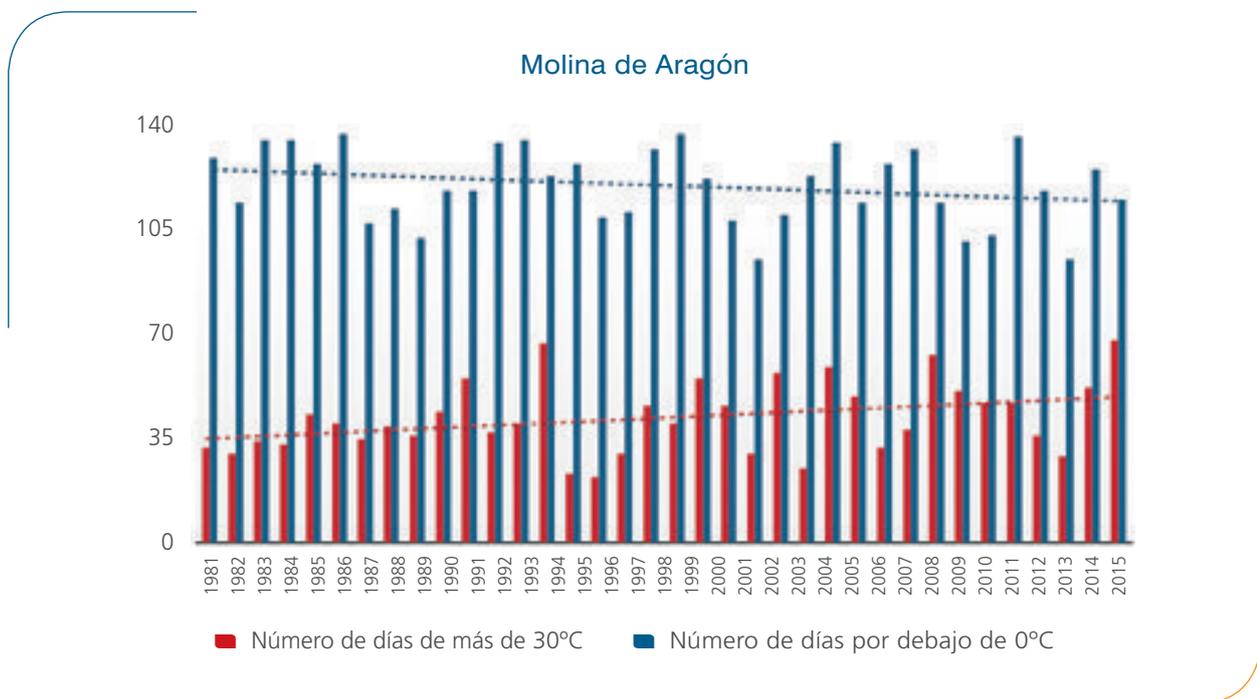
— Temperatura media verano (JJA)  
— Lineal (Temperatura media verano (JJA))



— Temperatura media otoño (SON)  
— Lineal (Temperatura media otoño (SON))



— Temperatura media invierno (DEF)  
— Lineal (Temperatura media invierno (DEF))



En el caso de los días con heladas y los días con temperaturas por encima de 30°C, en primer caso hay que recalcar que esta zona está sometida a temperaturas muy bajas durante buena parte del año. Los días con registros por debajo de 0°C han disminuido en 0,3 por año, lo que supone prácticamente once días menos de heladas. Los años más fríos fueron 1986 y 1999 con 137 días de helada cada uno de ellos, mientras que 201 y 2002 fueron los más “cálidos” con sólo 95 días, de hecho, los únicos años en los que se han registrado menos de cien heladas por año ha sido en el siglo XXI.

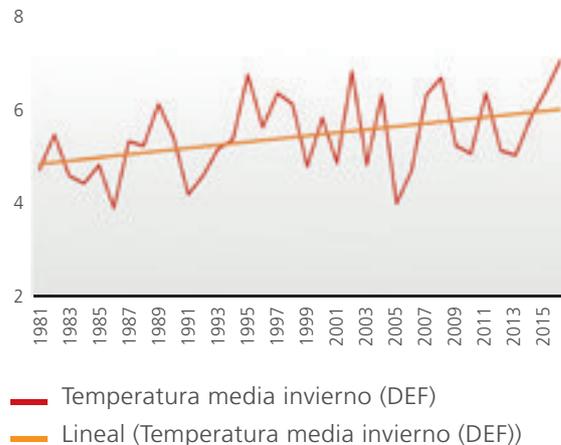
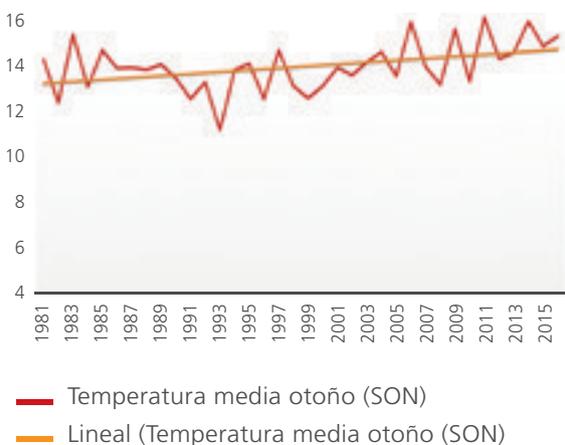
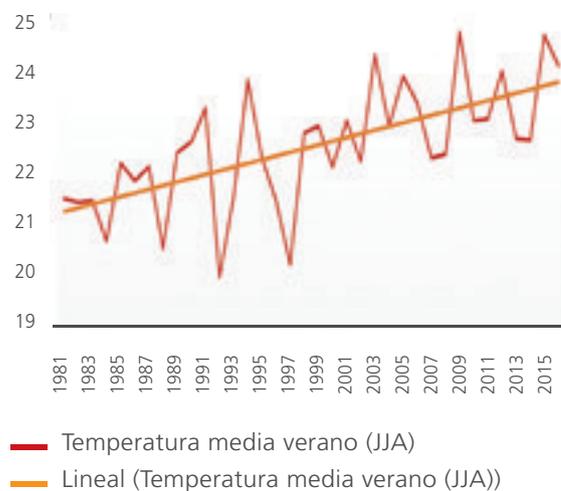
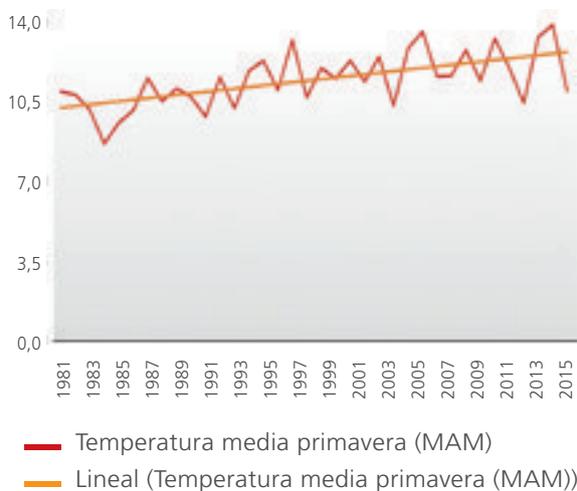
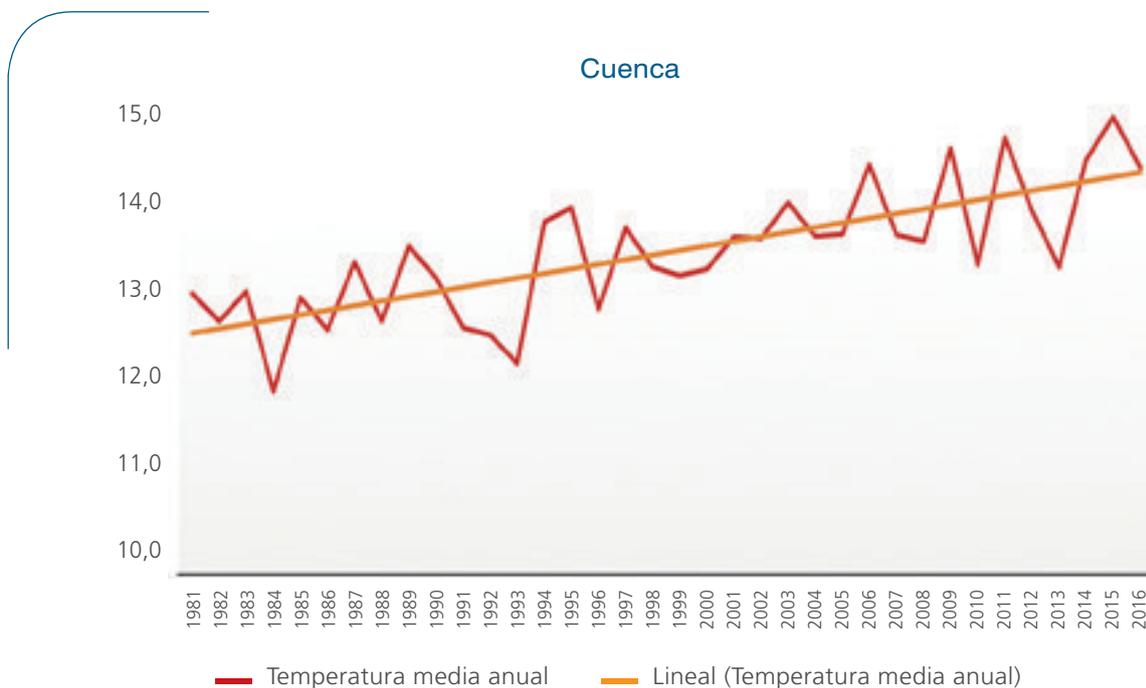
Por el contrario, los días en los que el termómetro ha subido por encima de los 30°C, ha aumentado a mayor velocidad, 0,4 por año, lo que llega a ser 14 días más. El año con mayor frecuencia de este dato fue 2016 con 68 días, mientras que en 1982 y 1997 sólo se registraron 30.

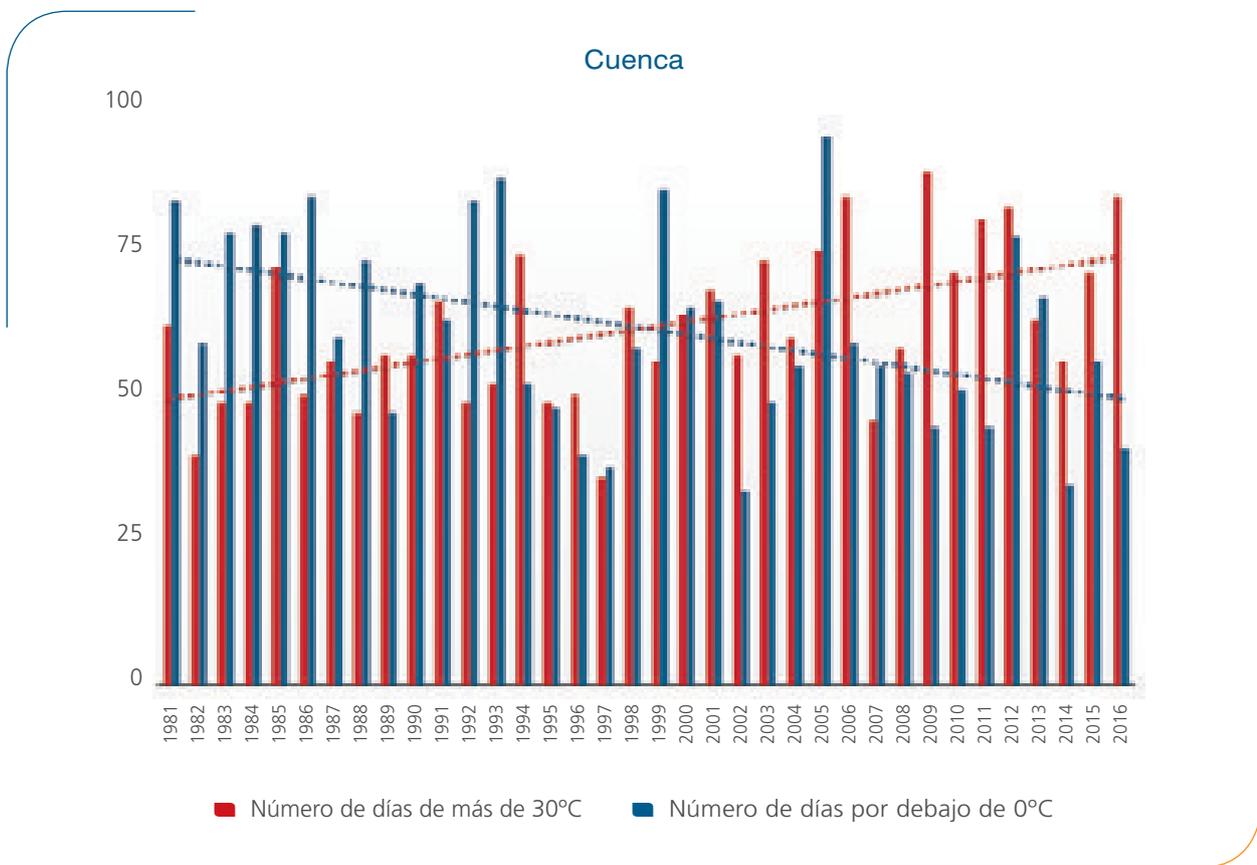
### Cuenca

En Cuenca también se observa un aumento generalizado de la temperatura media anual. En este caso es de 0,054°C por año, un aumento para todo el periodo de 1,88°C. La variación interanual no es demasiado marcada, pero si hay datos que ofrecen el contraste de los años más fríos, como 1984 con 11,7°C, y los más cálidos, como 2015 con 14,9°C. Es especialmente significativo, que, de todo el registro, sólo se han registrado temperaturas medias anuales, superiores o iguales a 14°C en seis ocasiones, y todas han ocurrido entre 2006 y 2016.

La tendencia de las temperaturas en todas las estaciones tiende al alza, pero es especialmente intensa en la primavera y en el verano. En el caso de la primera, aumenta a un ritmo de 0,07°C por año, lo que supone primaveras 2,43°C más cálidas. En el caso del verano, ha aumentado de forma muy similar, 0,069°C, lo que sitúa el dato, de nuevo en un aumento de 2,4°C. El aumento también es importante en el otoño y el invierno, pues ha hecho aumentar la temperatura para el conjunto del periodo de estudio entre 1,4°C y 1,5°C.

Los días con temperaturas por encima de 30°C han tenido un espectacular aumento, muy acorde a las tendencias de la primavera y el verano. Han aumentado su frecuencia en 0,69 días por año, o lo que es lo mismo, 24 días más. El año que menos días tuvo con esta temperatura fue 1982 con 39, mientras que en 2006 y 2016 se registraron 83.





En el caso de los días con temperaturas por debajo o igual de 0°C, la disminución ha sido prácticamente en la misma proporción. 0,68 días menos por año, igualmente unos 24 días menos de heladas. El año que menos registró fue 2002 con 33, mientras que fue 2005 quien registró 93, lo que pone de manifiesto una gran variabilidad.

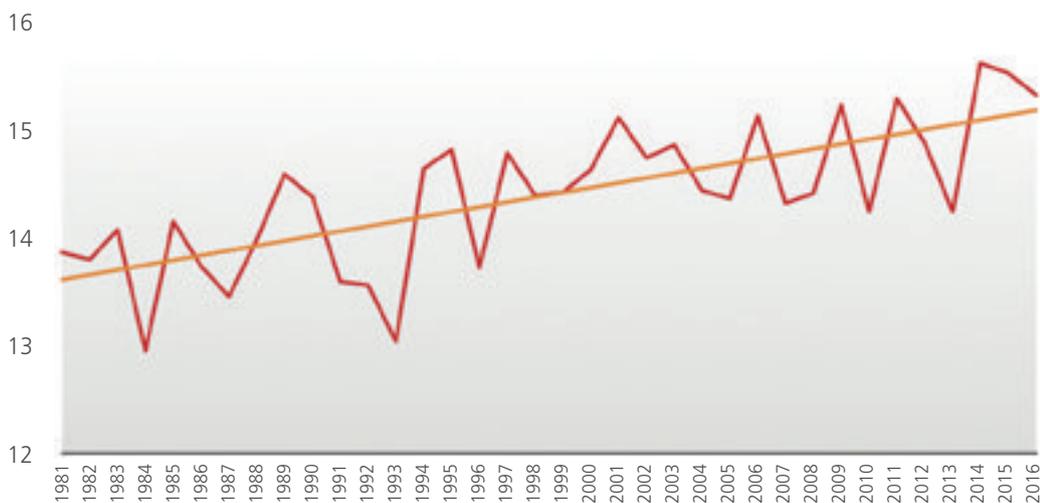
### Albacete

La temperatura media anual de Albacete también ha experimentado un marcado aumento térmico, de 0,045°C por año, lo que supone 1,5°C más para todo el periodo. El año más cálido fue 2014 con 15,6°C, mientras que en 1984 fue 12,9°C, un dato que no se vuelve a repetir en toda la serie. Es significativo que las únicas veces que se han alcanzado los 15°C o más de temperatura media, todas han sido a partir de 2001, hasta en siete ocasiones.

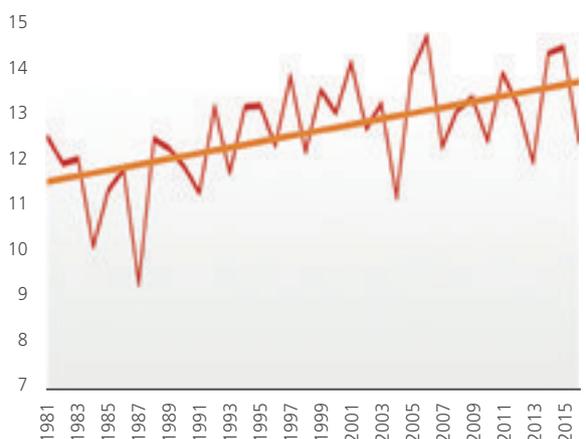
El calentamiento ha sido desigual en las distintas estaciones. La primavera ha sido la que ha experimentado el mayor crecimiento, con algo más de 0,06°C por año, es decir 2,2°C de aumento para este periodo. Existe además una marcada variabilidad interanual, pero es aún más fuerte en el verano, una estación que también experimenta un aumento de 0,056°C por año, casi 2°C para todo el periodo. Mucho menor es la subida en el otoño y el invierno, aunque llega a alcanzar 1°C para toda la serie.

El número de días por encima de 30°C ha aumentado en 0,56 al año, lo que supone 20 días más en la actualidad. El año que más días tuvo por encima de esta temperatura fue 2012 con 102, de hecho, sólo se han superado los 90 días por año en 9 veces, todas ellas entre 2001 y 2016. Por el contrario, los días con heladas han disminuido a un ritmo de 0,36 por año, lo que equivale a 13 días menos de helada en la actualidad. El año 2005 fue el que más registró con 81, mientras que 1997 fue el que menos con 27, seguido de 2014 con 28.

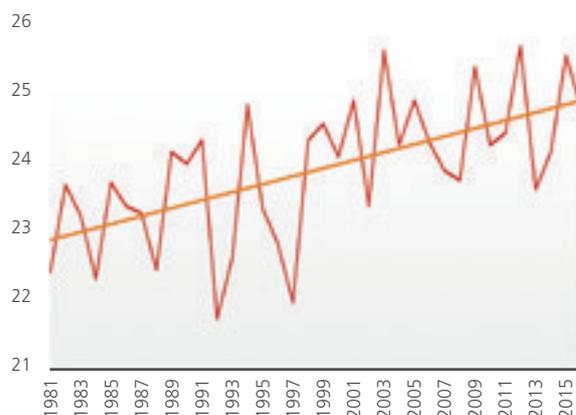
### Albacete "Los Llanos"



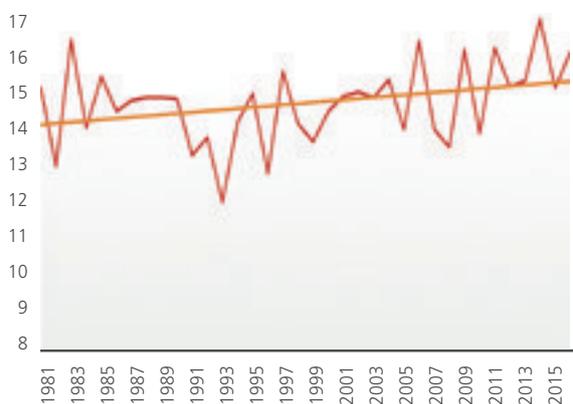
— Temperatura media anual — Lineal (Temperatura media anual)



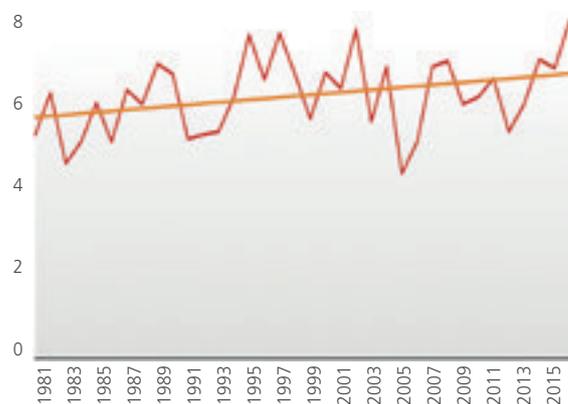
— Temperatura media primavera (MAM) — Lineal (Temperatura media primavera (MAM))



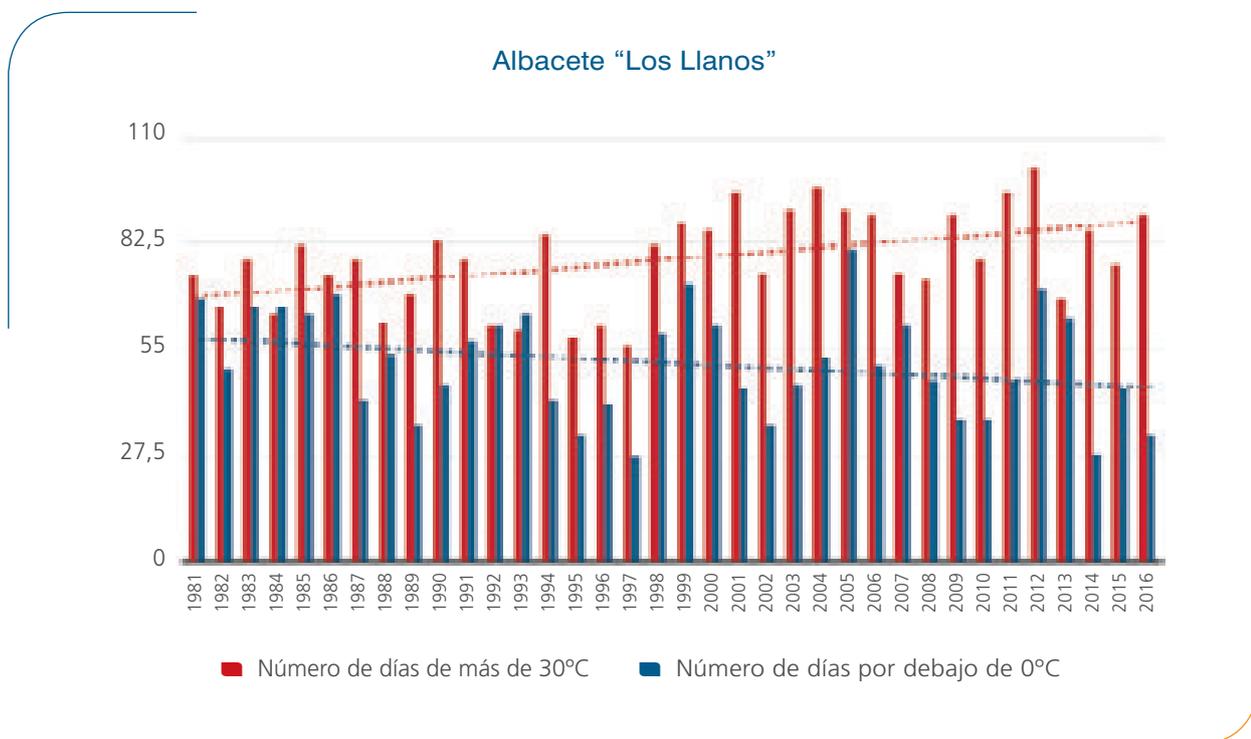
— Temperatura media verano (JJA) — Lineal (Temperatura media verano (JJA))



— Temperatura media otoño (SON) — Lineal (Temperatura media otoño (SON))



— Temperatura media invierno (DEF) — Lineal (Temperatura media invierno (DEF))



## Precipitaciones

Al igual que hemos hecho con las temperaturas, analizaremos los datos de precipitaciones para el mismo periodo de años en las mismas estaciones, para así poder establecer una tendencia y ver los cambios que se estén produciendo.

En cuanto a la precipitación media total anual en la región, lo primero que hay que advertir es la gran irregularidad pluviométrica interanual que existe. En este sentido, para establecer una tendencia, el número de correlación es prácticamente cero, por lo que no se puede establecer una tendencia clara.

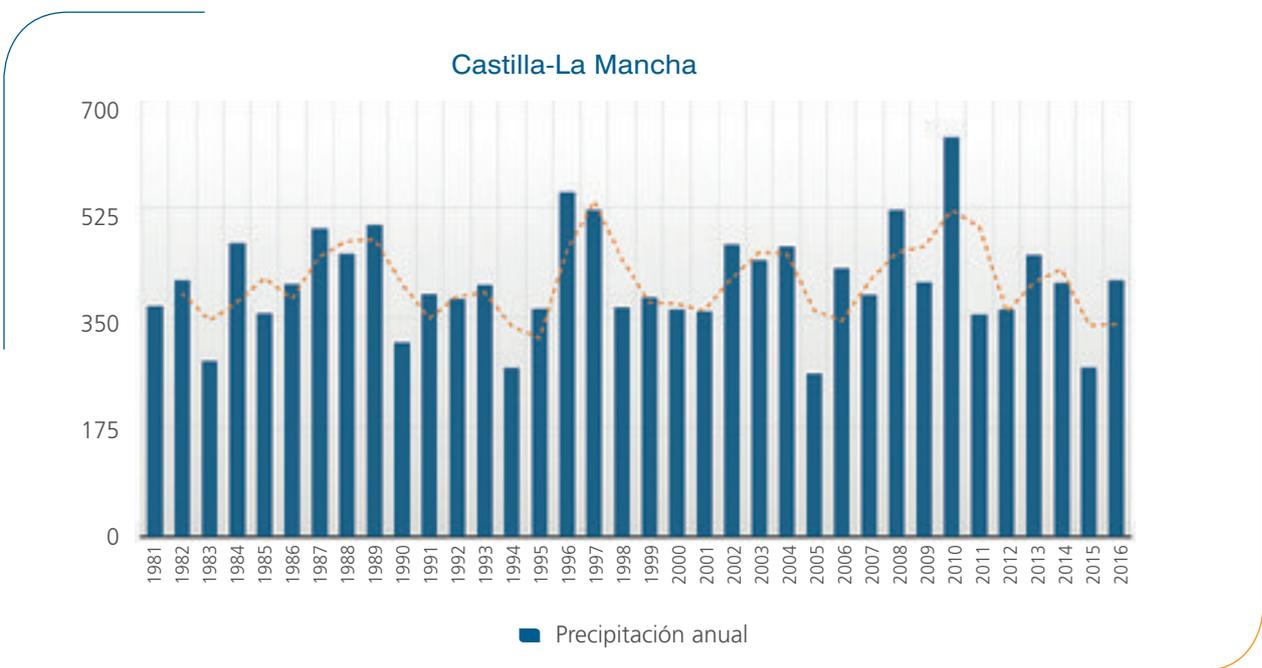
Si hacemos una media móvil para un intervalo de dos años, se puede apreciar la gran variabilidad que tienen las precipitaciones en este periodo de estudio. Existen periodos húmedos como por ejemplo 1987-1989, otros secos como 1990-1993 coincidente con la fuerte sequía que afectó a la región y a buena parte del país, o el periodo seco arrastrado en los últimos años, con algunas anomalías como el año 2010, muy húmedo.

Por décadas se aprecia esa variación. Mientras en unas se redujo, en otras aumentó, pero es especialmente significativo que ha sido en los últimos años, además coincidiendo con los más cálidos, cuando mayor ha sido el descenso. Tanto es así, que la línea de tendencia, muestra un significativo descenso.

Si lo analizamos por estaciones, hay notables diferencias entre cada una de las épocas del año, lo que también permite el estudio del tipo de precipitación.

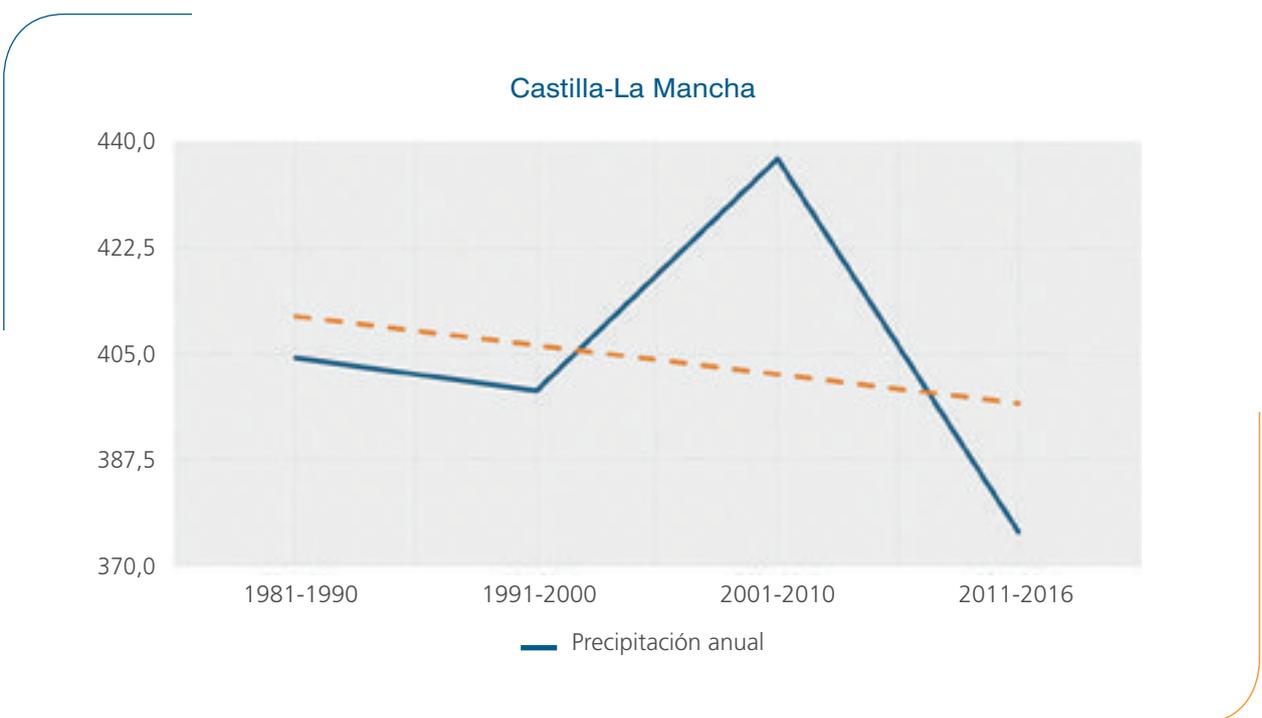
Especialmente en el verano (junio, julio y agosto), hay una tendencia clara a la reducción de las lluvias. Igualmente existe una gran variabilidad, donde destacan años como 2010 donde hubo tormentas muy intensas en la región. En termino generales puede decirse que los veranos son mucho más cálidos y secos, pero con años que son más húmedos a consecuencia de las tormentas.

En el caso del invierno (diciembre, enero y febrero), la irregularidad es aún más marcada. Los periodos húmedos o muy húmedos se alternan con otros de menores precipitaciones, que, aunque son mayores en

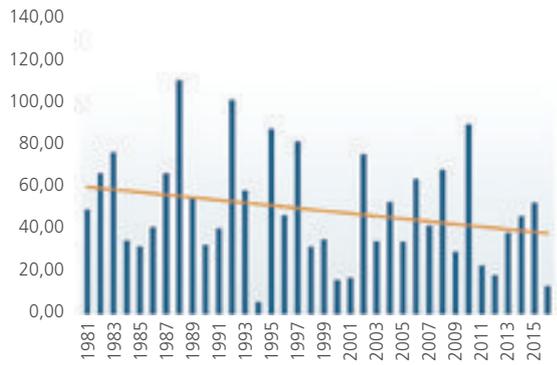


frecuencia, se compensan con esas lluvias abundantes de otros años, lo que nos deja una tendencia cero. La media móvil cada dos años, si deja ver de forma clara esa variación pluviométrica.

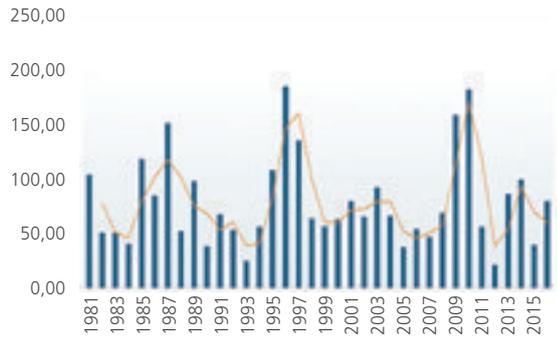
La variabilidad interanual es aún mucho más marcada en las estaciones de transición. Ninguna de ellas tiene una tendencia clara, pero si se observa en los datos una cada vez mayor variación lo que implica años secos o muy secos, alternos con años húmedos o muy húmedos. La media móvil cada dos años muestra forma de "dientes de sierra", especialmente en el otoño.



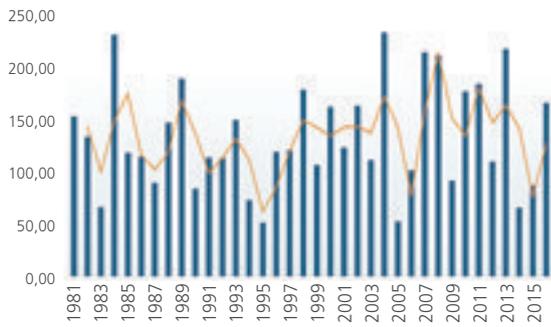
Castilla-La Mancha



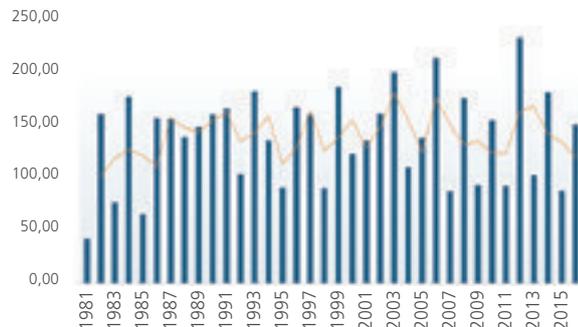
■ Precipitación verano (JJA)



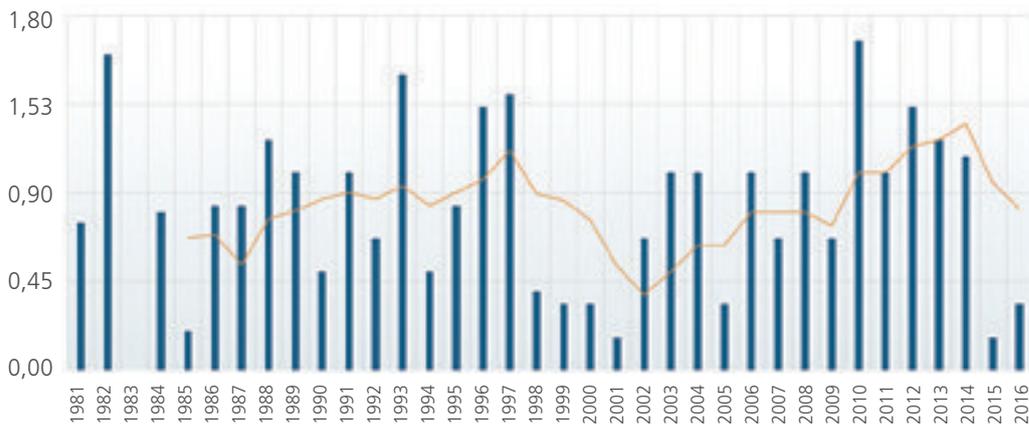
■ Precipitación invierno (DEF)



■ Precipitación primavera (MAM)



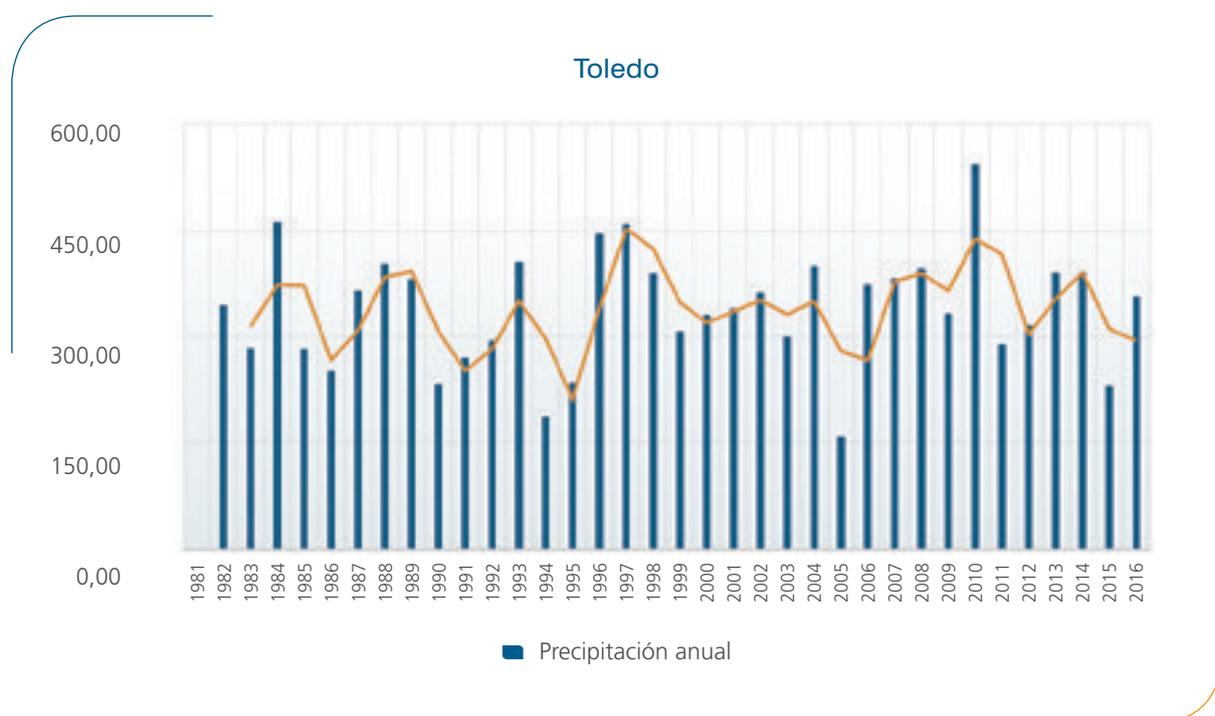
■ Precipitación otoño (SON)



■ Días de precipitación >= 30 litros

Para tener aún una mayor visión de conjunto, se hace necesario analizar también las precipitaciones intensas. En el caso de las mayores de 30 litros en un día, tuvieron un aumento de 2002 a 2014, de hecho, en este periodo se vivieron algunas inundaciones como en Alcázar de San Juan, Valdepeñas, Moral de Calatrava o Illescas, a consecuencia de precipitaciones muy intensas y en algunos casos de tipo torrencial. La media móvil cada 5 años muestra estas tendencias.

En conclusión, se puede decir, que se ha constatado una mayor variabilidad en los últimos años, pero donde se tiene una tendencia más clara es en los veranos, que son cada vez más cálidos y secos. Por otro lado, los años secos tienden a ser más secos, mientras que, en los húmedos, esas lluvias son en forma de tormenta y/o a precipitaciones que acumulan varios litros en un día como por ejemplo el paso de frentes atlánticos.



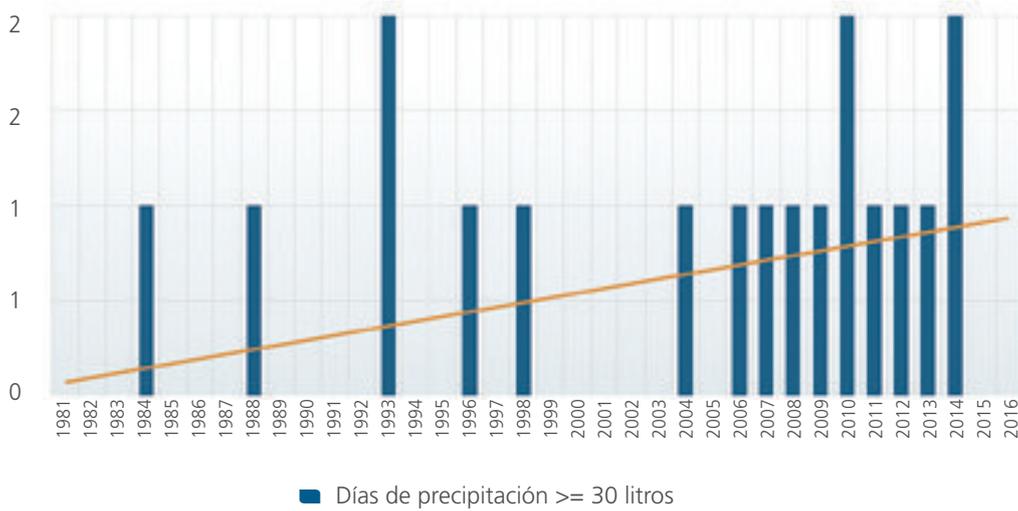
## Toledo

En el caso de la provincia de Toledo, hay una marcada irregularidad en las precipitaciones totales anuales. No presenta ninguna tendencia clara y la media móvil se adapta bien a esas irregularidades. Se intercalan eso sí, años muy secos con otros húmedos, siendo más frecuentes los primeros.

Es especialmente llamativo que los días con precipitaciones iguales o superiores a 30mm por metro cuadrado han aumentado en frecuencia en los últimos años, hasta el punto de entre 2006 y 2016 tener uno o más cada año. Este tipo de precipitación, puede provocar daños en infraestructuras, pérdida de suelo y anegar zonas en pocas horas.

Pese a ello, también hay que añadir que los datos muestran una notable reducción de las precipitaciones en verano, por lo que estas lluvias según se observa, se darían principalmente en los meses de otoño, aunque también pueden darse en verano como ocurrió en 2010.

Toledo



Ciudad Real

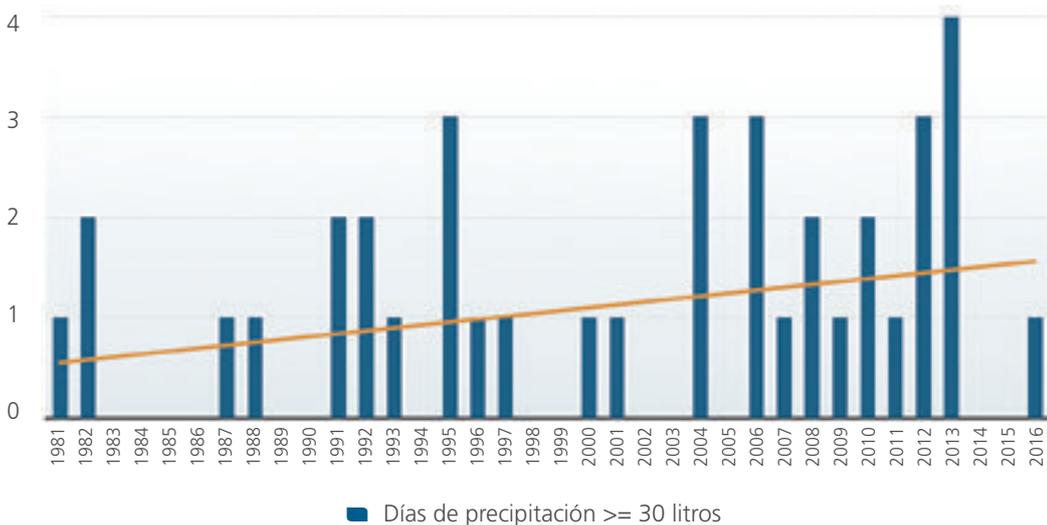
En el caso de este observatorio meteorológico, ocurre al igual que en otros. Se muestra una variabilidad interanual muy fuerte, en la que se alternan años muy secos como 2005 y otros húmedos como 2010. En términos generales no se puede establecer una tendencia clara, pero si se observa que de 2009 a 2010 hubo una ligera tendencia al alza, mientras que desde ese año y hasta ahora hay una marcada variación negativa.

El número de días con precipitaciones iguales o superiores a 30mm por metro cuadrado su ha experimentado un claro aumento. Esto no quiere decir que en el cómputo total anual llueva más, sino que, aunque llueva menos, puede hacerlo más concentrado en el tiempo.

Ciudad Real



Ciudad Real “Escuela de Magisterio”



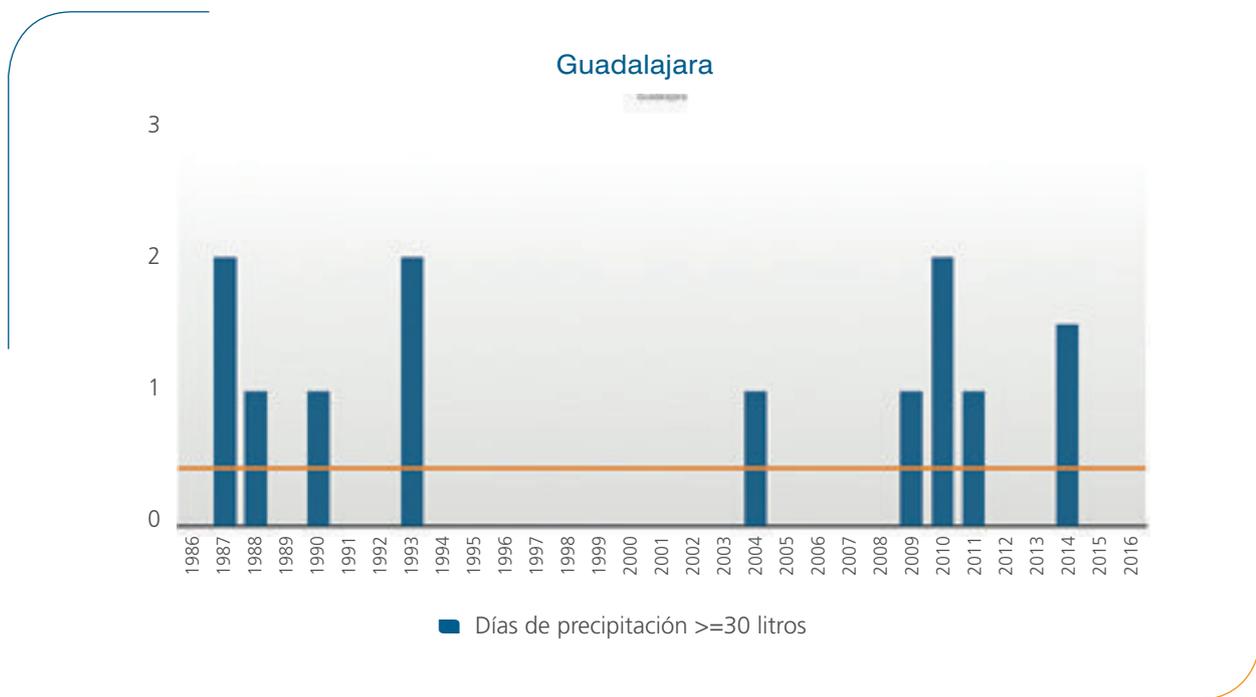
Guadalajara



Especialmente de 2006 a 2013 hubo un marcado aumento, especialmente en este último año cuando ocurrió hasta 4 veces. El total de lluvia en 2013 fue de 553,4 litros, lo que implica que la cuarta parte de las lluvias totales del año, se recogieron en cuatro días.

### Guadalajara

La estación de Guadalajara es la que muestra una mayor homogeneidad en los datos, pero pese a ellos, también existe variación pluviométrica entre cada uno de los años. 2005 y 2015 aparecen como unos de los más secos, mientras que 2010 sería el más húmedo. Si se constata una disminución progresiva a partir de ese año y que conllevó a la sequía de 2017.



Los días con precipitaciones iguales o superiores a 30 litros no presentan tendencia y son infrecuentes en el periodo de estudio por lo que no permiten hacer una aproximación que arroje resultados claros.

### Molina de Aragón

La estación meteorológica de Molina muestra también una variación interanual, aunque no tan marcada como en otros observatorios. Si es especialmente interesante y relevante ver la marcada tendencia negativa de esta zona. Se constata un marcado descenso de las lluvias. De toda la serie el año 2015 fue el más seco con 268,6 litros, mientras que la media de todo el periodo es de 450. Un dato especialmente relevante, al tratarse de una zona de receptora de agua que alimenta cuencas hidrográficas.

Los días con precipitaciones iguales o superiores a 30 litros tienden igualmente a disminuir, pero al tener una gran variabilidad, es difícil poder sacar una conclusión. Esa variación hace que haya años como 1991, 1996 o 2011 donde se repiten hasta tres veces, alternándose con otros periodos donde no ocurre.

### Cuenca

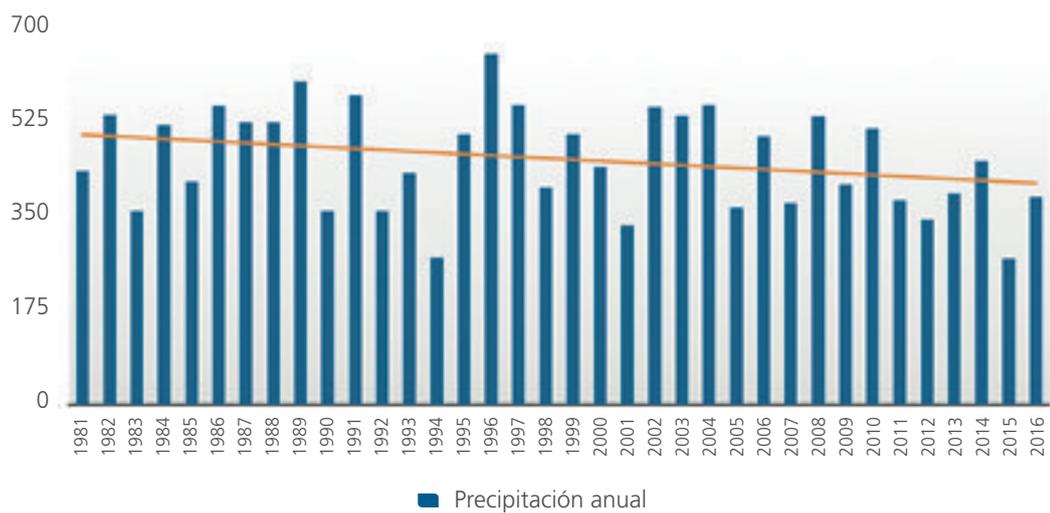
El observatorio de Cuenca, al igual que ocurre en casi todos, muestra una gran variabilidad. Se alternan años especialmente secos como 1983 y otros húmedos o muy húmedos como 2010. Hay periodos que tienden a menores registros de precipitación como ocurrió de 1987 a 1994 y de 2010 a 2016, con otros húmedos, más cortos, como 2005-2010. En general, los periodos secos son más largos de los húmedos y tiende a existir una mayor variabilidad.

Los días con precipitaciones iguales o superiores a 30 litros tienden a disminuir. Algunos años como 1988 o 2003 llegaron a registrar tres, alternándose con años de dos, uno o ninguno, pero ha sido esta frecuencia la que más ha disminuido desde 2010.

### Albacete

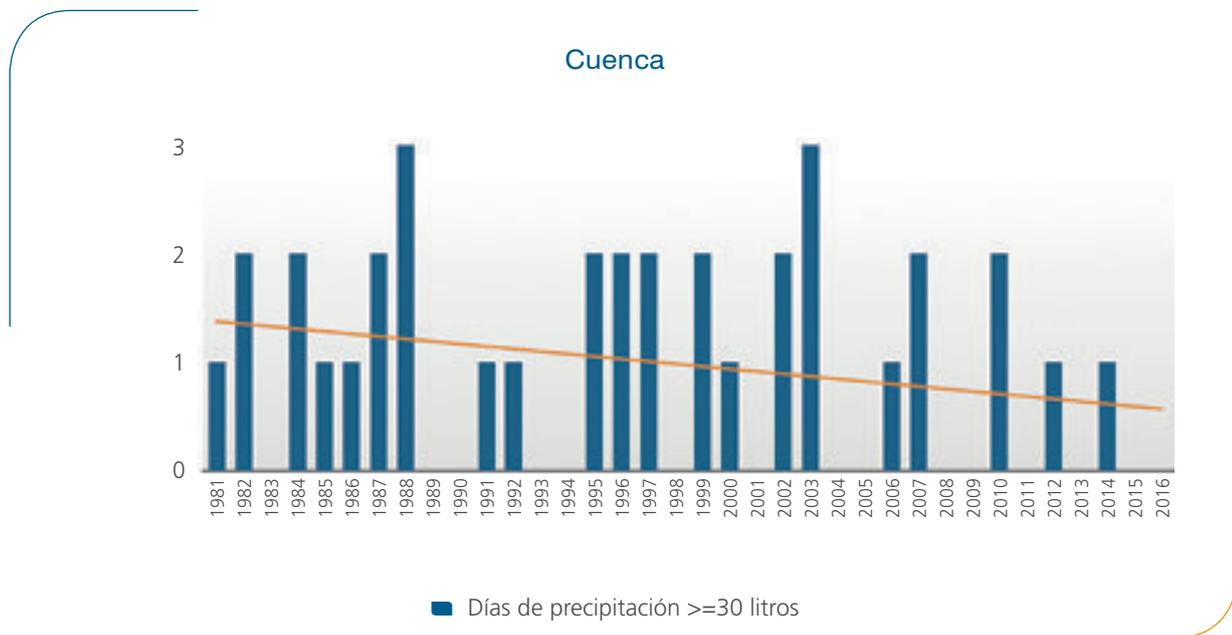
El observatorio de Albacete muestra una marcadísima irregularidad pluviométrica. El año 2000 fue el más seco de la serie con tan sólo 184,9 litros mientras que el más húmedo fue 2010 con 615 litros. Esta zona

### Molina de Aragón



### Cuenca

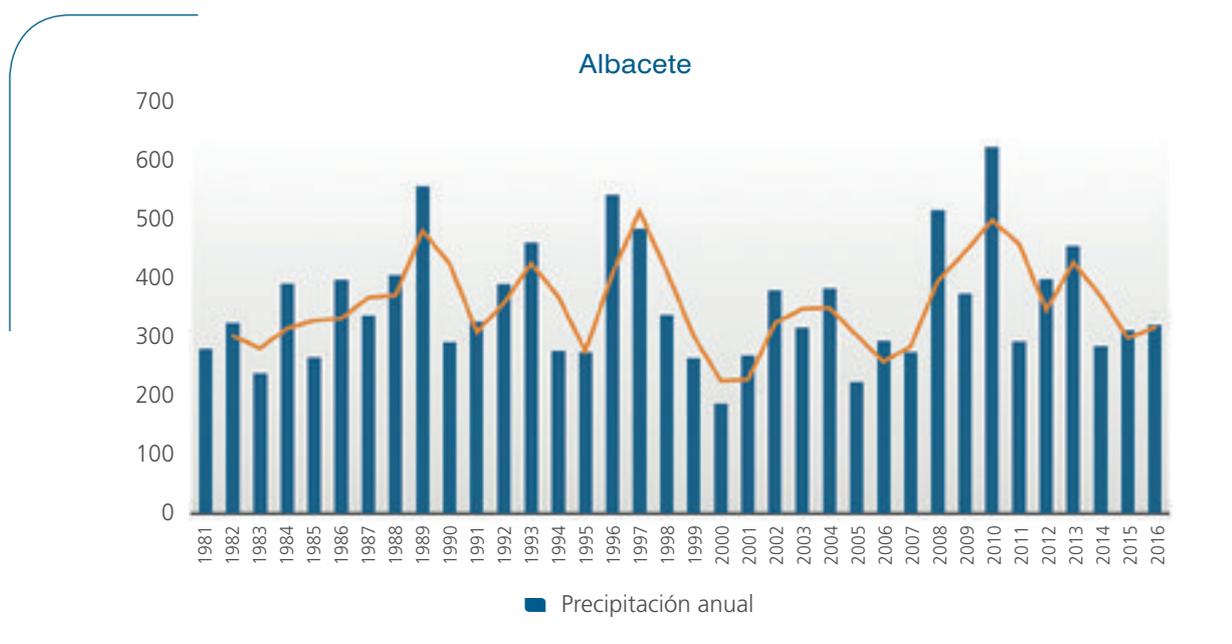


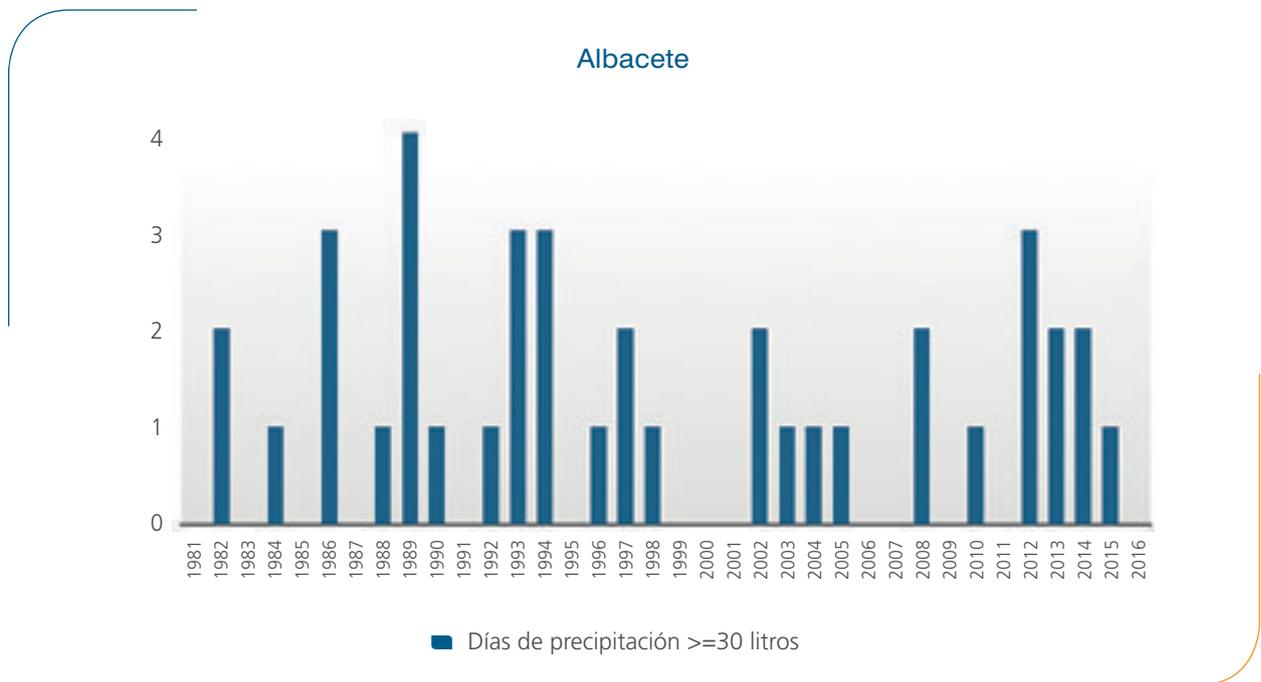


muestra fuertes contrastes en muy cortos periodos de tiempo. Además, hay marcadas tendencias de aumento como 1981-1989 y marcados descensos de 1996 a 2000.

El número de días por encima o igual a treinta litros no presenta ningún tipo de tendencia, aunque si hay una mayor frecuencia entre 2012 y 2015. Las tormentas severas suelen ser recurrentes en este entorno, en muchas ocasiones acompañadas de granizo. Aunque este observatorio no llega a registrarlas dada su ubicación, si se tiene constado un mayor aumento de episodios tormentosos al final del verano y comienzos del otoño en el "pasillo de Almansa".

En general podemos ver que las temperaturas tienden claramente a aumentar, especialmente en los meses de verano, constatándose también un aumento del número de días por encima de 30°C que se



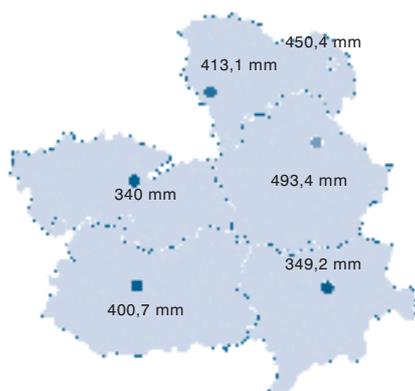


extiende a la primavera y al otoño. Por otro lado, el número de días fríos o muy fríos se está reduciendo considerablemente.

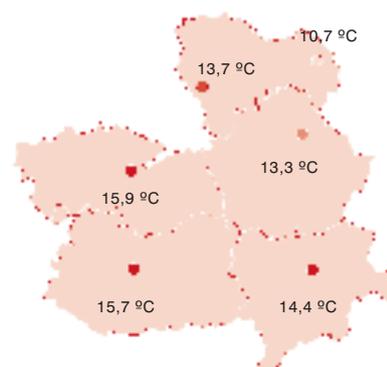
Las precipitaciones muestran una clara tendencia a la variabilidad acusándose los periodos secos y muy secos, pero por el contrario en algunas zonas aumentas los días con precipitaciones con más de 30 litros en 24 horas mientras que en otros tienden a disminuir.

Para todo el periodo estudio, los datos medios son los que se detallan en la siguiente cartografía, pero hemos de tener presente, que también incluyen los años más cálidos jamás registrados y ese valor varía según el periodo escogido, pero es el dato más realista que se puede extraer.

Precipitación media anual (1981-2016)



Temperatura media anual (1981-2016)



## Análisis de datos de la red SIAR en Castilla-La Mancha de 2000 a 2016:

Los datos de la Red SIAR analizados comprenden del periodo 2000 al 2016. En todo caso se han desechado las estaciones que no presentaban una buena serie numérica y aquellas que presentaban lagunas de datos "rellenables" se han trabajado para conseguir el mayor número de puntos de estudio para cubrir el territorio. El periodo de años no es lo suficientemente extenso como para poder establecer resultados concisos, pero son 17 años que sirven para reflejar el comportamiento climático durante el siglo XXI. Además, hemos de tener en cuenta, que en estos años tenemos algunos de los años más cálidos registrados tanto en el planeta como en España en conjunto, por lo que son muy valiosos y sirven para tener una idea muy significativa de la región en conjunto y de cada provincia. Son estaciones ubicadas de forma general en espacios naturalizados sin influencia urbana o antrópica directa, lo que les otorga más valor.

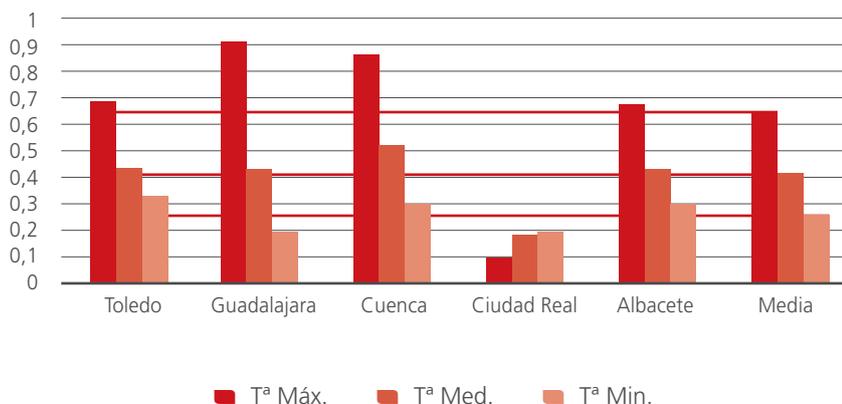
La temperatura media de Castilla-La Mancha para este periodo es de 13.69°C siendo la provincia de Guadalajara la más fría, por debajo de la media, con 12.67°C y seguido de Cuenca con 13,02°C. Por el contrario, Toledo es la más cálida con 14.81°C, seguida por debajo por Ciudad Real con 14,36°C y por Albacete con 14.09°C.

El aumento de las temperaturas máximas es el más llamativo y fuerte en todas las provincias. Guadalajara es la que presenta un mayor aumento con +0.93°C seguida de Cuenca, Toledo y Albacete. En cuanto a las temperaturas medias, el mayor aumento se da en la provincia de Cuenca con 0.53°C a la que siguen Guadalajara, Toledo y Albacete con un comportamiento térmico homogéneo de +0.44°C. Las temperaturas mínimas por el contrario aumentan más débilmente, en prácticamente la totalidad de estaciones. En el caso de Toledo es la que presenta un mayor aumento de las temperaturas mínimas, con +0.34°C, seguida de Cuenca y Albacete con 0.3°C y de Guadalajara y Ciudad Real con +0.2°C.

El caso de Ciudad Real es singular pues es la que presenta, con diferencia un calentamiento más moderado. En todas las variables se encuentra por debajo de la media y es la que presenta los valores más suaves que aumentos de entre 0.1°C y 0.2°C, que se pueden considerar poco significativos.

En conjunto, toda la Comunidad Autónoma presenta un calentamiento cercano al medio grado centígrado, de +0.44°C. Cuenca es la provincia que presenta un mayor calentamiento, de 0.57°C, seguida de Guadalajara con +0.52°C, de Toledo con +0.49°C y de Albacete con +0.47°C. Es Ciudad Real la única que

Aumento de temperaturas en °C (2000-2016)



se mantiene por debajo de la media con  $+0.17^{\circ}\text{C}$ , una temperatura que hace bajar fuertemente la media de Castilla-La Mancha provocando una gran desviación de los datos, por eso se recomienda el análisis pormenorizado provincia por provincia.

## Provincia de Toledo

La temperatura media de la provincia de Toledo para el periodo 2000-2016 es de  $14,81^{\circ}\text{C}$  un valor que queda por debajo de la temperatura media del planeta en algo más de medio grado centígrado. Presenta de forma generalizada un aumento de temperaturas, muy marcado en la media de las temperaturas máximas que llega a ser de  $+0,69^{\circ}\text{C}$ . La temperatura media diaria también aumenta, y en este periodo lo ha hecho en  $0.44^{\circ}\text{C}$ . La Temperatura mínima ha aumentado en  $0.34^{\circ}\text{C}$ , un ritmo menor donde hay que tener en cuenta la fuerte continentalidad térmica del territorio y por otro lado que estas estaciones se ubican en zonas agrícolas y más naturalizadas que el interior de una ciudad, lo que ayuda a que se pierda rápidamente la temperatura por las noches.

### Magán:

En Magán se muestra para el periodo estudiado un leve aumento de las temperaturas máximas diarias de  $+0.36^{\circ}\text{C}$ , pero por el contrario en la media de las temperaturas mínimas se llega a observar sólo en el periodo analizado  $1,15^{\circ}\text{C}$  de aumento. La temperatura media diaria también es creciente a un ritmo de  $0,052^{\circ}\text{C}$  por año, habiendo aumentado en este periodo  $0.83^{\circ}\text{C}$ .

### Alcolea de Tajo:

En la zona de Alcolea de Tajo el cambio en el clima es muy débil. Aunque en todas las variables estudiadas se pueda observar un leve aumento, es en las temperaturas máximas donde más se marca con  $+0,7^{\circ}\text{C}$  y en las temperaturas medias con  $+0,3^{\circ}\text{C}$ . En las temperaturas mínimas apenas se observan cambios significativos.

### La Puebla de Almoradiel:

En este municipio se aprecia un claro aumento de la temperatura máxima diaria a un ritmo de  $0.06^{\circ}\text{C}$  por año, es decir,  $0.9^{\circ}\text{C}$  de aumento sólo en el periodo estudiado. Las temperaturas medias han aumentado en el presente siglo  $0.48^{\circ}\text{C}$ , en cambio, apenas pueden apreciarse cambios significativos para las temperaturas mínimas.

### La Rinconada:

Esta zona presenta una gran variabilidad interanual, lo que hace difícil establecer un aumento promediado de la temperatura para este periodo de años, pero podemos establecer que en todos los casos (TM, tm, Tm) se percibe un aumento de temperatura de  $0.6^{\circ}\text{C}$  para la TM, de  $0.18^{\circ}\text{C}$  para la Tm, y de  $+0.5^{\circ}\text{C}$  para la tm, aunque teniendo siempre presente que el valor de correlación es bajo.

### Los Navalmorales:

En Los Navalmorales sigue existiendo una gran variabilidad, que debido al corto periodo de años estudiado, hace que sea difícil establecer resultados claros. En el caso de la TM se observa un aumento de  $0.37^{\circ}\text{C}$  y de  $+0.54$  para la Tm. Si es interesante el resultado de la tm porque hay un claro aumento de  $0,67^{\circ}\text{C}$ .

### Mora:

En la localidad de Mora se aprecia un marcado aumento de las temperaturas máximas diarias que llega a ser de  $+1.07^{\circ}\text{C}$ . En el caso de la Tm ha aumentado  $+0,52^{\circ}\text{C}$  y en el caso de la tm  $0.1^{\circ}\text{C}$ . Esta estación muestra un comportamiento claro donde se refleja el aumento de los días cálidos y muy cálidos, pero la continentalidad hace que en las noches la temperatura siga bajando.

### Recas:

En la localidad de Recas la TM ha aumentado  $+0,77^{\circ}\text{C}$ , la Tm  $+0,48^{\circ}\text{C}$  y la tm ha aumentado  $+0,15^{\circ}\text{C}$ , un valor bajo que llega a presentarse por el mismo motivo que en Mora. En este caso los datos también presentan una gran variabilidad interanual.

### Las vegas de San Antonio:

En el caso de esta localidad hay años cálidos que contrastan con otros años más fríos en cuanto a la media de temperatura del periodo analizado, lo que provoca un número de correlación bajo en todos los casos pero que pese a ello, en todas las variables existe un aumento de la temperatura. En la TM  $+0,61^{\circ}\text{C}$  en lo que va de siglo, en las Tm de  $+0,35^{\circ}\text{C}$  y en las tm de  $+0,2^{\circ}\text{C}$

### Villarubia de Santiago:

En el caso de esta localidad las TM has aumentado  $+0,8^{\circ}\text{C}$  un valor alto que contrasta con las Tm y tm que han aumentado  $0,2^{\circ}\text{C}$  y  $0,3^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

## Provincia de Guadalajara

En la provincia de Guadalajara tenemos un reducido número de estaciones, pero estudiando en detalle cada una de ellas, se ve claramente el aumento de las temperaturas máximas diarias. La temperatura media de la provincia es de  $12,17^{\circ}\text{C}$ , una temperatura media baja que marca las conocidas temperaturas mínimas de esta provincia. Las temperaturas máximas han aumentado en el periodo 2000-2016 en  $+0,93^{\circ}\text{C}$ , casi un grado centígrado. Las temperaturas medias han aumentado en  $0,44^{\circ}\text{C}$  y las temperaturas mínimas en  $+0,2^{\circ}\text{C}$ .

### Armuña de Tajuña:

La estación de Armuña de Tajuña presenta un claro aumento de la temperatura máxima diaria, que llega a ser para el periodo estudiado de  $+0,9^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas medias diarias también aumentan y lo hicieron en  $+0,39^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas mínimas apenas experimentaron cambios, siendo el aumento de  $+0,1^{\circ}\text{C}$ .

### Illana:

En esta zona se muestra un claro y fuerte aumento de las temperaturas máximas que llega a ser para el periodo estudiado de  $+1,12^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas medias diarias aumentaron  $+0,56^{\circ}\text{C}$  y las temperaturas mínimas diarias no llegaron ni a  $0,1^{\circ}\text{C}$ , un valor inapreciable, por lo que podemos considerar un no aumento de las mínimas.

### Jadraque:

Esta localidad apenas presenta también temperaturas al alza. En el caso de las máximas, para el periodo estudiado, tenemos un aumento  $1^{\circ}\text{C}$ . En el caso de las temperaturas medias, estas aumentaron en  $0,6^{\circ}\text{C}$ , y las mínimas en  $0,47^{\circ}\text{C}$ .

### Prados Redondos:

Esta estación presenta una marcada irregularidad interanual, por lo que es complicado establecer una tendencia clara dado el corto periodo de años. Pese a ello, se puede llegar a establecer un aumento de  $+0,7^{\circ}\text{C}$  en las máximas, y en torno a los  $0,2^{\circ}\text{C}$  tanto en las medias como en las mínimas.

## Provincia de Cuenca

En la provincia de Cuenca se cuenta con un mayor número de estaciones. Algunas de estas se encuentran en zonas de montaña con unas temperaturas mínimas muy marcadas en invierno. La temperatura media para esta provincia es  $13,02^{\circ}\text{C}$ . La temperatura media de las máximas, ha aumentado en  $0,87^{\circ}\text{C}$  en la

provincia, mientras que la temperatura media ha aumentado en 0.53°C y las mínimas en 0.3°C. En conclusión, observamos una tendencia clara al calentamiento sobre todo en las temperaturas máximas diarias y en las medias, pero el cambio es menor en las temperaturas mínimas.

#### **Barajas de Melo:**

La zona de Barajas de Melo presenta un aumento de las temperaturas máximas de 0.47°C. En el caso de las temperaturas medias, estas han aumentado en 0.2°C y las temperaturas mínimas han llegado a disminuir en -0,1°C

#### **Cañete:**

La estación de Cañete presenta años muy dispares en cuanto a temperaturas se refiere. Pese a ello, se ha podido establecer la tendencia de las temperaturas para este periodo y llega a tener un valor muy significativo. En el caso de las temperaturas máximas, estas han aumentado en 2°C durante el periodo 2000-2016 pese a algunos años marcadamente fríos. Las temperaturas medias también han aumentado en 1°C y las mínimas se han mantenido estables.

#### **El Pedernoso:**

Para la estación de El Pedernoso se ha analizado el periodo 2002-2016 porque pese a ser un menor número de años, las series son muy completas y ricas en sí mismas para estos años, lo que ha permitido tener un valor de correlación alto para la tendencia de los años estudiados. En el caso de las temperaturas máximas estas han aumentado en 1.14°C, las temperaturas medias en 1.10°C y las mínimas en 1,1°C lo que muestra en todos los casos una marcada tendencia al calentamiento, pero hemos de tener en cuenta que hemos quitado los años 2000 y 2001 lo que también crea distorsiones al ser comparado con otras estaciones.

Esta estación muestra un aumento de las temperaturas máximas de 0,87°C, principalmente a la presencia de algunos años marcadamente cálidos en las etapas más recientes. En el caso de las temperaturas medias, estas han aumentado en 0.3°C y en el caso de las temperaturas mínimas se han mantenido estables sin una tendencia estable y clara.

#### **El Sanchón:**

La estación de El Sanchón apenas presenta una tendencia en las temperaturas máximas. Por el contrario, las temperaturas medias aumentaron en 0.4°C y las mínimas en 1,36°C, una estación muy singular con respecto a otras que encontramos en la provincia.

#### **Villaconejos de Trabaque:**

Esta estación presenta grandes contrastes interanuales, pese a ello, podemos establecer una tendencia y observar que las temperaturas máximas han aumentado en 0.62°C. En el caso de las temperaturas medias, estas lo han hecho en 0.1°C y en el caso de las mínimas han disminuido en -0,3°C

#### **Villanueva de la Jara:**

En el caso de esta estación, la temperatura media de las máximas ha aumentado 1°C, mientras que las temperaturas medias lo han hecho en 0.63°C. En el caso de las temperaturas mínimas, estas han aumentado en 0.2°C.

### **Provincia de Ciudad Real**

La provincia de Ciudad Real también presenta un buen número de estaciones que ofrece datos dispares con respecto al resto de provincias. La temperatura media es de 14.36°C para el periodo 2000-2016. Las

## II Informe sobre Cambio Climático en Castilla-La Mancha

temperaturas máximas han aumentado en torno a 0,1°C. Las temperaturas medias han aumentado en 0.25°C, las mínimas 0.3°C. Podemos considerar que esta provincia es la menos afectada.

### Alcázar de San Juan:

En la estación de Alcázar, podemos ver una tendencia débil de aumento de temperaturas máximas, estas lo han hecho en 0,1°C. En el caso de las temperaturas medias diarias, estas han aumentado en 0.3°C y las mínimas en 0.4°C

### Argamasilla de Alba:

Para la zona de Argamasilla de Alba, las temperaturas máximas han disminuido en -0.5°C. Las temperaturas medias se han mantenido estables y las mínimas han llegado a aumentar en 0.48°C.

### Bolaños:

En la estación de Bolaños, las temperaturas máximas se han mantenido estables al igual que las medias, mientras que las mínimas han aumentado en 0.2°C.

### Ciudad Real:

En el caso de esta estación, se muestra una tendencia de aumento de 0.25°C en las máximas para el periodo analizado, mientras que las temperaturas medias aumentaron en 0.46°C y las mínimas en 0.68°C. Esta estación tiene una tendencia clara en el aumento de las temperaturas mínimas.

### Daimiel:

Para la zona de Daimiel hay un comportamiento homogéneo de las temperaturas lo largo del periodo estudiado. En el caso de las máximas, estas se mantienen similares, sin tendencia, al igual que las medias, pero en el caso de las mínimas estas llegan a disminuir en torno a -0.1°C, pero con una muy baja correlación, por lo que consideraremos esta estación con valor 0 en la tendencia de cualquiera de sus variables térmicas.

### Herencia:

En el caso de esta estación, nos falta algún año intermedio, pero se ha considerado oportuno hacer la tendencia dado la continuidad de los datos y la interesante zona donde se ubica, lo que la hace rica en datos en sí misma. En el caso de las temperaturas máximas, estas han aumentado en 0.53°C, mientras que las medias lo han hecho en 0.4°C y las mínimas en 0.3°C. En todos los casos, debido a la continuidad de los datos, la correlación no es demasiado alta.

### Manzanares:

En la estación de Manzanares hay un aumento de 0.53°C en el periodo estudiado para las temperaturas máximas. En el caso de las temperaturas medias, están han aumentado 0.9°C y las mínimas en 1,5°C. En todos los casos hay una correlación alta lo que hace que estas temperaturas sean muy significativas.

### Porzuna:

En el caso de Porzuna, las temperaturas máximas se han mantenido estables, sin ninguna tendencia. En el caso de las temperaturas medias estas han disminuido en torno a -0,6°C y en el caso de las mínimas, estas han disminuido -1°C, probablemente provocado por una tendencia de los años 2012-2015 por debajo de la media.

## Provincia de Albacete

La provincia de Albacete, como el resto, presenta aumentos temperatura en todas sus variables para el periodo 2000-2016. Pese a ello, existe una gran fluctuación térmica interanual con años cálido y fríos que

hacen difícil establecer una correlación clara para algunas estaciones. Pese a ello, queda marcada la tendencia al calentamiento que en algunas estaciones llega a alcanzar más de un grado positivo. La temperatura media de la provincia de Albacete es de 14.09°C. Las temperaturas máximas han aumentado de media para la provincia en 0.68°C, las temperaturas medias han aumentado en +0.44°C y las mínimas en +0.3°C

#### **Albacete:**

En la estación de Albacete se observan cambios no demasiado llamativos. En el caso de la temperatura máxima diaria, esta ha aumentado 0,2°C en el periodo 2000-2016. La temperatura media se ha mantenido estable, sin cambios y las temperaturas mínimas han aumentado 0,2°C. Podemos considerar que es una estación estable térmicamente.

#### **Almansa:**

La estación de Almansa muestra una variación moderada. En el caso de las temperaturas máximas, han aumentado 0.5°C, mientras que las temperaturas medias y mínimas lo han hecho en 0,3°C.

#### **Caudete:**

En el caso de Caudete existe una mayor tendencia al calentamiento. En el caso de las temperaturas máximas, han aumentado en siglo XXI 0.9°C. Las temperaturas medias han aumentado 0,3°C y las mínimas por el contrario se han mantenido bastante estables sin cambios significativos.

#### **Juanaco:**

La estación de Juanaco presenta unos valores correlación altos, lo que muestra una gran validez de los datos y además es una estación muy completa en sus series numéricas. En el caso de las temperaturas máximas, presentan un aumento de 1,3°C a lo largo del periodo 2000-2016. Las temperaturas medias aumentaron 0.9°C y las mínimas lo hicieron en 0.75°C. Podemos considerar a esta estación con un marcado calentamiento en todas sus variables térmicas.

#### **La Gineta:**

La estación de La Gineta presenta un contraste térmico interanual muy pronunciado lo que hace tener un valor de correlación significativamente bajo. En el caso de las temperaturas máximas, han aumentado 0.3°C, en la misma proporción que las temperaturas medias. Las temperaturas mínimas también han aumentado, aunque más débilmente, manteniéndose en 0.2°C de aumento para el periodo de estudio.

#### **Motilleja:**

La estación de Motilleja presenta una marcada tendencia al calentamiento y un alto nivel de correlación de los datos. El aumento es muy significativo. En el caso de las temperaturas máximas, han aumentado en 1°C durante el periodo 2000-2016. En el caso de las temperaturas medias, aumentaron 0.92°C y en el de las mínimas, en 0.7°C

#### **Ontur:**

La estación de Ontur presenta un marcado calentamiento en las temperaturas máximas, de +0.85°C, mientras que en las temperaturas medias se mantiene en +0.36°C y en las mínimas se mantiene prácticamente constante con un cambio que no alcanza los 0.1°C de aumento, por lo que lo consideramos un valor 0.

#### **Pozo Cañada:**

La estación de Pozo Cañada presenta en todos los casos un aumento de las temperaturas, aunque es importante advertir de la baja correlación de estos datos y las grandes fluctuaciones térmicas a lo largo

del periodo de estudio. En el caso de las temperaturas máximas lo hicieron en  $+0.7^{\circ}\text{C}$ , de las medias en  $+0.5^{\circ}\text{C}$  y las mínimas en  $+0.3^{\circ}\text{C}$ .

### Tarazona:

En la estación de Tarazona observamos cambios no demasiado significativos con respecto a otras estaciones. En el caso de las temperaturas máximas, aumentaron  $0.4^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas medias lo hicieron más débilmente, en  $0.34^{\circ}\text{C}$  y las mínimas lo hicieron en  $0.35^{\circ}\text{C}$ .

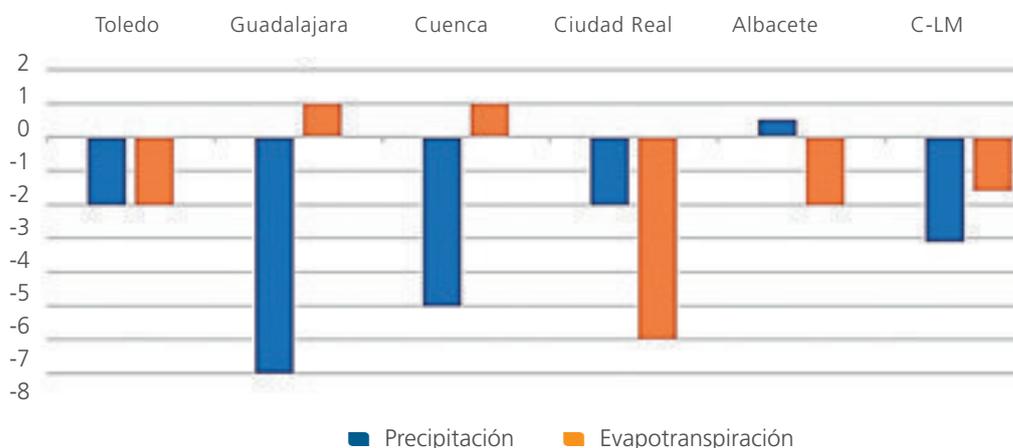
## Precipitaciones y evapotranspiración de referencia

Antes de comenzar el apartado de las precipitaciones, hemos de considerar que igualmente hablamos de un periodo corto de años y de un número limitado de estaciones. Pese a ello, los datos tienen una gran riqueza en sí mismos y nos sirven para entender el comportamiento hídrico, pluviométrico y climático de distintas zonas de Castilla-La Mancha.

A modo general vemos una reducción de precipitaciones de varios litros por año y metro cuadrado. Aunque parezca una cantidad baja, hemos de entender que ese valor habría que multiplicarlo por todos los metros cuadrados de la región, además es un valor cada año más marcado que replantea seriamente la cuestión hídrica. Pese al aumento de las temperaturas, la evapotranspiración también disminuye en algunas provincias, como por ejemplo en Toledo donde lo hace al mismo ritmo que las precipitaciones. En este sentido debemos tener presente que la evapotranspiración no depende sólo de la temperatura y la radiación solar, sino también en la cantidad de agua disponible en el suelo para que se evapore. La reducción de las precipitaciones en algunas zonas lleva a reducir el contenido de humedad en el suelo, por lo que hay menos agua disponible para evapotranspirar. Estas reducciones regionales son tan intensas que afectan severamente el volumen promedio global de la evapotranspiración. Los datos deben entenderse en conjunto y de manera global.

También es importante añadir que estamos en una región con una muy marcada variabilidad interanual de las precipitaciones con años húmedos o muy húmedos como 2010, que en algunas provincias como

Tendencias de las precipitaciones y ETP 2000-2016 en mm/año



Albacete queda muy marcado, y años secos o muy secos como 2005 que afectó a toda la Comunidad Autónoma, siendo estos últimos los más comunes en los años más próximos. Este año por ejemplo se caracterizó en toda región por sus bajas precipitaciones que arrastraron varios años de déficit hídrico. Por ello, es importante reconsiderar todos estos fenómenos y cerciorarse sobre el aprovechamiento hídrico de los años más húmedos preparándose como región para los años más secos, que tienden a ser más frecuentes e intensos.

En otras zonas, aunque la precipitación haya aumentado levemente como en Albacete, es un fenómeno debido sobre todo a la torrencialidad de un mayor número de días de intensas precipitaciones cuyo origen es en casi todos los casos convectivo. Guadalajara y Cuenca son las provincias que más constatan la disminución de las precipitaciones. La media de la región es de -3mm/año.

### Provincia de Toledo

En la provincia de Toledo llueven de media 376.1 litro por metro cuadrado. La evapotranspiración de referencia es marcadamente más alta, 1249.72mm, lo que pone de relieve el déficit hídrico que se sufre de forma natural y que se refleja en una marcada sequía estival.

En el caso de las precipitaciones, podemos establecer que de media en la provincia han disminuido unos 2 litros por año, es decir, unos 34 litros menos para el periodo de estudio 2000-2016. En el caso de la evapotranspiración también disminuye en la misma proporción que las precipitaciones, por lo que podemos considerar de media para la provincia una estabilidad pluviométrica en los últimos años pero que varía a medida que aumentamos la escala, pues existen comarcas de mayor déficit hídrico.

#### Magán:

En la estación de Magán, llueven de media al año para el periodo analizado 336 litros por metro cuadrado y la evapotranspiración de 1337,20 mm. Se ve una tendencia de aumento de evapotranspiración de 4mm más por año, lo que llega a suponer 75mm más para el total del periodo de estudio. En el caso de las precipitaciones hay una tendencia negativa de -1.7mm/año que llegan a ser 27.2mm menos para el periodo 2000-2016.

#### Alcolea de Tajo:

En la estación de Alcolea de Tajo, llueven de media para este periodo 439.5 mm y se evapotranspiran 1346,45mm. Hay una tendencia a la disminución de la evapotranspiración de 4mm año, lo que supone 67mm menos para este intervalo de tiempo. En el caso de la precipitación es positiva, y ha aumentado más de 5mm por año, lo que supone 91mm más lluvia.

#### La Puebla de Almoradiel:

En la Puebla hay una marcada disminución de las precipitaciones, con un valor de correlación además alto que otorga gran fiabilidad a los datos. En este lugar llueven de media unos 353,7 litros y se reducen a un ritmo de más de 5mm por año, lo que son prácticamente 100mm para el periodo de estudio. En el caso de la evapotranspiración, que es de media 1170,2mm, es también negativa y se reduce en la misma proporción que las precipitaciones.

#### La Rinconada:

En La Rinconada se recogen de forma media anual 398 litros. La evapotranspiración es de 1156.5mm de media para el mismo periodo. En el caso de las precipitaciones estas aumentan a un ritmo de 3.89mm año, lo que supone 62 litros más durante el periodo de estudio. La evapotranspiración es negativa y disminuye 2.7 mm al año, unos 43 litros en el siglo XXI

### Los Navalmorales:

En Los Navalmorales se recoge una precipitación media de 383.64mm, con una evapotranspiración de 1364.85mm. Las lluvias han disminuido a un ritmo de -4,6mm por año, lo que supone 73.6 litros menos. En el caso de la evapotranspiración, aumenta 1.44mm por año, 23mm para todo el periodo.

### Mora:

En Mora llueven al año 332.95 litros, y la evapotranspiración se mantiene de media en 1246.78mm. Las precipitaciones se han mantenido estables a lo largo de todo el periodo, sin tendencia. En el caso de la evapotranspiración, esta si es muy significativa y aumentó al rito de 8,7 litros por año, 139 litros más para el periodo de estudio.

### Recas:

En Recas se recoge una cantidad media anual de 377.3 litros. La evapotranspiración es de 1205.29 litros. La tendencia de las precipitaciones es estable, sin cambios. La evapotranspiración es negativa, a un ritmo de -9 mm por año, lo que supone 144 mm menos de evaporación.

### Las Vegas de San Antonio:

En esta estación se recogen de media al año 425,08mm. La evapotranspiración es de 1325,46mm al año. La tendencia de las precipitaciones para el periodo de estudio es marcadamente negativa con una correlación muy alta. Se aprecia una disminución de 14.5mm menos al año, lo que llega a suponer 232 litros menos para el periodo de estudio. En el caso de la evapotranspiración se mantiene constante, sin cambios.

### Villarrubia de Santiago:

En la localidad de Villarrubia de Santiago llueven de media 358.62mm, con una evapotranspiración media anual de 1124.76. Las precipitaciones se han mantenido estables, sin cambios, a diferencia de la evapotranspiración que presenta una marcada disminución de -12.85mm/año, es decir, 205mm menos para el periodo de estudio.

## Provincia de Guadalajara

En la provincia de Guadalajara llueve de media, entre las estaciones analizadas, 417.80mm al año. La evapotranspiración alcanza de media los 1164,11mm por lo que hay una marcada sequía, sobre todo en los meses de verano y un considerable déficit hídrico.

De media, las precipitaciones se han reducido unos 7 litros al año, unos 112 litros por metro cuadrado menos, a lo largo del periodo 2000-2016. La evapotranspiración se mantenido constante con una ligera tendencia al alza. En conclusión, tenemos una provincia con tendencia a la sequedad.

### Armuña de Tajuña:

En la zona de Armuña de Tajuña se recogen 380.51mm al año, siendo la evapotranspiración de 1242,55mm. Desde el año 2000 se han reducido las precipitaciones 4,3mm al año, lo que supone 68.8 litros menos para el periodo de estudio. En el caso de la evapotranspiración, esta se ha mantenido constante a lo largo del tiempo entre unos valores sin tendencia.

### Illana:

En Illana hay una media de precipitación de 425.73mm, mientras que la evapotranspiración alcanza los 1320.47mm. En el caso de esta localidad es llamativo el año 2002 que llegó a alcanzar los 1267.2mm de precipitación. Después de este año muy húmedo, el resto han sido más secos, lo que también influye

marcadamente en la tendencia. En este caso, a razón de los resultados, podemos establecer que las precipitaciones se reducen a un ritmo de 24,4mm por año, unos 390mm para el periodo de estudio. Si sacamos del análisis el año 2002 también tenemos una tendencia a la baja, pero de 2 litros por año. En el caso de la evapotranspiración, se ha mantenido más o menos constante a lo largo de los años, pero con una leve disminución, pero el valor de correlación es tan bajo, que la consideramos en tendencia 0.

#### Jadraque:

La localidad de Jadraque recoge de precipitación media anual 469.85mm, mientras que la evapotranspiración media es de 1067.5mm. Las precipitaciones disminuyen en los últimos años a un ritmo de 9 litros por año, aproximadamente unos 150 litros para el periodo de estudio. La tendencia de la evapotranspiración es 0. En ambos casos hablamos de niveles de correlación bajos, por lo que hemos de considerar únicamente una tendencia a la baja de las precipitaciones poco marcada.

#### Prados Redondos:

En la estación de Prados Redondos se recogen 395.10mm al año. La evapotranspiración anual asciende hasta los 1026.65mm. Tanto en el caso de las precipitaciones como en el de la evapotranspiración se ve una tendencia estable de valor 0.

### Provincia de Cuenca

En la provincia de Cuenca llueven de media unos 428,2mm para el periodo 2000-2016 y la evapotranspiración de referencia alcanza los 1223mm/año. Debido, entre otros factores, a la orografía de este territorio hay una gran diferencia de precipitaciones entre las estaciones analizadas y además una marcada variación interanual. De media, las precipitaciones han disminuido a un ritmo de -5 litros por año y metro cuadrado, unos 80 litros menos por metro cuadrado para todo el periodo analizado. En el caso de la evapotranspiración podemos decir que se mantiene constante, pero como conclusión, tenemos una provincia con una tendencia clara a la disminución de precipitaciones.

#### Barajas de Melo:

En la estación de Barajas de Melo, llueven al año de media unos 380 litros por metro cuadrado. La evapotranspiración media anual es de 1366mm. La tendencia de las precipitaciones y la ETP es poco relevante. En ambos casos se aprecia una leve disminución con una correlación baja.

#### Cañete:

En esta estación se recogen 558 litros por metro cuadrado y año. La ETP asciende hasta los 1018mm. Las precipitaciones disminuyen a un ritmo de 6 litros por año, unos 96 litros para todo el periodo de estudio, aunque la irregularidad pluviométrica interanual ofrece un número de correlación bajo. La ETP por el contrario crece a un ritmo de 5 litros por año, unos 80 litros más para el periodo de estudio.

#### El Pedernoso:

El Pedernoso recoge unos 370.54 litros por metro cuadrado y año, mientras que la evapotranspiración alcanza los 1324.63 litros. Las precipitaciones disminuyen fuertemente, a un ritmo de -13 litros por año, lo que sumaría unos 208 litros menos para el periodo analizado. En el caso de la ETP esta aumenta a un ritmo de 5mm por año, unos 80mm más en el siglo XXI.

#### El Picazo:

En El Picazo se recogen unos 400 litros año, con una ETP de 1237mm. Las precipitaciones disminuyen a un ritmo de -8 litros por año, lo que supone una disminución de -128mm y la ETP disminuye a un ritmo de -2mm/año, 32mm menos para el periodo de estudio.

### El Sanchón:

En esta estación se recoge una precipitación media anual de 417mm, mientras que la ETP media asciende hasta los 1350mm. En el caso de las precipitaciones, se observa una leve disminución, pero con una correlación muy baja. La ETP se mantiene estable y prácticamente sin cambios.

### Villaconejos de Trabaque:

En la estación de Villaconejos se recogen 478mm al año y la ETP alcanza de media los 985mm. La ETP se mantiene constante, sin cambios y las precipitaciones tienen una marcada disminución de hasta 7mm menos por año, es decir, unos 112mm menos para el periodo de estudio. Esta estación tiene una correlación baja, pero pese a la fuerte variabilidad pluviométrica interanual y a algunos años especialmente húmedos como el de 2008, pero pese a ello, puede concluirse una marcada disminución de precipitaciones para el periodo de estudio.

### Villanueva de la Jara:

En Villanueva de la Jara se recogen de media 349mm/año. La ETP es de 1280mm/año. En el caso de esta última, se ha mantenido constante, prácticamente sin cambios, pero las precipitaciones reflejan una leve disminución con un número de bajo de correlación que no permite interpretar una cifra concreta.

## Provincia de Ciudad Real

La provincia de Ciudad Real tiene una gran variabilidad pluviométrica y además años secos o muy secos, seguidos de años húmedo o muy húmedos. Es una provincia que tiene fenómenos tormentosos intensos y ello provoca en algunas estaciones, marcados picos de precipitación. De media, la precipitación media anual es de 372,3mm, y la evapotranspiración media de referencia es de 1282.8mm, en ambas variables, para el periodo 2000-2016.

El comportamiento de la precipitación es poco marcado, con una reducción de unos -2mm por año de media para todo este territorio, sin embargo, la evapotranspiración de referencia disminuye marcadamente en algunas estaciones, pese a que, en otras es estable, lo que hace que tengamos una media para la región de -6mm/año.

### Alcázar de San Juan:

En Alcázar de San Juan llueven de media al año 350.6 mm por metro cuadrado. La evapotranspiración alcanza los 1285.6mm al año. Para el periodo de estudio, la precipitación apenas tiene tendencia, y los años se caracterizan por una fuerte irregularidad. En cuanto a la ETP, se constata un marcado descenso que llega a representar hasta 11 litros menos al año, es decir unos 176mm menos, en total, para el periodo estudiado.

### Argamasilla de Alba:

En Argamasilla se recogen al año 381.2mm, y la evapotranspiración asciende hasta 1291mm de media al año. En cuanto a las precipitaciones se constata una leve disminución, de unos -2mm año, pero con una baja correlación lineal. En el caso de la ETP, esta tiene una marcada disminución de -9mm/año, lo que supone 144mm para el periodo de estudio.

### Bolaños:

En Bolaños se recogen 342,6mm/año de media. La evapotranspiración alcanza los 1345mm/año. Las precipitaciones tienen una disminución considerable, a un ritmo de 6mm año lo que suma para el periodo de estudio 96mm. La ETP se mantiene constante y prácticamente sin cambios

**Ciudad Real:**

La estación de Ciudad Real recoge de media 415.6mm al año, mientras que la ETP asciende hasta los 1318,8mm. Podemos decir que ambas variables analizadas, temperatura y precipitación, se mantienen prácticamente constantes, aunque con una tenue disminución de precipitaciones de tan sólo 1mm año.

**Daimiel:**

En la estación de Daimiel se recogen de media al año 374mm y la ETP es de 1336.2mm. La disminución de las precipitaciones de unos 2mm/año y la disminución de la evapotranspiración de unos 6mm por año, sumarían para el periodo de estudio una disminución de 32mm y 96mm respectivamente.

**Herencia:**

La estación de Herencia recoge 367mm de media al año y la evapotranspiración es de 1287mm. En el caso de las precipitaciones se constata una débil disminución de unos 2 litros por año, lo que supondría un total de unos 32 litros para el periodo de estudio, aunque la marcada irregularidad interanual hace que tengamos una correlación baja. La evapotranspiración se mantiene constante a lo largo de todo el periodo con tendencia cero.

**Manzanares:**

En esta zona se recogen de media al año 357.8mm y la evapotranspiración alcanza los 1304,6mm. Las precipitaciones tienen un débil aumento, con una baja correlación, forzado por algunos años especialmente húmedos como 2010 en los que hubo episodios tormentosos de importancia. La evapotranspiración disminuye a un ritmo de -11mm por año, lo que supone 176mm para el periodo de estudio.

**Porzuna:**

La estación de Porzuna recoge 388,5mm al año de media. La evapotranspiración es 1174.13mm. En esta estación hay un aumento de precipitaciones de unos 4mm/año, es decir, unos 64mm para el periodo de estudio, aunque presentan los datos una baja correlación. En cuanto a la evapotranspiración, hay una marcada disminución de 11mm año, con una correlación muy alta, que supone para los años de estudio 176mm menos.

**Provincia de Albacete**

La provincia de Albacete presenta un desigual comportamiento térmico con respecto a otras provincias. En esta zona en un buen número de estaciones aumentan las precipitaciones, promovido sobre todo por años húmedos en los que estas se disparan por encima de su valor medio modificando la tendencia. En la mayor parte de los casos, esto viene provocado por tormentas que se forman sobre todo en los meses estivales y en el otoño, que pueden llegar a dejar registros de precipitación que representan más del 12% del total anual. Es la provincia de clima más mediterráneo-litoral en cuanto a precipitaciones se refiera, sobre todo por los fenómenos convectivos tardoestivales. Pese a esta premisa, también existen marcadas diferencias pluviométricas interanuales debido a la ubicación geográfica de este espacio; entre las características del litoral mediterráneo y el clima continentalizado del interior. Debemos entender estas características para la correcta interpretación de los datos.

En la provincia llueven de media 352.7mm y la evapotranspiración media es de 1254.6mm. En el caso de la primera variable se constata para el periodo 2000-2016 una tendencia estable, que podemos considerar valor cero, aunque hemos de añadir que algunos cálculos otorgarían un valor de 1mm más por año durante este periodo, pero el valor de correlación es ínfimo, por lo que consideraremos como se describe, valor cero. La evapotranspiración disminuye a razón de 2mm por año, una cantidad baja pero que hay que considerar como tendencia moderada a lo largo de lo que va de siglo XXI.

Es importante entender que, en esta provincia, más que aumentar las precipitaciones (aunque la tendencia sea prácticamente cero), aumenta la torrencialidad. Lluve lo mismo, pero lo hace más concentrado en el tiempo.

### **Albacete:**

En la estación de Albacete se recogen al año 330,5 mm. La evapotranspiración asciende hasta los 1305,3mm. En el caso de las precipitaciones, se ha producido un leve aumento de unos 2mm por año, es decir, 32mm más para el periodo de estudio. Pese a ello, tenemos una correlación baja debido a fuertes contrastes pluviométricos. La evapotranspiración ha disminuido unos 3mm por año, 48mm para el periodo 2000-2016.

### **Almansa:**

En esta zona se recogen al año 358.8mm al año de precipitación y la evapotranspiración media se mantiene en 1287,30mm. En el caso de Almansa se constata un aumento de precipitaciones intenso, de hasta 6 litros por año, unos 96 litros para todo el periodo de estudio. La evapotranspiración sin embargo se ha mantenido prácticamente constante con un valor cero.

### **Caudete:**

En Caudete se calcula una precipitación media de 324.5mm al año, con una evapotranspiración media de 1240.39mm. En el caso de ambas variables, no se constata ninguna tendencia, ni positiva ni negativa, ambas con valor cero.

### **Juanaco:**

En esta estación se registra una precipitación media de 394.4mm/año. La evapotranspiración media anual es de 1295.4mm. En el caso de las precipitaciones se constata un aumento de hasta 3mm por año, pero con un número de correlación muy bajo que no ofrece una gran fiabilidad de los resultados. Sin embargo, en el caso de la evapotranspiración, y con una alta confianza, se refleja una disminución de -15mm por año, es decir, unos 240mm menos para todo el periodo.

### **La Gineta:**

La estación de La Gineta tiene una precipitación media de 341.26mm. La evapotranspiración media es de 1295.8mm. Ninguna de las variables analizadas presenta una tendencia estable y clara, tan sólo las precipitaciones disminuyen a un ritmo de 1 litro por año, pero el valor de confianza es tan bajo, que daremos tendencia cero a ambos casos.

### **Motilleja:**

En Motilleja se registra una precipitación media anual de 375,4mm y la evapotranspiración es de 1171.2mm. La evapotranspiración presenta una tendencia cero y las precipitaciones, una disminución aproximada de -2mm/año, aunque el valor de correlación es bajo.

### **Ontur:**

En Ontur llueven de media 298.4mm/año y la evapotranspiración alcanza los 1280.86mm. Ni precipitaciones ni evapotranspiración presentan una tendencia clara y estable, así que en ambos casos la consideraremos cero, por su escaso valor absoluto y su baja confianza.

### **Pozo Cañada:**

En la estación de Pozo Cañada se recoge una precipitación media anual de 359.60mm y una evapotranspiración media anual de 1233.21mm. Las precipitaciones aumentan a un ritmo de 7 litros por año, unos

115.5mm de más, para el periodo estudiado y con un número de correlación alto, pero sin olvidar unos años muy desiguales en precipitaciones. La evapotranspiración también aumenta, unos 4mm por año, como consecuencia de la mayor disponibilidad de agua.

### Tarazona:

En la estación de Tarazona se registra una precipitación media anual de 390,34mm y una evapotranspiración media de 1099.5mm. En ambas variables, hemos de considerar que hay una marcada irregularidad interanual, por lo que los datos tienden a tener una correlación baja. En el caso de las precipitaciones, disminuyen a razón de 5mm por año, unos 81.5mm para el periodo de estudio, mientras que la evapotranspiración también disminuye, unos 6mm por año, 97.8mm para dicho periodo.

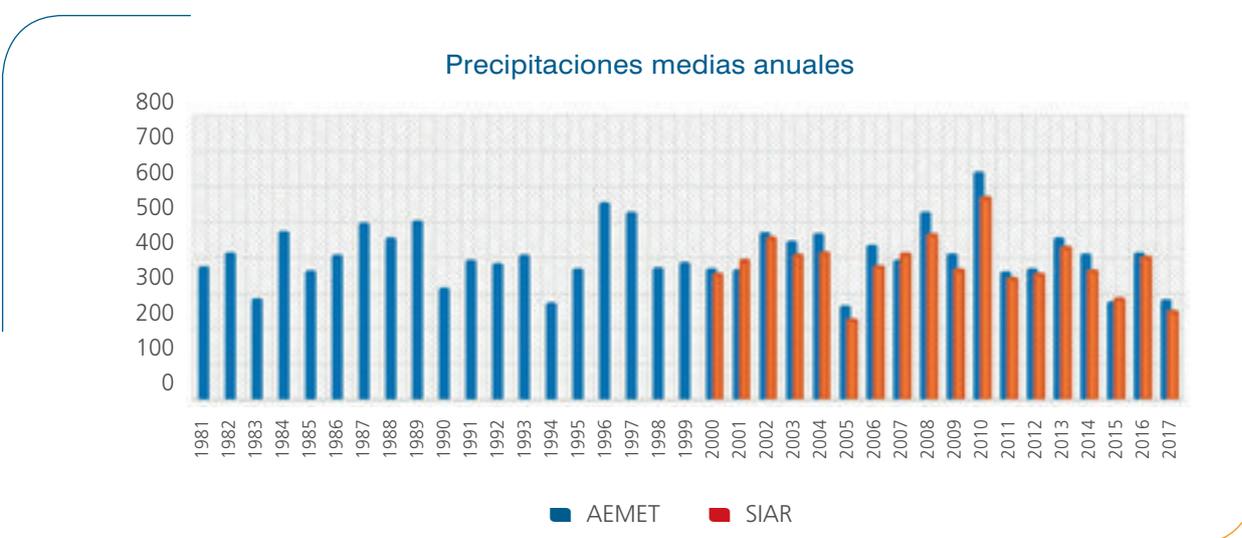
### Comparación AEMET – SIAR:

Aunque forman parte de redes de medición distintas y con diferentes estándares, es sumamente interesante comparar los datos de una y otra red, donde podemos ver que el comportamiento interanual tiene las mismas características, con una gran variabilidad lo que somete a la región a cambios muy bruscos de unos años a otros.

En este último gráfico, se incluye el año 2017 que resultó muy bajo en precipitaciones, y en comparación, tenemos el año 2010 como ya veíamos anteriormente, con el récord de lluvias. En este sentido, es importante remarcar que, aunque en ocasiones no se observen tendencias claras y uniformes debido a esta variabilidad, si se aprecia que los extremos se agudizan, cada vez en periodos más cortos. Años muy húmedos pueden ir seguidos de años muy secos donde además aumentan claramente las temperaturas, variable que si muestra una tendencia clara.

En este mismo sentido, si hacemos una comparación de ambas redes, podemos ver como el comportamiento interanual es idéntico, aunque la red SIAR tiende a marcar temperaturas más bajas que AEMET. En primer lugar hay que recordar que no se trata ni del mismo número de estaciones, ni la misma ubicación, y es especialmente este último factor el que podría estar detrás de esa diferencia. Las estaciones de AEMET están en ámbitos más urbanos y sin embargo las otras están en el campo.

Lo que no cabe la menor duda es de la tendencia que se refleja, incuestionando que la temperatura está aumentando y que mismamente el trienio 2015-2017 se trata del más cálido registrado en la región.

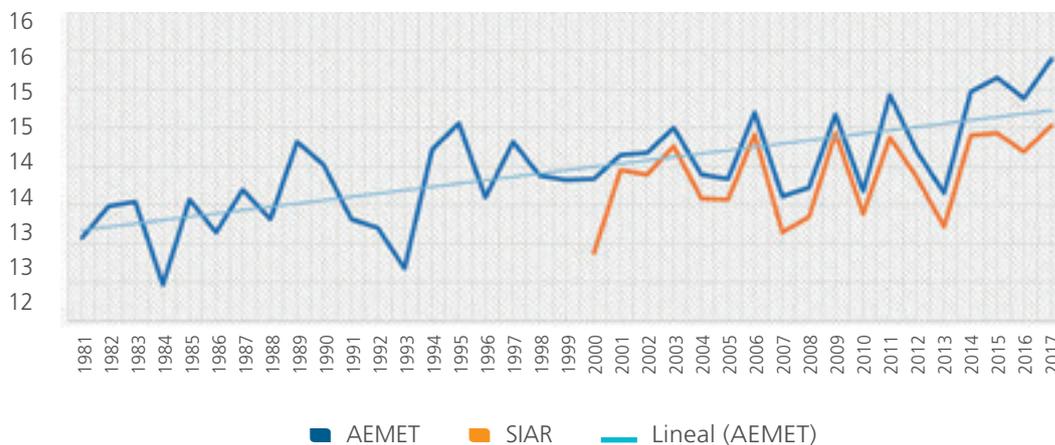


## II Informe sobre Cambio Climático en Castilla-La Mancha

Todos los datos han sido suministrados por la Oficina de Cambio Climático de Castilla-La Mancha, pertenecientes a las redes de observación meteorológica de AEMET y SIAR. Se quiere expresar un sincero agradecimiento a Alfonso Rodríguez Torres y Javier Santamarta Álvarez por su predisposición y rapidez para conseguir la información numérica y poder trabajar con ella. También a la Sede Central de Agencia Estatal de Meteorología con la que se ha mantenida una buena colaboración

Los datos han sido estudiados y analizados metódicamente para poder extraer de ellos la máxima información. Los de AEMET son series largas de datos homologados y, en el caso de SIAR, aunque no cumplen esa homologación ni una serie mínima de treinta años, son valiosos en sí mismo, porque aportan una información muy valiosa desde el punto de vista climático. En muchos casos los gráficos se muestran con tendencias lineales y no han sido más que tratados con las normas básicas estadísticas, para evitar hacer tratamientos numéricos que pudieran cambiar la realidad más exacta posible. Tanto en Climatología, como en otras disciplinas, los datos pueden torturarse hasta que dicen lo que se quiere que digan, por ello se ha querido evitar cualquier distorsión matemática y de cálculo y en muchas de las ilustraciones sólo puede verse de forma directa lo que han registrado las máquinas.

### Evolución temperaturas medias anuales



## Extremos meteorológicos: analizar el pasado para entender el presente

David López-Rey Lumbreras

*Licenciado en Física. Especialidad Física de la Atmósfera (UCM) / Investigador y consultor en meteorología / Meteorólogo y presentador de "El Tiempo" en Canal Extremadura.*

### Generalidades

El hecho de que Castilla-La Mancha se encuentre en el centro peninsular a una altitud moderada de unos 600 metros y casi rodeada de importantes cadenas montañosas que impiden la influencia marítima, hace que nuestra región tenga ciertos tintes de clima continental, con escasas precipitaciones y temperaturas frías en invierno y muy cálidas en verano.

Sin embargo, ese "casi" es debido a los cuatro principales valles fluviales: el del Tajo, del Guadiana, del Júcar y del Segura, los dos primeros orientados en dirección oeste y los dos restantes, en dirección este. Son por estos "pasillos" por donde procede la humedad desde el mar: del Atlántico y del Mediterráneo, respectivamente.

Detrás de las riadas y de las inundaciones más catastróficas de Castilla-La Mancha está la confluencia de masas de aire distintas. Por un lado, el aporte marítimo y por otro, la sequedad de la meseta sur.

### Inundaciones y riadas históricas

#### Fuentes de información meteorológica

En el ámbito de la climatología histórica, las principales fuentes de documentación son los existentes de la época. Archivos eclesiásticos, administrativos y judiciales atesoran una información que, aún todavía, permanece allí adormecida pendiente de que alguien la desvele.

Las crónicas de desastres prestan atención a las víctimas y los daños materiales, e incluso a de la dirección del viento, procedencia de las nubes, inicio y fin de la precipitación... etc. Estas aportaciones pueden llegar a permitir tener una idea más clara de la situación atmosférica que dio lugar a tal fatal desenlace. En los últimos años los centros de investigación realizan labores de "reanálisis", esto es, simular con modelos matemáticos la situación meteorológica del pasado cuando no se contaba con la gran cantidad de información actual. Esta es una herramienta que usaremos en el estudio de los episodios aquí expuestos.

### Orígenes de las inundaciones y de las riadas

Las inundaciones y las riadas más importantes se suelen producir por dos causas: o bien por desbordamientos de ríos o bien por rupturas de presa (o algún elemento arquitectónico que realiza las veces de ésta tales como tapias o paredes). Las primeras suelen darse en la época del invierno y de la primavera y están asociadas a la persistencia del paso de sistemas frontales, cargados de lluvias desde el Atlántico, que precipitan durante varios días en una determinada zona. La crecida de los ríos es, relativamente, suave y continua, y suelen darse en municipios enclavados en las vegas fluviales.

Las segundas, en cambio, se suelen producir en la segunda mitad del verano hasta finales del mes de septiembre. Muchas de ellas van ligadas a aguaceros tormentosos de gran intensidad y, ocasionalmente, de granizo. Es frecuente que esta violencia se dé con tiempo seco, calmado y caluroso en superficie y la entrada de aire frío en los niveles medios y altos de la atmósfera. La presencia de presas, de tapias, de paredes y de agujeros de puentes cegados hace que las aguas se acumulen allí hasta que llega un momento en el que revientan provocando una súbita crecida de ríos, arroyos y torrentes que instantes antes eran corrientes mansas de agua y todo ello con tal estrépito que es imposible alertarse de tal peligro.

## División comarcal de Castilla-La Mancha empleada en este estudio y situación meteorológica que dan origen las riadas

Como veremos más adelante, las inundaciones y las riadas que se dan en Castilla-La Mancha están íntimamente ligadas a una determinada situación meteorológica y a su disposición geográfica.

Así, de color azul están indicadas las principales áreas de montaña (Fig. 1). Los episodios de lluvias intensas están asociados a temporales del Atlántico, sobre todo. Sí que es cierto que hemos encontrado en las estribaciones del Sistema Ibérico inundaciones vinculadas a fuertes tormentas estivales.

Las comarcas de color verde son aquellas situadas en la parte más occidental de la Región. Al igual que en el caso anterior, los desbordamientos de ríos y de arroyos se suelen dar en la segunda mitad del otoño hasta finales del invierno. En esta época del año, se dan los escenarios de precipitaciones más intensas procedentes del oeste.

La influencia mediterránea queda reflejada en el sector rojo. Allí la vega del Júcar, que apenas ofrece obstáculos orográficos a los temporales mediterráneos propios del otoño, facilita que las copiosas precipitaciones aparezcan y, si son lo suficientemente intensas, las inundaciones.

Por último, la parte amarilla abarca buena parte del centro de la meseta sur. Los escenarios analizados están conectados con tormentas de verano principalmente; no obstante, se han dado casos de crecidas de ríos y de arroyos con temporales de lluvia del oeste.

### Inundaciones y riadas en el oeste de Castilla-La Mancha.

En este caso, las inundaciones y las riadas que se producen suelen dar en los meses de diciembre a febrero y están asociadas a una clara circulación zonal, paralela a los paralelos del planeta, y con el paso de sucesivos sistemas frontales procedentes del Atlántico. Una situación con varios días de duración con lluvia continua y más abundante en zonas de montaña. Las crecidas de los ríos no son súbitas, sino suaves. Veamos algunos ejemplos.

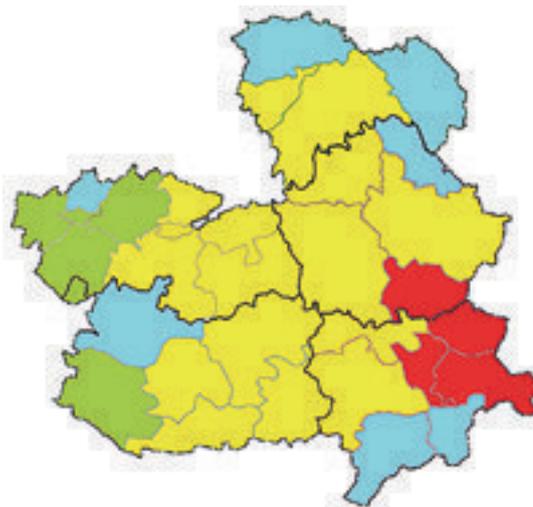


Fig 1.: División comarcal utilizada en el estudio. La coloración unifica las zonas con origen de riadas similar.

### ■ Finales de febrero y primeros de marzo de 1947

Marzo de 1947 era, hasta el mes de marzo de 2013, el más lluvioso en el cómputo nacional. El paso de varios centros de bajas presiones hizo que los observatorios de las capitales superaran en más del doble la cantidad total de precipitación media correspondiente al mes de marzo. Así, encontramos: 183mm en Cuenca (5,2 veces lo propio del mes) y 133 en Toledo (que casi lo sextuplica, 5,8 veces); 113 en Ciudad Real y sólo 64 en Albacete.

Estas precipitaciones ocasionaron el hundimiento de varias casas en Corral de Almaguer, el desbordamiento del río Cedena a su paso por Los Navalmorales y la inundación de barrios aledaños al Tajo en Talavera de la Reina (en Toledo, todos). En Ciudad Real merece destacar la inundación de 19km<sup>2</sup> de terreno entre Argamasilla de Alba y de Tomelloso.

### ■ Segunda mitad del mes de febrero de 1964

Al igual que ocurrió en marzo de 1947, el trasiego continuo de varios centros de bajas presiones de oeste a este peninsular, aportó notables cantidades de precipitación. En quince días Toledo acumuló 115mm y Ciudad Real, 120 lo que suponen un 4,6 y 4,0 veces más respecto a la media climatológica (periodo 1981-2010). Cuenca totalizó 123, Guadalajara, 114 y Albacete sólo 22. Hay constancia de municipios del oeste castellano-manchego con precipitaciones mensuales por encima de los 200mm como el caso de Calzada de Oropesa (Toledo) con 230.

Fueron numerosos los ríos y arroyos que se desbordaron en aquellos días. Basta resaltar la crónica que publicaba el diario toledano *"El Alcázar"* en su edición del 27 de febrero: *Las recientes, constantes y abundantes lluvias caídas durante estos días en toda la geografía española han tenido dentro de nuestra provincia su particular edición de un sinnúmero de daños que afectan a no pocas poblaciones. [...] Naturalmente, las zonas más afectadas han sido aquellas vegas [...] del Tajo, del Alberche, del Gévalo, del Riánsares, del Pusa, del Algodor o del Amarguillo [...]"*.

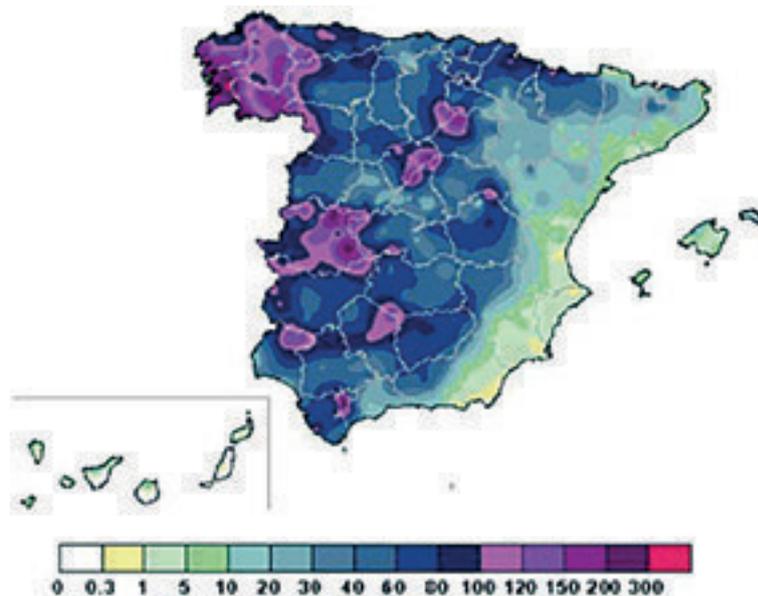
### ■ Mes de marzo de 2013

A día de hoy (octubre de 2017), el mes de marzo de 2013 desbancó al mes de marzo de 1947 como mes más húmedo desde que se tienen registros históricos. El balance nacional arroja 157mm, que es más del triple del periodo actual de referencia (1971-2000) con 46. Los tres decenios del mes fueron muy lluviosos, sobre todo el último que fue cuando se alcanzaron los máximos de precipitación (Fig. 2)

Centrándonos en la comunidad, destacan los datos de los observatorios de Ciudad Real, de Cuenca y de Toledo pues estos supusieron récords históricos para un mes de marzo (Tabla I)

Observatorio	Precipitación marzo 2013	Anomalía de precipitación	Récord anterior	Número días precipitación
Ciudad Real	157,8	540%	104,7	16
Cuenca	175,4	500%	154,9	17
Toledo	112,4	490%	99,3	16

Tabla I.: Datos de precipitación del mes de marzo de 2013



**Fig. 2.:** Mapa de precipitación total acumulada entre el 21 y 31 de marzo de 2013. En la parte más occidental de la provincia de Toledo, sur de los montes de Toledo y sur las sierras de Alcudia y de Madrona se llegaron a superar los 120mm y se intuye que en la sierra de San Vicente se sobrepasaran los 200. Fuente: AEMET.

Merecen mención los 55,8mm medidos en Fuencaliente (Ciudad Real) y los 45,5 en San Pablo de los Montes (Toledo) ambos el día 31.

Hubo numerosas inundaciones en La Mancha. El pantano de Vallehermoso tuvo que desembalsar con la consecuente crecida del Azuer (Daimiel, Manzanares y Membrilla fueron afectados, todos en Ciudad Real) y el Riánsares también creció de forma notable (Corral de Almaguer fue un claro ejemplo) y varios municipios de la sierra de Alcaraz quedaron aislados por carretera debido al desprendimientos de piedras, como fue el caso de varios emplazamientos cercanos a Yeste (Albacete).

### **Inundaciones y riadas en el centro de Castilla-La Mancha.**

El origen de la mayor parte de las riadas que ocurren en el centro de Castilla-La Mancha está asociado a una situación de tormentas en verano, esto es: un mínimo de presión relativo o un pantano barométrico en superficie que arrastra humedad mediterránea a través del corredor de Almansa. Mientras en altura hay dos escenarios posibles: un embolsamiento de aire frío sobre la vertical del suroeste peninsular o bien una vaguada bien definida asociada al paso de un sistema frontal; en cualquiera de los dos casos, inestabilidad.

Las crecidas de los ríos y de los arroyos, por tanto, se producen con rapidez. Son especialmente dramáticas las veces que el agua procedente de estas tormentas se acumula o bien en presas, o en puentes cegados por maleza y basura o en tapias, reventándolos. Así, la inundación de los municipios es instantánea y muy violenta, pillando a los vecinos desprevenidos y sin tiempo necesario para resguardarse y casi de reaccionar. Es este tipo de situaciones el que mayor número de víctimas produce.

■ Consuegra (Toledo), 11 de septiembre de 1891

Posiblemente se trate de la riada más importante que Castilla-La Mancha a juzgar por la enorme cantidad de víctimas. Afortunadamente, no ha caído en el olvido y los consaburenses aún la tienen presente más de 120 años después. No se tiene ningún tipo de información sobre la cantidad de precipitación caída en la zona, pero las crónicas mencionan que las tormentas de la noche fueron muy violentas (Domínguez, 1991).

Parece que el agua se acumuló en un puente romano, con los ojos cegados por maleza y basura, ubicado aguas arriba del río Amarguillo que atraviesa el municipio. El puente reventó y el Amarguillo se transformó en un río de 1500 metros de ancho y 6 metros de profundidad, segando la vida a 359 vecinos que se encontraban en sus viviendas durmiendo.

■ Villacañas (Toledo), 14 de septiembre de 1893

Desde el punto de vista meteorológico, la riada de Villacañas (Toledo) guarda una gran similitud con la anterior.

Las tormentas causaron estragos en toda la comarca de La Mancha. La peor parte se llevó Villacañas, con 43 víctimas por ahogamiento (García Montes, 1993). Éstas se encontraban resguardadas en unas viviendas subterráneas típicas de la zona, llamadas silos. Hubo desperfectos importantes y cosechas arrasadas en Escalona, Lillo, Mascaraque, La Puebla de Montalbán y Villanueva de Bogas (en Toledo, todos). Merece mención el pedrisco del tamaño de huevos de gallina caído en La Higuera (Ciudad Real).

■ Polán (Toledo), 30 de agosto de 1926

La inundación de esta localidad toledana tiene cierta singularidad: es la más reciente con número de víctimas y la más occidental de toda la región.

Los aguaceros provocaron multitud de desperfectos en la península. El caso más grave en la provincia de Toledo fue el de Polán (López-Rey, 2013), con 5 fallecidos por ahogamiento. Las aguas procedentes de la tormenta se acumularon en una huerta que estaba tapiada. Una vez que ésta se desplomó, el arroyo que cruza el pueblo se convirtió súbitamente en un río de 30 metros de ancho y 3 de profundidad, arrasando todo lo que encontraba a su paso, en particular estos vecinos.

Merecen mención el derrumbe parcial de la iglesia de Azucaica, el granizo acumulado de un metro en Noez y las cosechas arrasadas de Guadamur, todos en el entorno de Polán.

■ Valdepeñas (Ciudad Real), 1 de julio de 1979

Sin duda alguna, la riada de Valdepeñas de 1979 marcó un antes y un después en esta localidad. Desde entonces, se han efectuado planes de acondicionamiento para evitar este tipo de catástrofes. El aguacero duró cuatro horas y se desbordaron los cauces naturales de los arroyos La Veguilla y Jarosa. El diario "Lanza" aporta que la precipitación fue de 86mm y que el colector urbano llevaba un caudal de unos 150m<sup>3</sup>/s.

Como tantas veces, el mal estado de los cauces, los desperdicios de trabajos agrícolas, la suciedad acumulada, restos de materia vegetal y el barro hicieron un conglomerado letal que taponó los viejos puentes y se tragó literalmente a ciudad.

El peor saldo fueron las 22 personas ahogadas y las 30 heridas leves. Los daños económicos se tasaron en unos 18 millones de euros teniendo en cuenta las 472 viviendas dañadas, los 193 coches destruidos, las 15.000 hectáreas dañadas y las 2900 cabezas de ganado ahogadas. En algunas calles el agua alcanzó los 2,5 m de altura.

■ Yebra y Almoguera (Guadalajara), 10 de agosto de 1995

Con toda seguridad, este suceso ha sido el más importante de la provincia de Guadalajara los últimos años del siglo XX. Una tromba de agua acompañada de fuerte viento llegó a estas dos localidades alcarreñas. Murieron 10 personas ahogadas, 7 de ellas mientras se resguardaban de la lluvia en un viejo salón, cuya pared cedió por la presión del agua, 2 fueron en un turismo y la última en un camión que fue volcado por la corriente. Se estima una precipitación de 60mm.

### ■ Alcázar de San Juan (Ciudad Real), 23 de mayo de 2007

El episodio de tormentas que sucedió entre los días 20 al 25 estuvo asociado a la presencia de una vaguada en altura que avanzaba por el oeste y que, finalmente, se aisló.

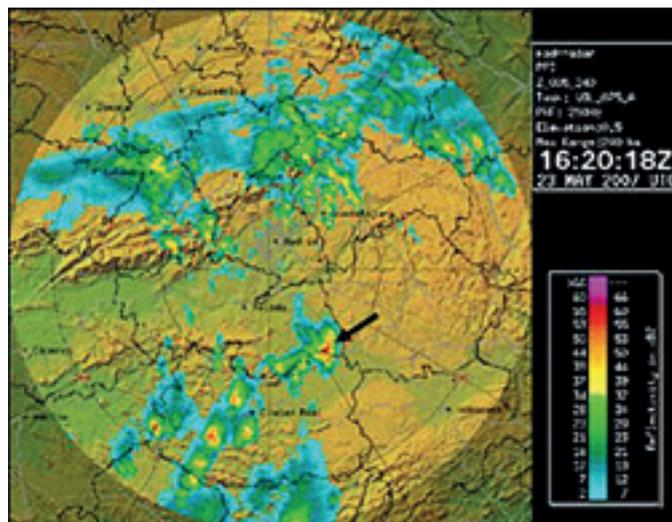
Las precipitaciones más intensas se dieron en el entorno de Alcázar de San Juan (Ciudad Real). Una tormenta estática (catalogada por la actual Agencia Estatal de Meteorología, como *supercélula convectiva*) descargó hasta 240mm en Alameda de Cervera (Ciudad Real), superando en más del doble la cantidad máxima esperada para un periodo de retorno de 500 años. Se acumularon más de un millón de metros cúbicos en las cercanías de las vías del tren, que actuó como barrera frente al paso del agua (Fig. 3)

El diluvio provocó el desalojo de 500 vecinos y entre 1500 y 2000 viviendas damnificadas. Hubo que esperar hasta 2010 para 150 familias fuesen realojadas.

No nos olvidemos los daños del día anterior en Villarrubia de los Ojos (Ciudad Real, también) con grandes inundaciones debido a la gran cantidad de agua procedente de una ladera cercana al municipio, derrumbando paredes y arrastrando piedras. El granizo fue retirado en 22 remolques llenos a rebosar y fueron más de 60.000 hectáreas de cultivo las que arrasó la riada perjudicando a unos 600 agricultores.

### ■ Cuenca, 13 de agosto de 2010

Una fuerte tormenta se estancó sobre el cielo de la capital conquense. El aguacero, acompañado de pedrisco de hasta 3cm de diámetro, dejó una precipitación total de 70mm, con una intensidad máxima de 133,2l/m<sup>2</sup>·h. Las zonas más afectadas de la ciudad fueron el barrio Obispo Laplana, el de la Plaza de Toros y el de Villa Román así como la calle Hermanos Becerril. La inundación alcanzó una altura de casi un metro de altura.



**Fig. 3:** Imagen del radar del Instituto Nacional de Meteorología (actual Agencia Estatal de Meteorología) correspondiente al 23 de mayo de 2007 a las 18:20 hora local. En él se aprecia la presencia de la supercélula que descargó en las inmediaciones de Alcázar de San Juan (Ciudad Real) esa misma tarde.

### Inundaciones y riadas en el este de Castilla-La Mancha.

Algunas de ellas están propiciadas por la presencia tormentas estivales con el habitual pantano barométrico en superficie o una borrasca ubicada en el mar de Alborán y el paso de una vaguada en niveles altos que propicia la inestabilidad. También entra en juego la influencia la llegada de vientos mediterráneos, cargados de humedad. Estos dos escenarios son los más habituales para que se den inundaciones en esta zona. Rara vez los temporales del oeste dejan lluvias significativas.

#### ■ Motilla del Palancar (Cuenca), 21 de septiembre de 1921

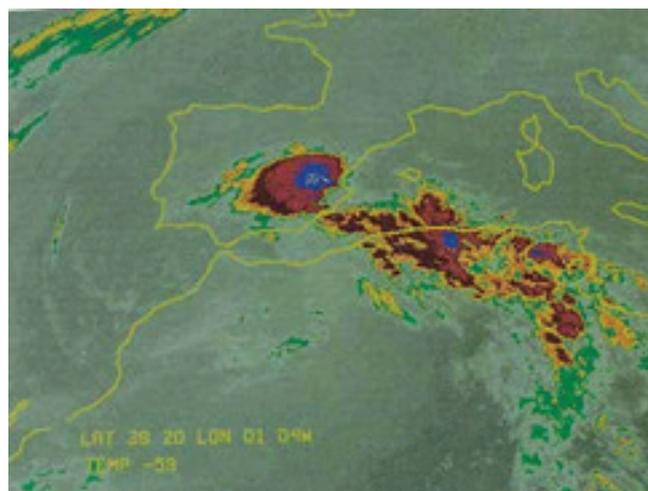
Este municipio conquense se ubica entre los dos cursos de agua: los ríos Valdemembra y Riato. Esta circunstancia hace que esta localidad sea propensa a sufrir episodios de inundaciones (Martínez Escribano, 2013). De ellos, destaca el acaecido en 1921.

La tormenta hizo que el Valdemembra creciese violentamente hasta una altura de 2 metros, causando la muerte a 12 vecinos. El aspecto debió ser desolador. Fueron 276 las casas hundidas y los daños se tasaron en 700.000 pesetas.

#### ■ Almansa (Albacete), 4 de septiembre de 1955

El aguacero descargó a primeras horas de la tarde. Se registraron 52mm en tan sólo 45 minutos. La Rambla Nueva (el típico desagüe natural que está seco buena parte del año) creció de forma inmediata. Los árboles y la maleza arrastrados por el agua y que taponaron los ojos del Puente de Hierro, impidiendo el paso natural de la corriente. Otra presa fue la pared de la fábrica de *Altomar* (hoy, de *Michel*). Una vez que ésta cedió, el agua se estrelló contra las viviendas. Fallecieron 8 personas, todas ellas en sus casas en plena siesta. En las partes más bajas de la ciudad el agua alcanzó un nivel de varios metros. Los daños se tasaron en unos 120.000 de euros.

Merecen mención, además, los episodios del 11 y 12 de noviembre de 1984 y del 10 de noviembre de 1994, ligados los dos a situación de lluvias torrenciales en el Mediterráneo. No nos olvidemos de la tormenta del 14 de junio de 2004 que dejó hasta 73mm, 60 de ellos en tan sólo una hora.



**Fig. 4.:** Imagen infrarroja procedente del satélite Meteosat con realce de color correspondiente al 20 de octubre de 1982 a las 10 horas, después de una madrugada en el que la estructura alcanzó su mayor madurez. En ella se puede observar colores blancos que corresponde a las cimas de las nubes de unos  $-60^{\circ}\text{C}$ . Fuente: Instituto Nacional de Meteorología.

### ■ Alcalá del Júcar (Albacete), 20 de octubre de 1982

La zona de la Manchuela Conquense, junto con el Campo de Almansa, es una de las comarcas de nuestra comunidad con mayor influencia mediterránea. Tanto es así que es muy fácil que con temporales de lluvia en la Comunidad Valenciana, esta zona albaceteña se vea involucrada. Las vegas del Júcar y del Cabriel, orientadas en dirección este y con montes de escasa altitud (que ni llegan a los 800m), son un pasillo óptimo a los vientos marítimos.

Son varios los ejemplos de inundaciones en este sector asociados a los intensos aguaceros que suelen darse en el Mediterráneo en la época el otoño, sobre todo. De ellos, merece mención el de octubre de 1982 (Fig. 4) con el desastroso episodio de la ruptura de la presa de Tous (Valencia). Una de las localidades castellano-manchegas más afectadas fue Alcalá del Júcar.

Las crecidas de las cañada, en especial la del Domingullo, provocaron un gran desastre. Tanto que el agua alcanzó hasta los 12m, según testimonios orales, y se llevó por delante varias viviendas, afectando entre 20 y 25 familias. Se estima que la lluvia caída rondó los 250mm (Arenillas et al., 1993) mientras que en Albacete fueron los 92. El caudal máximo del río llegó a los 2125m<sup>3</sup>/s (CEDEX, 2011)

### Inundaciones y riadas en zonas de montaña de Castilla-La Mancha.

#### ■ Sigüenza y Brihuega (Guadalajara, todas), 5 de septiembre de 1877

Las tormentas que afectaron al Sistema Ibérico, siendo localmente fuertes las que descargaron en la serranía de Guadalajara. Según informaba vía telegráfica el Gobernador de Guadalajara: *“Los destrozos causados desde Sigüenza son incalculables”*. Se interrumpió el tráfico ferroviario entre Madrid y Zaragoza.

Aunque parece que Brihuega se llevó la peor parte: *“En este pueblo ha habido una inundación de mayores y más tristes consecuencias que la que ha sufrido Guadalajara. Se han hundido varios municipios, otros muchos están a punto de derrumbarse, y entre sus habitantes reina una gran consternación”* [...] *“Se halla desplomada la mejor parte del pueblo, amenazando ruina los edificios restantes. Desaparecieron manzanas enteras de casas, incluso el convento y la iglesia de monjas Bernardas”*.

El Gobierno de la provincia de Guadalajara aportó 1500 pesetas procedente del fondo de Calamidades y el Arquitecto Provincial visitó Sigüenza para evaluar los daños en el Cementerio y demás obras de fábrica.

También en Ciudad Real hubo *“varios barrios inundados por completo y más de cincuenta casas amenazaban con venirse al suelo”* Cien familias se quedaron sin hogar por lo que se mandó abrir las iglesias para darles cobijo, además de varios edificios públicos.

## Posibles tendencias en la precipitación

### Récords cada vez más frecuentes

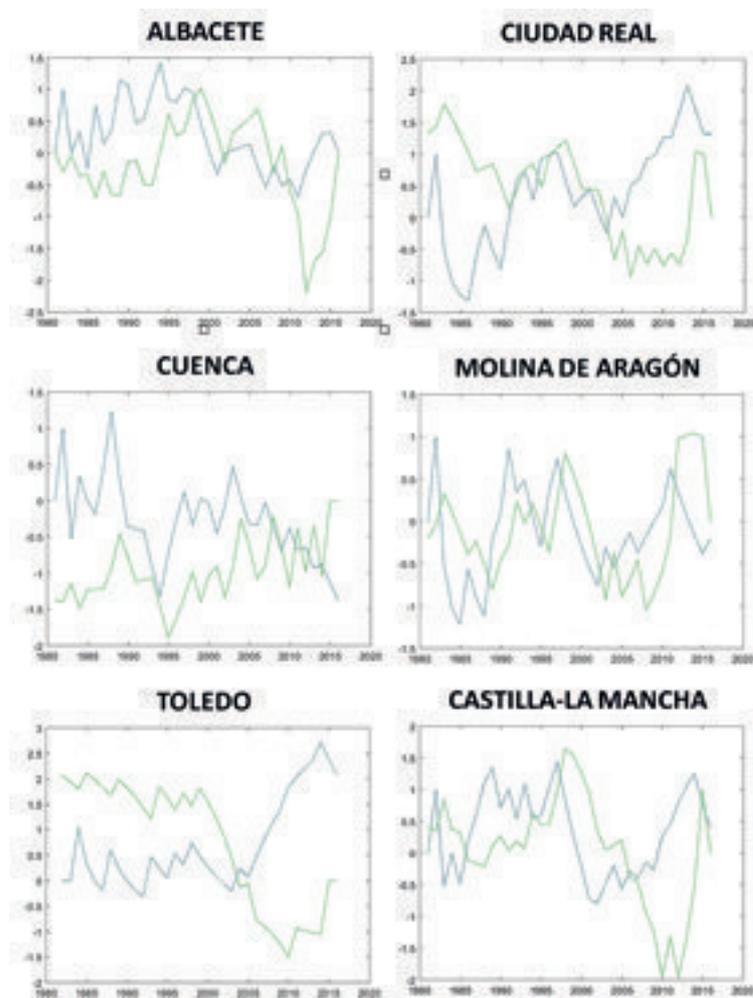
Es relativamente frecuente oír en la calle y en los medios de comunicación que, ante una situación de precipitaciones intensas, comentarios del tipo: *“nunca antes se había conocido nada igual”* o similar. Y uno echa mano de archivos y se puede llevar la sorpresa de cuán infundada estaba esa idea. Sin embargo, sí que en los últimos años la sensación de que cada vez se está extremando el clima es cada vez más patente. Algo, por otra parte, contemplan los escenarios de Cambio Climático reflejados en este trabajo.

En este aspecto, hemos tomado la precipitación máxima acumulada en 24h de cada mes en cada uno de los observatorios de capitales de provincia en el periodo enero de 1980 a julio de 2017, en total 439 meses. Se ha visto que en el periodo 2010-17 ha habido 14 ocasiones (a falta de dos años y medio más) en que se han batido marcas históricas mensuales; 12 veces ocurrió en la década 1990-99, 11 en el tramo 1980-89 y sólo 5 en el 2000-09.

Además, por observatorios, el caso de Ciudad Real sobresale con descaro. Entre 2010 y 2017 se han batido 4 récords de precipitación máximas en 24 horas para un mes determinado. No muy lejos, encontramos en las series de Toledo y de Guadalajara con 3 superaciones. Y todo ello, volviendo a insistir, en un periodo menor que los anteriores, a falta de 30 meses. ¿Quedarán obsoletas estas cifras entonces?

### Cambios en la precipitación

La precipitación, como cualquier variable climatológica, está sujeta a variaciones temporales. El test de Mann es una buena herramienta para establecer si hay algún tipo de tendencia o si esos cambios son puramente aleatorios. Esta prueba es un test no paramétrico (Kendall, 1977), lo cual permite un análisis progresivo de la serie así como de su retrógrada. En ausencia de tendencia ambas gráficas se entrecruzan; mientras que en el caso de una tendencia significativa la intersección de ambas curvas permite situar aproximadamente el comienzo del fenómeno. Este algoritmo ya fue utilizado



**Fig. 5.:** Resultados de aplicar el test de Mann a las series de número de días con precipitación superior a 30mm para cada una de las estaciones en el periodo 1980-2016. La serie azul es la directa y la verde, la inversa. El punto de corte entre ambas indica el momento del cambio en el comportamiento.

para caracterizar la precipitación en diversas comarcas de la provincia de Toledo (López-Rey D., Yagüe C. y Zurita, E. 2007).

En este apartado hemos recopilado el número de días en que se ha registrado una precipitación superior a los 30mm en 24 horas para cada uno de observatorios. Albacete y Ciudad Real son las estaciones en las que más sucesos de este tipo tienen (39 y 38, respectivamente) y el que menos es, posiblemente, Toledo con 18 puesto que la serie de Guadalajara está incompleta (a falta de 7 años) y acumula 13.

Pues bien, sólo en el caso de Toledo se aprecia una tendencia positiva. Esto quiere decir que parece que los días con precipitación superior a 30mm van en aumento desde 2005, momento en que se cruzan las líneas del test de Mann. En el resto no hay un comportamiento significativo.

### Las sequías en Castilla-La Mancha

Se trata de un fenómeno endémico, propio de la península. Decía el meteorólogo García de Pedraza que "sequías las hubo, las hay y las habrá". De ello estoy seguro. Y no hay que echar mucho la vista atrás: 2009-2010, 2003-2005, 1991-1996, 1980-1985... y la actual iniciada en verano de 2016.

A diferencia de los episodios de lluvias antes expuestos, es difícil establecer el inicio de una sequía. Uno de los criterios empleados es establecer su comienzo en el primer trimestre con precipitación un tercio menor la media. A mi juicio, es aceptable.

#### Evolución de la actual sequía (2016 - hoy).

El inicio de la escasez de precipitaciones de estos últimos meses se puede situar en el verano de 2016. Tras unos meses de abril y de mayo con lluvias dentro de los márgenes de lo habitual en el conjunto autonómico (Guadalajara y Toledo doblaron los totales de abril y Ciudad Real, los de mayo) es en el cuatrimestre de junio a septiembre cuando las precipitaciones son claramente inferiores a los valores estadísticos, con una anomalía del 8%. Las habituales tormentas del mes de agosto no dejan más de 3mm en Albacete como valor más elevado. Septiembre tampoco fue nada halagüeño: las lluvias se quedaron en torno al 40% en las capitales

Octubre y noviembre son un paréntesis cuyos totales mitigan en parte la sequedad. Ciudad Real y Toledo doblaron los totales de precipitación. El invierno climatológico se caracterizó, de nuevo, por la poca lluvia. En enero acumuló la mitad de lo habitual: en Cuenca y en Toledo no se llegó ni a la cuarta parte, aunque Albacete alcanzó un superávit del 30%. Febrero y marzo de 2017 entraron dentro de los márgenes de la media climatológica, aunque en Toledo llovió un 30% menos, mientras que en Albacete lo hizo un 80% más.

Las precipitaciones de abril se quedaron en menos de la mitad de lo habitual, alrededor del 45%. Lo mismo que mayo que rondó el 56% del acumulado de precipitación. Junio aún se quedó corto.

Julio y agosto fueron, cuanto menos, raros. La presencia de fuertes aguaceros tormentosos hizo que estos dos meses que fueran muy húmedos o extremadamente húmedos en algunas zonas. En el caso de Cuenca se superaron los 100l/m<sup>2</sup> en agosto, récord en su serie histórica.

Sin embargo, en septiembre apenas llovió en Castilla-La Mancha. Sólo se recogieron un 4% de la lluvia habitual. En particular: Ciudad Real, Guadalajara y Toledo no recogieron ni una sola gota. Y el otoño fue mucho más distinto. El dominio del anticiclón quedaba patente. El acercamiento del huracán Ophelia por costas del oeste favoreció la entrada de sistemas frontales. Pero fue poco: octubre no llegó ni a la mitad (la anomalía fue del 40%). En Ciudad Real se acumularon 9l/m<sup>2</sup> en todo el mes. Noviembre, último mes del otoño climatológico, tuvo una anomalía similar por lo que el carácter fue de seco o muy seco. Toledo, que recogió 35mm, fue la que más se aproximó a sus valores estadísticos normales.

## Superación de temperaturas máximas

En los últimos años estamos asistiendo a una superación continua de superación de marcas históricas en los registros de temperatura máxima, en especial en el lustro 2011-2015. En este periodo, el 17,55% de la red de observatorios y estaciones meteorológico han superado efemérides en sus valores máximos (Ballesteros, 2016). Un comportamiento no sólo en nuestro país, sino también a nivel mundial (AEMET, 2016). Y muchas de esas marcas se engloban dentro del concepto de "ola de calor".

Según AEMET, *"Se considera 'Ola de calor' un episodio de al menos tres días consecutivos, en que como mínimo el 10% de las estaciones consideradas registran máximas por encima del percentil del 95% de su serie de temperaturas máximas diarias de los meses de julio y agosto del periodo 1971-2000"*. (AEMET, 2017)

Así, sobresale el año 2017 por ser en el que se han registrados más "olas de calor" en nuestro país, 5 concretamente repartidas en 25 días en total; seguido de 1991 y 2016, con 4 en 23 y 15 días de duración. Esta última, la de 2016, es, además, la más larga en los años considerados. Sin embargo, esta definición deja de lado otros interesantes episodios de altas temperaturas en otras épocas del año. Aquí consideraremos algunos de ellos.

En este siglo XXI, merecen mención estas situaciones de altas temperaturas

### ■ Finales de abril de 2005

No está recogida en el estudio de olas de calor de AEMET debido a que su ocurrencia está fuera del periodo considerado. La entrada de una masa de aire cálido (con valores de hasta +15°C en el nivel de 850hPa) el día 29 dejó temperaturas máximas de 31,6°C tanto en Ciudad como en Toledo, 30,9 en Guadalajara y 29,0 en Cuenca, lo cual constituyen valores máximos absolutos correspondientes al mes de abril.

### ■ Medios de mayo de 2015

Al igual que en el caso anterior, no cumple el requisito de ubicación del evento por parte de AEMET. Sin embargo, aquí no lo pasamos por alto. El día 13 de ese mes de miden en Ciudad Real 38,6°C y en Toledo 37,7°C. Albacete llegó hasta los 36,7°C y Cuenca a los 35,1°C.

### ■ Finales de junio a mediados de julio de 2015

Según el estudio de AEMET se prolongó desde el 27 de junio hasta el 26 de julio, lo que supone una duración de 26 días. Afectó a 30 provincias. Es la de mayor duración desde 1975. Ya el día 29 de junio se batieron los récords correspondientes a ese mes en Ciudad Real (40,8°C), Guadalajara (40,4°C) y Toledo (42,0°C) debido a una clara entrada de aire cálido norteafricano con valores de hasta +28°C a 850hPa. El día 30 se midieron 40,9°C en Alcázar de San Juan (Ciudad Real), 40,7°C en Villarrobledo (Albacete) y 40,6°C Ossa de la Vega (Cuenca). En las jornadas siguientes el calor remitió ligeramente hasta el día 4. El día 6 volvió a darse otro máximo de intensidad. En Toledo se midieron 42,8°C esa tarde.

### ■ Medios de julio de 2017

Duró del 12 al 16 de julio, según el estudio de AEMET, es decir, 5 días. Su extensión alcanzó a 14 provincias. Breve, pero intensa. El día 13 hubo 11 capitales de provincia que pasaron de los 40°C, de las cuales, 3 se colaron de los 45°C. Ese día se midieron los polémicos 47,3°C en Montoro (Córdoba). Aquí en nuestra comunidad Ciudad Real tocó los 43,7°C y Toledo los 42,8°C. Registros, sin duda, excepcionales pero que, en el caso de Ciudad Real, no llegaron a los medidos en julio de 1995 (43,4°C).

### ■ Medios de agosto de 2012

Se prolongó 4 días, del 8 al 11 de agosto, según datos de AEMET y fueron 40 provincias las que padecieron los rigores de las altas temperaturas. Se trata de la ola de calor de mayor extensión en nuestro país desde

1975. El día 10 se dio la mayor intensidad de la entrada de aire cálido. En Sevilla Aeropuerto se rozaron los 46°C. Las temperaturas llegaron hasta los +30°C en un nivel de 850hPa.

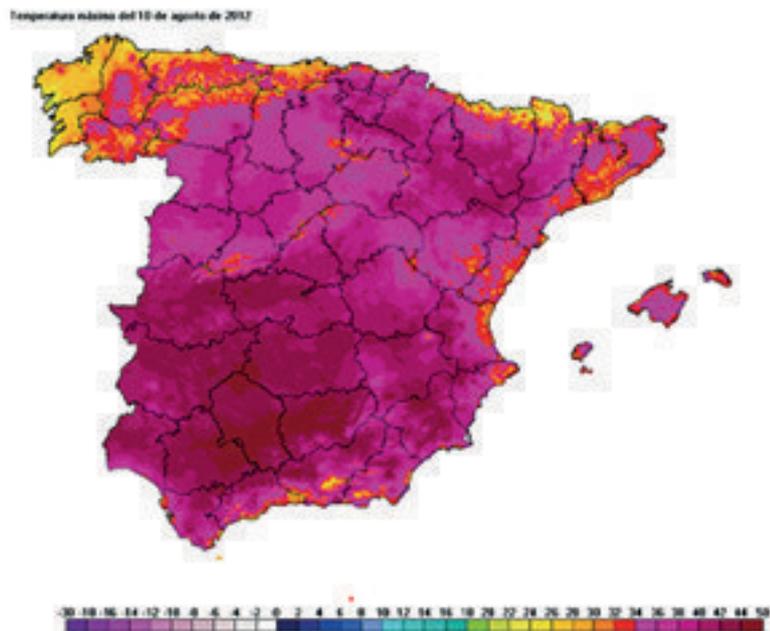
Exceptuando el caso de Ciudad Real, en el resto de las capitales castellano-manchegas el 10 de agosto de 2012 es el día en el que los termómetros alcanzaron los valores más altos (Fig. 5). Hasta 43,5°C en Guadalajara, 43,1°C en Toledo, 41,5°C en Albacete y 39,7 en Cuenca (todos ellos máximos históricos) son fiel reflejo de la situación de aquella jornada.

### ■ Primeros de septiembre de 2016

Del 3 al 7 de septiembre, 5 en días en total, abarcando a un total de 29 provincias. Por darse ya en el noveno mes del año, queda fuera de la consideración del estudio de AEMET. Sin embargo, merece recordarla por los 41,3°C que dejó en Toledo el día 6, sin olvidarnos de los 39,7°C en Ciudad Real el día 7, los 39,2°C de Guadalajara, los 39,0 de Albacete y los 38,2 de Cuenca (el día 6, los tres).

## Alargamiento del verano

Hay estudios estadísticos que muestran que los veranos poco a poco se van alargando (Ballesteros, 2017). Parece que esta tendencia es más acusada en zonas de montaña, como refleja el caso de Molina de Aragón (Guadalajara) con una ampliación de 9,87días/década; aunque el cómputo autonómico ronda 7días/década. Desde 2010, Albacete, Ciudad Real, Cuenca y Toledo han tenido sus veranos más largos con 128, 137, 127 y 120 días, respectivamente.



**Fig. 6.:** Temperaturas máximas registradas el 10 de agosto de 2012, el día más caluroso en la península desde que se tienen registros. La temperatura media nacional se situó en 25,4°C que superó en 2,0°C al valor normal. Esto hizo que este mes de agosto fuese el más caluroso desde 1961, por detrás del de 2003. Fuente: AEMET.

## Bibliografía

- AEMET (2016). [http://www.AEMET.es/es/noticias/2017/03/Clima\\_2016\\_records](http://www.AEMET.es/es/noticias/2017/03/Clima_2016_records)
- AEMET (2017). [http://www.AEMET.es/documentos/es/conocerlas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/estudios/Olas\\_Calor\\_ActualizacionOctubre2017.pdf](http://www.AEMET.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/Olas_Calor_ActualizacionOctubre2017.pdf)
- BALLESTEROS (2016). "Estudio de la variación de la frecuencia de ocurrencia de efemérides de temperatura en España"  
<https://AEMETblog.es/2016/05/31/estudio-de-la-variacion-de-la-frecuencia-de-ocurrencia-de-efemerides-de-temperatura-en-espana/>
- ARENILLAS ET AL. (1993). Nuevos datos sobre la crecida del Júcar de octubre de 1982. Revista de Obras Públicas, número 3323. Año 140. Julio-Agosto 1993
- BALLESTEROS (2017). <http://climaenmapas.blogspot.com.es/p/durverano.html>
- CEDEX (2011). Mapa de caudales máximos. Nota técnica. Ministerio de Fomento. Madrid, junio de 2011.
- DOMÍNGUEZ TENDERO, F. (1991). Memoria-Centenario. Crónica de los sucesos y circunstancias acaecidas en Consuegra (Toledo) con motivo de la inundación del Río Amarguillo, el día 11 de septiembre de 1891. Edita Francisco Domínguez Tendero.
- GARCÍA MONTES, L. (1993). La inundación de Villacañas. 1893-1993. Centenario de una catástrofe. Ilmo. Ayuntamiento de Villacañas.
- KENDALL, MG (1977). The advanced theory of statistics. Griffin, London.
- LOPEZ-REY LUMBRERAS, D., YAGÜE ANGUÍS, C. Y ZURITA GARCÍA, E. (2007). Riadas e inundaciones en la provincia de Toledo: Análisis meteorológico e impacto social. Trabajo Académicamente Dirigido para la Licenciatura en Física. Universidad Complutense de Madrid.
- LÓPEZ-REY LUMBRERAS, D. (2013). La riada. Polán, 30 de agosto de 1926. Ledoira.
- MARTÍNEZ ESCRIBANO, A. (2013). Análisis del riesgo de inundación en Motilla del Palancar (Cuenca, España). Investigaciones Geográficas. Instituto Interuniversitario de Geografía. Universidad de Alicante. Número 59.

*mundo*  
*desertificación* *Castil* *cam* **Impacto** *calent* *efecto*  
*temperatura* *clima* *nubosidad*  
*deshielo* *futuro* *forestal*  
*informe preliminar*



## Los escenarios previstos en Castilla-La Mancha

Enrique Sánchez Sánchez

Universidad de Castilla-La Mancha

Grupo de investigación: MOMAC: <http://www.uclm.es/grupos/momac>

Avda Carlos III s/n, 45071, Toledo

### Introducción. Progreso desde el primer informe regional en 2007

En el primer informe regional sobre cambio climático (Castro, 2007), que se basó en los resultados de escenarios regionales disponibles en ese momento (descritos en el proyecto PRUDENCE: *Christensen et al.*, 2007; *Jacob et al.*, 2007), se planteaban, en función de los escenarios más plausibles de incremento de gases de efecto invernadero (A2, más elevado, B2, más suavizado) las proyecciones de cambio de temperaturas y precipitación sobre la región, además del análisis de otras magnitudes (viento, humedad, nubosidad), así como los cambios en eventos extremos, como las olas de calor o precipitaciones intensas. De manera resumida, mostraba cómo el calentamiento es claro para todo el siglo XXI, crece a lo largo del siglo, es mayor en verano que en invierno, y es mayor para las temperaturas máximas que para las mínimas. En el escenario de más incremento de gases de efecto invernadero, se alcanzan incrementos para la región de hasta 7°C en verano para la región para final del siglo. En cuanto a la precipitación, con un acuerdo no tan robusto en todas las simulaciones realizadas, pero sí con un consenso bastante elevado, los valores estacionales, en porcentaje, indicaban un descenso de las precipitaciones, ligero, en torno al 10% anual, pero que sucedería en todas las estaciones, y que podría ser mayor conforme avanza el siglo y si se consideran escenarios de emisiones más elevados. Los eventos extremos mostrarían una incertidumbre más elevada, sobre todo para la precipitación extrema, mientras que las temperaturas elevadas (por encima del percentil 95, asociable a las conocidas como olas de calor) presentaría un alargamiento importante en verano.

El más reciente informe del Panel Intergubernamental para el Cambio climático (IPCC, 2013) concluye que el calentamiento del sistema climático es inequívoco, que los últimos 30 años en el hemisferio norte son, posiblemente, los más cálidos de los últimos 1400 años, que el forzamiento radiativo neto es positivo, causado por el incremento de gases de efecto invernadero, y en particular, del CO<sub>2</sub>, desde 1750, y que es causado por la influencia humana. La herramienta esencial para estudiar las proyecciones futuras del clima son los modelos climáticos, los cuales han mejorado desde el anterior informe (2007), siendo capaces de reproducir los patrones de temperatura en superficie para múltiples décadas, incluyendo los efectos acelerados del calentamiento desde mediados del siglo XX, incluyendo el enfriamiento asociado a erupciones volcánicas, con una alta fiabilidad, lo que lleva a concluir que la influencia humana es la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX. Dependiendo del escenario de emisiones analizado (los conocidos como RCP (Representative Concentration Pathways), que representan unos escenarios de emisiones asociados a un incremento en el forzamiento radiativo, cuyo valor, en W/m<sup>2</sup> es el número asociado al acrónimo RCP), el calentamiento para final del siglo XXI, en la mayoría de ellos (a partir del RCP4.5) es probable que exceda los 2°C respecto a los valores de principios del siglo XX.

Este informe, al estar basado en buena medida en resultados obtenidos por modelos globales de clima, no muestra resultados en escalas demasiado regionales, llegando a tamaños continentales, o de grandes regiones en todo caso. En zonas relacionadas con nuestra región, este informe (*Christensen et al.*, 2013) indica que la Península Ibérica (la región mediterránea en general) se verá severamente afectada por importantes incrementos de temperatura y reducción de precipitación, especialmente en verano, junto con una alta probabilidad de olas de calor más frecuentes. Por ello, para poder actualizar o analizar los resultados obtenidos para las proyecciones a escala regional, es imprescindible emplear resultados de simulaciones de modelos conocidos como modelos regionales de clima (RCMs). Desde el proyecto PRUDENCE,

antes mencionado, se han llevado a cabo otras iniciativas, que nos permiten avanzar o actualizar en el conocimiento de las proyecciones a escala regional en Europa, y en España en particular. Los proyectos más relevantes en los que se basan los principales estudios a nivel regional en estos años son ENSEMBLES (*Van der Linden y Mitchell, 2009*), ESCENA (*Jiménez-Guerrero et al., 2013*), éste centrado sobre la Península Ibérica y más recientemente, la iniciativa internacional CORDEX. CORDEX (*Gutowski et al., 2016*) es un elemento esencial del cual se puede obtener información detallada en las escalas espaciales de interés para nuestra región. En particular, esta iniciativa plantea diversos subdominios regionales sobre el planeta, de los cuales, los conocidos como EuroCORDEX y MedCORDEX son los que resultan de interés para este informe, y del cual se están llevando a cabo estudios regularmente, y sobre los que se prevé seguir analizando diferentes aspectos de las proyecciones climáticas en los próximos años, pues se trata de proyectos activos. En todos ellos ha podido contar con la mejora en los modelos regionales, más disponibilidad de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, y, en los años más recientes relacionado con CORDEX, las simulaciones ya no con los escenarios SRES (los conocidos con los acrónimos A2, A1B, B2, etc.), sino con los RCP que son los que se han empleado en el último informe del IPCC.

### Principales resultados de las proyecciones regionales

El Comité CLIVAR España ha publicado en otoño de 2017, a través de CLIVAR Exchanges Newsletters (*Sánchez et al., 2017*), un número especial donde se recopilan y coordinan los principales trabajos sobre clima y variabilidad climática en el entorno de la Península Ibérica, desde el paleoclima hasta los escenarios de clima futuro, tanto atmosféricos como oceánicos. En el capítulo dedicado a las proyecciones atmosféricas regionales sobre la Península Ibérica (*Fernández et al., 2017*) se describen de manera conjunta los principales resultados de las proyecciones regionales obtenidas en los proyectos mencionados anteriormente, para valores estacionales de temperatura y precipitación, promediadas para toda la Península Ibérica, para el periodo 2021-2050, incluyendo varios escenarios RCP, también técnicas de regionalización estadística. Para una mayor precisión en esos resultados y sus incertidumbres, se indican diferentes percentiles (del 5 al 95) de dichos conjuntos de simulaciones. El resultado para la precipitación indica una tendencia general hacia un descenso de precipitación para todas las estaciones, aunque en verano es aquella en la que con más claridad todo el rango de variación está en la parte de descenso, con valores de hasta el 30%. En otoño se pueden alcanzar descensos del 20%, y parecidos en primavera. Invierno parece ser la estación con menor disminución de precipitaciones, en torno al 10% en media, o incluso inferior. En relación con la temperatura. Respecto a la temperatura media diaria, los mayores incrementos estacionales, de hasta 3°C respecto a 1971-2000, se proyectan para verano y otoño (algo menos, en torno a 2.5°C), y no menos de 1-1,5°C en las estimaciones para invierno y primavera. Si se comparan con los resultados de los modelos globales, usados en los informes de IPCC, los modelos regionales aquí empleados, tienden a dar estimaciones menos cálidas.

Estos resultados pueden verse, de manera más detallada, en el trabajo de *Fernández et al. (2018)*, también en promedios estacionales para toda la Península Ibérica, donde se muestra el resultado de casi 200 proyecciones climáticas futuras para el periodo 2020-2050. Al tratarse de escenarios de futuro cercano, el efecto de diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero no da lugar a diferencias importantes. Los resultados provenientes de los diferentes proyectos (ENSEMBLES, ESCENA, EuroCORDEX) muestran resultados similares para estas proyecciones, cuyos principales resultados estacionales para los valores medios se han indicado en el párrafo anterior.

El clima está cambiando como consecuencia de las actividades humanas, singularmente por las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la utilización de combustibles fósiles y a la deforestación. En este apartado se incluye información tanto numérica como gráfica relativa a las proyecciones de cambio climático para el siglo XXI regionalizadas sobre España y correspondientes a diferentes escenarios de emisión de utilidad para ser empleada, en el marco del (PNACC), en trabajos de evaluación de impactos y vulnerabilidad.

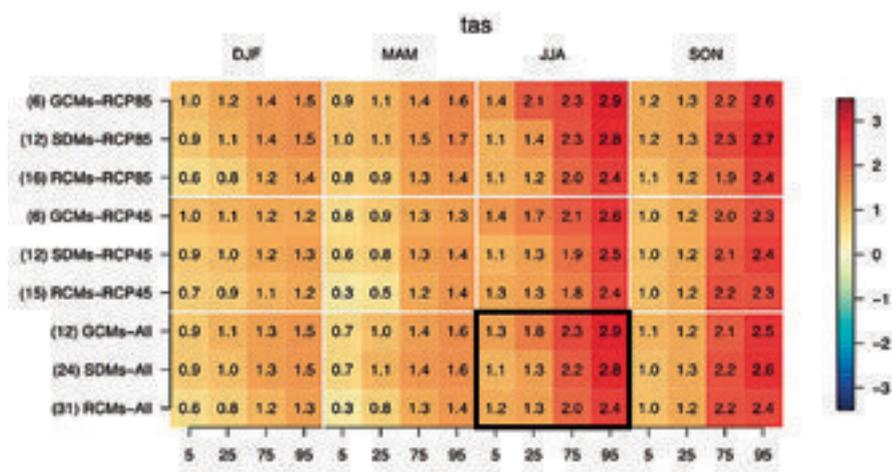
Un estudio más detallado a escala regional se puede estudiar a partir mediante la herramienta de acceso libre disponible en AEMET (Agencia Estatal de Meteorología), en su sección de servicios climáticos, donde se puede acceder a los escenarios PNACC (Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático), que están basados en las simulaciones regionales de los proyectos antes mencionados. Se dispone de información numérica y gráfica de los diferentes escenarios de emisiones, regionalizados para España ([http://www.AEMET.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat](http://www.AEMET.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat)). Se acaba de realizar un informe detallado con estas proyecciones (Amblar *et al.*, 2017), que han escrito una guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España: ([http://www.AEMET.es/es/conocermas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/publicaciones/detalles/Guia\\_escenarios\\_AR5](http://www.AEMET.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/Guia_escenarios_AR5)). En ella se pueden analizar multitud de variables, entre ellas los gráficos de evolución anual o estacional de temperaturas máximas, mínimas, precipitación, escorrentía, evapotranspiración, nubosidad o velocidad del viento, tanto sus valores medios, como algunos parámetros relacionados con eventos extremos, incluso a escala provincial. Estos resultados también muestran una banda de incertidumbre, asociada a la dispersión que muestran las simulaciones de los diferentes modelos para cada uno de los escenarios de emisiones considerados. Para los valores medios anuales para toda la región de Castilla-La Mancha, se puede concluir que, por ejemplo, para la temperatura máxima anual, se proyecta un incremento de entre 2 y 3°C, algo superior para el RCP8.5 respecto al RCP4.5, mientras que la temperatura mínima muestra unos incrementos algo inferiores, entre 0.5 y 1°C menos que la temperatura máxima, lo que indicaría, por tanto un aumento del rango diario de temperatura. La precipitación anual muestra un descenso muy similar para ambos escenarios de emisiones, en torno a un 10 a 20% para el promedio de las simulaciones, aunque el margen de error o incertidumbre asociado a las diferentes simulaciones, que dan lugar al ensamble de modelos, muestra valores sin descenso de temperatura en algunas de ellas.

### Análisis de aspectos específicos y eventos extremos.

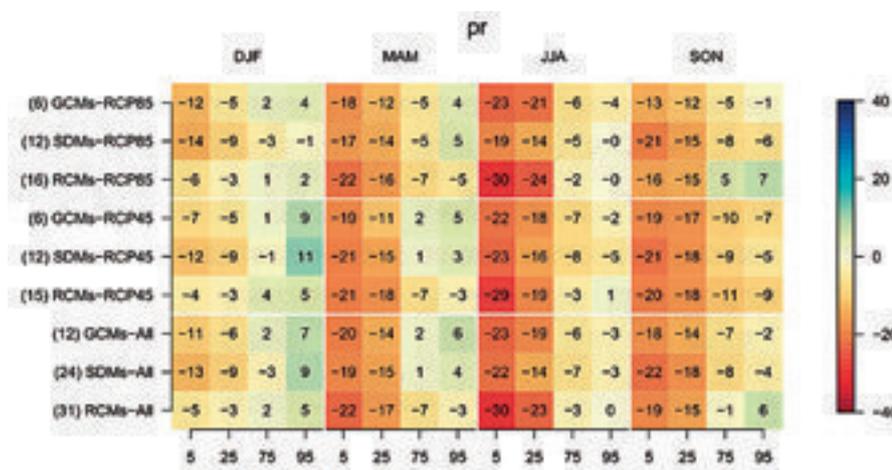
Los eventos extremos merecen un apartado específico en el análisis de las proyecciones de cambio climático, pues parece apuntarse que pueden sufrir cambios incluso más significativos de las magnitudes medias, y su interés potencial es incluso superior. A partir del servidor de AEMET también se pueden analizar, a escala de nuestra región, los cambios proyectados en diferentes aspectos relacionados con los extremos. Así, relacionado con las temperaturas máximas, se obtiene un incremento en el número de días cálidos (definidos a partir del percentil 90 de las temperaturas máximas de cada día en el periodo de referencia, en clima actual) alcanzaría un 20% en el escenario RCP8.5, y más de un 10% en el RCP4.5, mientras que el número de días de helada podría experimentar un descenso de más del 20% en ambos escenarios, por ejemplo. El número de noches cálidas (con mínimas por encima de su percentil 90) mostraría un aumento parecido al de los días cálidos. Las olas de calor aumentarían también, en torno a un 5 al 10% para mediados del siglo XXI. Respecto a la precipitación, ésta presenta una dispersión mayor en sus proyecciones, aunque indicaría un ligero aumento de los eventos de precipitación intensa (en torno al 5% en los valores medios), junto con un incremento también en la duración de los periodos secos, entre 5 y 10 días en promedio. Además de estos resultados mostrados en este servidor, cabe destacar algunos trabajos científicos publicados en revistas internacionales, que han analizado aspectos muy detallados de la climatología de nuestra región, en tanto que parte de toda la Península Ibérica, que merece la pena ser destacados en este documento. Cuando se describen los diferentes tipos de clima a partir de los valores mensuales de temperatura y precipitación, como puede ser la clasificación de Köppen (Castro, 2007), las proyecciones de clima futuro indican que se puede observar sobre nuestra región una clara transición hacia climas aún más áridos, respecto a los ya existentes, de por si cercanos a condiciones extremas en cuanto a la ausencia de precipitaciones abundantes, y condiciones de elevadas temperaturas durante el verano, y buena parte de la primavera y el otoño (Gallardo *et al.*, 2013). Otro aspecto que es bastante interesante de analizar es una estimación de la duración y extensión de las diferentes estaciones del año. El trabajo de López de la Franca *et al.* (2013) analizar, no para mediados de siglo XXI, sino para 2071-2100, aunque también se puede ver para mitad de siglo, de manera más parcial, cómo la duración de invierno, respecto a los valores

de clima actual (1961-1990) prácticamente desaparece, con una extensión casi repartida de forma similar para primavera y otoño. El verano experimenta una extensión también hacia la primavera y el otoño de unos 5-10 días. También la duración de los eventos o periodos secos se ha analizado para mediados del siglo XXI (*Lopez de la Franca et al., 2015*), indicando que la probabilidad de ocurrencia de los eventos secos más largos tiende a aumentar en toda la península. Por otro lado, es importante destacar otros estudios, como el trabajo de *Gómez et al. (2015)*, que muestra cómo para mediados del siglo XXI podría producirse un descenso de en torno al 5% de la velocidad del viento, indicando, en todas las simulaciones, una tendencia negativa desde los valores obtenidos para finales del siglo XX.

1a)



1b)

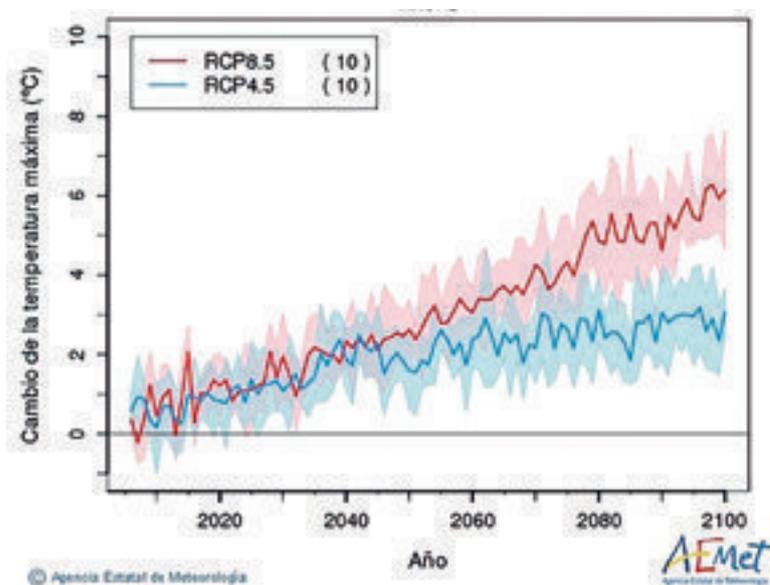


**Figuras 1:** Cambios proyectados para la temperatura diaria estacional (°C, 1a) y precipitación (%), 1b) para el periodo 2021- 2050, respecto al promedio del periodo 1971-2000. Los valores son para el promedio espacial de la España peninsular y las islas Baleares para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5, así como ala combinación de ambos ("all"). Se consideran por separado los resultados de los modelos regionales (RCMs), los modelos globales (GCMs) y las técnicas de regionalización estadística (SDMs). Para mostrar de una manera más clara las incertidumbres en la señal de cambio climático, se muestran diferentes percentiles (5, 25, 75, 95) de los resultados de las diferentes simulaciones. El rango 25-75 es, típicamente, el intervalo usado para caracterizar la dispersión del conjunto de simulaciones, mientras que los percentiles 5 y 95 indicarían comportamientos extremos respecto del promedio.

## Conclusiones

En los últimos años, se ha llevado a cabo un aumento en la disponibilidad de múltiples conjuntos de simulaciones regionales sobre toda Europa, e incluso algunas centradas sobre la Península Ibérica. Ello forma parte de la constante evolución y mejora desde los primeros proyectos internacionales realizados con modelos regionales de clima, lo que permite llevar a cabo análisis precisos de aspectos del cambio climático a escalas regionales, como puede ser Castilla-La Mancha, incluyendo también un análisis de incertidumbres, o de aspectos en los que el consenso o precisión de las diferentes simulaciones pueda ser menor. Estas simulaciones permiten estudiar no solo cambios en el clima medio proyectados para los diferentes periodos del siglo XXI, sino también aspectos más complejos, pero a la vez de gran relevancia, como por ejemplo pueden ser los eventos extremos. Los resultados más recientes indican que, para mediados de siglo XXI para nuestra región, los aumentos de temperatura media diaria serán mayores en verano, cerca de 3°C, algo menores en otoño, y primavera, y menores en invierno. Las temperaturas máximas podrían incrementarse algo más que las temperaturas mínimas. Las precipitaciones podrían disminuir, también de manera más acusada en verano, hasta un 30%. Los eventos extremos se proyecta que aumenten, tanto las olas de calor y los días cálidos, como las noches cálidas, junto con un descenso en el número de días de helada. Los eventos o periodos secos también aumentarían. Estos resultados son bastante robustos, e incluyen lógicamente ciertos niveles de incertidumbre en la intensidad de los mismos, algo mayores en relación con las precipitaciones y los eventos extremos. Los detalles pueden encontrarse en los trabajos citados en las referencias, donde se indican los intervalos de valores más probables para los diferentes aspectos de los cambios proyectados asociados al incremento de los gases de efecto invernadero que están causando el calentamiento global.

Castilla-La Mancha (Anual)



**Figura 2:** Cambio en el valor anual de la temperatura máxima diaria (en °C), respecto al valor medio del periodo de referencia 1961-1990, promediado para toda la región de Castilla-La Mancha a partir de los resultados de las simulaciones de 10 modelos regionales de clima presentes en el dominio EuroCORDEX para los escenarios de emisiones RCP8.5 y RCP4.5. La línea continua indica el valor medio de todas las simulaciones, la banda coloreada indica una desviación estándar respecto a ese valor medio.

Castilla-La Mancha (Anual)

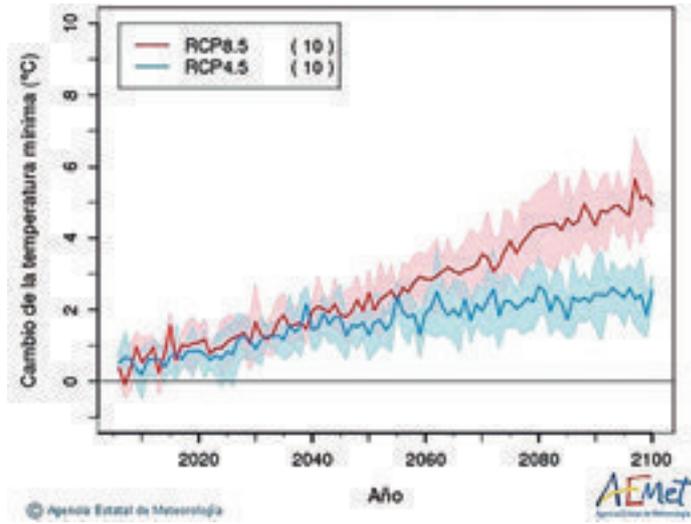


Figura 3: Como la figura 2, pero la temperatura mínima diaria

Castilla-La Mancha (Anual)

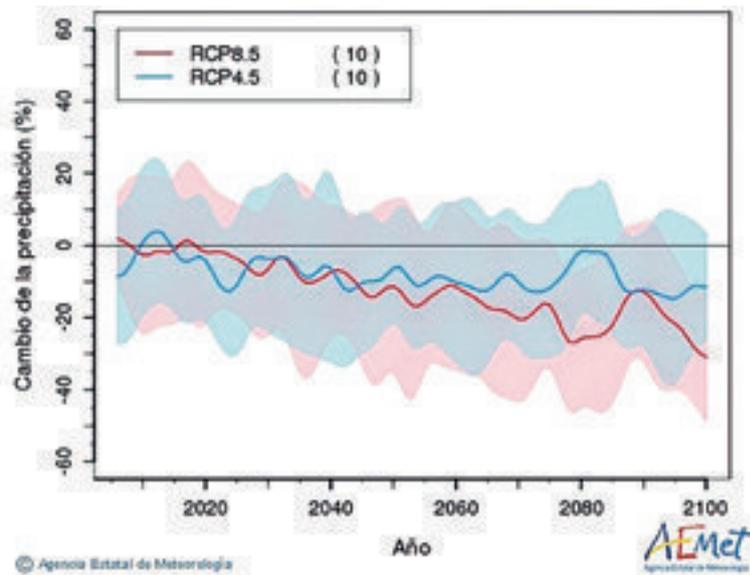


Figura 4: Como la figura 2, pero para la precipitación total anual (en %).

## Bibliografía

- AMBLAR, P., CASADO, M. J., PASTOR, A., RAMOS, P., RODRÍGUEZ, E. (2017). Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5. AEMET. Catálogo de publicaciones de la administración general del Estado.
- CASTRO, M. (2007). Clima y cambio climático en Castilla-La Mancha. Capítulo 1 del Primer informe regional sobre Cambio Climático, páginas 20-47. Junta de Castilla-La Mancha
- CHRISTENSEN, J.H., T.R. CARTER, M. RUMMUKAINEN, G. AMANATIDIS (2007): Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. *Climatic Change*, 81, 1-6.
- CHRISTENSEN, J.H., K. KRISHNA KUMAR, E. ALDRIAN, S.-I. AN, I.F.A. CAVALCANTI, M. DE CASTRO, W. DONG, P. GOSWAMI, A. HALL, J.K. KANYANGA, A. KITO, J. KOSSIN, N.-C. LAU, J. RENWICK, D.B. STEPHENSON, S.-P. XIE, T. ZHOU (2013): Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In: *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.
- FERNÁNDEZ, J., CASANUEVA, A., MONTÁVEZ, J. P., GAERTNER, M. A., CASADO, M. J., MANZANAS, R., GUTIÉRREZ, J. M., (2017). Regional climate projections over Spain: atmosphere. *Future climate projections. CLIVAR Exchanges Newsletter*, 73, 45-52
- FERNÁNDEZ, J., FRÍAS, M. D., CABOS, W. D., COFIÑO, A. S., DOMÍNGUEZ, M., FITA, L., GAERTNER, M. A., GARCÍA-DÍEZ, M., GUTIÉRREZ, J. M., JIMÉNEZ-GUERRERO, P., LIGUORI, G., MONTÁVEZ, J. P., ROMERA, R., SÁNCHEZ, E. (2018). Consistency of climate change projections from multiple global and regional model intercomparison projects, *Climate Dynamics*, Noviembre 2018. DOI:10.1007/s00382-018-4181-8
- GALLARDO, C., GIL, V., HAGEL, E., TEJEDA, C., DE CASTRO, M. (2013). Assessment of climate change in Europe from an ensemble of regional climate models by the use of Köppen-Trewartha classification. *Int. J. Climatol.*, 33(9), 2157-2166.
- GÓMEZ, G., W. CABOS, G. LIGUORI, S. LOZAN, L. FITA, J. FERNÁNDEZ, E. MAGARIÑO, P. JIMÉNEZ-GUERRERO, J. MONTAVEZ, M. DOMÍNGUEZ, R. ROMERA, M.Á. GAERTNER (2015). Characterization of the wind speed variability and future change in the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. *Wind Energy*, DOI:10.1002/we.1893
- GUTOWSKI, W. J., GIORGI, F., TIMBAL, B., FRIGON, A., JACOB, D., KANG, H. S., RAGHAVAN, K., LEE, B., LENNARD, C., NIKULIN, G., O'ROURKE, E., RIXEN, M., SOLMAN, S., STEPHENSON, T., TANGANG, F. (2016). WCRP coordinated regional downscaling experiment (CORDEX): a diagnostic MIP for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(11), 4087.
- IPCC (2013): SUMMARY FOR POLICYMAKERS. IN: *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.
- JACOB, D., L. BARRING, O.B. CHRISTENSEN, J.H. CHRISTENSEN, M. CASTRO, M. DEQUE, F. GIORGI, S. HAGEMANN, M. HIRSCHI, R. JONES, E. KJELLSTRÖM, G. LENDERINK, B. ROCKEL, E. SANCHEZ, CH.

- SCHÄR, S.I. SENEVIRATNE, S. SOMOT, A. VAN ULDEN, B. VAN DEN HURK (2007): An intercomparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Climatic Change*, 81, 31- 52.
- JIMÉNEZ-GUERRERO, P., MONTÁVEZ, J. P., DOMÍNGUEZ, M., ROMERA, R., FITA, L., FERNÁNDEZ, J., CABOS, W. D., LIGUORI, G., GAERTNER, M. A. (2013). Mean fields and interannual variability in RCM simulations over Spain: the ESCENA project. *Climate Research*, 57(3), 201-220.
- LÓPEZ DE LA FRANCA, N., SÁNCHEZ, E., DOMÍNGUEZ, M. (2013). Changes in the onset and length of seasons from an ensemble of regional climate models over Spain for future climate conditions. *Theor. Appl. Climatol.*, 114, 635-642
- LÓPEZ DE LA FRANCA, N., SÁNCHEZ, E., LOSADA, T., DOMÍNGUEZ, M., ROMERA, R., GAERTNER, M. Á. (2015). Markovian characteristics of dry spells over the Iberian Peninsula under present and future conditions using ESCENA ensemble of regional climate models. *Climate dynamics*, 45(3-4), 661-677.
- SÁNCHEZ, E., RODRÍGUEZ-FONSECA, B., BLADÉ, I., BRUNET, M., AZNAR, R., CACHO, I., CASADO, M. J., GIMENO, L., GUTIÉRREZ, J. M., JORDÁ, G., LAVÍN, A., LÓPEZ, J. A., SALAT, J., VALERO, B. (2017). Progress in detection and projection of climate change in Spain since the 2010 CLIVAR-Spain regional climate change assessment report. *CLIVAR Exchanges Newsletter*, 73, 1-4
- VAN DER LINDEN, P.; MITCHELL, JFB, EDITORS. (2009). ENSEMBLES: Climate change and its impacts-Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, UK. 160pp



calor  
Castilla-La Mancha  
cambio climático  
sequía  
superficie  
planeta  
ecosistema  
parámetros  
precipitación  
Impa



## Capítulo 2

# En los recursos hídricos



# Recursos hídricos y cambio climático en Castilla-La Mancha

Antonio García Pastrana

AQUONA GESTIÓN DE AGUAS DE CASTILLA S.A.U. Gerente de Concesiones de Servicios de Aguas.  
Avda. Rey Santo, nº 3 13001. Ciudad Real.

## Introducción

El cambio climático es un término que ya ha pasado al lenguaje popular por la relevancia de las cumbres internacionales que han ido desarrollándose para tratar de combatirlo, por las polémicas que se han desatado en estas cumbres al no lograr la unanimidad en sus acuerdos, y por desgracia en nuestra región, por lo marcado de sus efectos.

Aunque “cambio” no significa ni escasez, ni aumento, sólo significa que lo que conocíamos se transforma, en el caso de nuestra comunidad y en lo relativo a los recursos hídricos, parece que cambio climático sí se va a poder traducir como aumento de temperaturas y escasez de agua.

Ahora bien, de estas dos variables, sobre el aumento de las temperaturas no vamos a poder actuar a corto plazo, ni lo vamos a poder hacer sino es dentro de una estrategia global. Pero en lo que respecta a la escasez de agua, sí podemos actuar, ya que la escasez como se verá en el desarrollo de este capítulo, la originan dos causas, las menores precipitaciones y el uso que hagamos del agua disponible. Es sobre este último factor donde tenemos el gran reto para enfrentar con éxito los escenarios de cambio climático que se nos vienen encima. Dependerá en gran medida de la planificación que hagamos de los usos del agua y de su gestión, el que la disponibilidad de agua como cimiento de nuestra sociedad, economía y medio natural no se resienta, y así podamos seguir avanzando con prosperidad para nosotros y las nuevas generaciones que habiten nuestra región.

Debemos marcar con claridad las prioridades de utilización, las necesidades de inversión, los usos que generen un mayor beneficio económico, y que lo hagan desde una perspectiva de sostenibilidad con el medio y en el tiempo. Todo esto debe de hacerse con rigor, generosidad y liberando los recursos financieros que sea preciso.

El escenario de cambio climático que se presenta en un futuro que ya ha comenzado, es duro, y va a suponer un gran reto de gestión, pero nunca debemos de olvidar que el agua en todas sus formas, es la base del desarrollo social y económico sobre el que edificar nuestro futuro, y que para que este futuro sea duradero y exitoso, debemos de afrontarlo desde el prisma de la sostenibilidad, sin olvidar el valor ecosistémico de los recursos hídricos.

## La realidad y de dónde venimos

### Disponibilidad de recursos hídricos en Castilla-La Mancha

Lo primero que debemos hacer es definir el concepto de “Recursos Hídricos”.

La palabra “*recursos*”, tiene su origen en el latín, y según la Real Academia de la Lengua Española (RAE) es “el conjunto de elementos disponibles para resolver una necesidad”.

La palabra “*hídricos*”, viene del griego, y según la RAE hace referencia a todo lo perteneciente o relativo al agua como elemento de la naturaleza.

Es decir que cuando hablamos de Recursos Hídricos de Castilla-La Mancha vamos a referirnos al “*conjunto de elementos de agua disponibles en la naturaleza para resolver las necesidades de abastecimiento y las necesidades naturales*”, entendiendo que nos referimos al ámbito de la naturaleza de nuestra región y a las necesidades de agua también de esta misma comunidad.

Por tanto, vamos a proceder a revisar las precipitaciones, cuencas hidrográficas, capacidad de almacenamiento en embalses y disponibilidad de agua subterránea.

### Precipitaciones

Si consideramos la comunidad autónoma como un sistema cerrado, en el cual hay entradas de agua y salidas de agua, las entradas serían las precipitaciones, en cualquiera de sus modalidades, y los cursos de agua provenientes del exterior de la comunidad. Para un análisis más exhaustivo sería interesante contemplar también los flujos de agua dentro de los acuíferos, aunque debido a la extensión de este capítulo y el objetivo del mismo, vamos a considerar los acuíferos como grandes embalses en los que las entradas son las provenientes de las recargas por las precipitaciones y las salidas las extracciones.

En cuanto al análisis de las precipitaciones en el periodo comprendido entre los años 2010 y 2016 se ha sufrido un descenso de 0.3 mm/año de media en toda la región. Este descenso además ha sido generalizado en todas las provincias a excepción de Albacete. Si bien este descenso analizado con una perspectiva interanual de más largo alcance, desde el año 1981, no supone una anomalía, sino que se trata de un patrón de alternancia de periodos interanuales secos con otros más húmedos, correspondiendo al periodo 2010-2016 a una serie de años de descenso de las precipitaciones dentro de este patrón.

En el análisis de las precipitaciones lo más importante es definir cómo se están comportando, es decir tratar de definir la tendencia, y los ciclos de sequía, para en combinación con la disponibilidad de los recursos subterráneos, y la capacidad de almacenamiento en embalses, poder realizar una planificación adecuada de los usos del agua en la región.

Del análisis detallado de las precipitaciones que se hace en el capítulo 1, se pueden sacar varias conclusiones.

Las precipitaciones en la región presentan una gran variabilidad interanual, con periodos de varios años de sequía que se alternan con periodos más húmedos, también de varios años. Esta alternancia se ve muy bien en la gráfica de precipitaciones anuales desde el año 1981 al 2016 de ese mismo capítulo. El perfil que se dibuja en este gráfico se presenta a modo de cordillera, donde se alternan los picos (periodos de años húmedos) con los valles (periodos de sequía). En el momento actual y desde el año 2010, nos encontramos dibujando un valle, siendo el año 2015 el punto más bajo con una ligera subida en el año 2016.

Otra característica de las precipitaciones en la región es su marcada estacionalidad. Siendo los veranos muy secos y calurosos, y concentrándose las precipitaciones sobre todo en el otoño, primavera y algo menos en el invierno. Esta estacionalidad intra anual, es una de las principales características de las zonas de encharcamiento de La Mancha Húmeda.

Aunque en el momento actual estamos sufriendo uno de los periodos agudos de sequía meteorológica, no es posible deducir que nos encontremos en una tendencia de descenso de las precipitaciones anuales en la región, ya que se han vivido episodios como este en el pasado, como por ejemplo entre los años 1993-1995 o entre 2004-2007, a los que posteriormente han seguido años de aumento de las precipitaciones. Por tanto, deberemos esperar unos años más para poder determinar si la situación actual se trata de uno de los valles que marcan la estacionalidad que ya hemos visto, y que existe desde siempre en la región, o en caso de persistir, se trata de una tendencia al descenso de lluvias, que deberá ser analizado con más detenimiento en el futuro.

Si bien no es posible todavía con los datos históricos disponibles, afirmar que nos encontramos en una tendencia de descenso de precipitaciones anuales, sí que queda claro del análisis hecho en el capítulo de climatología, que se están produciendo cambios en la forma en que se generan las precipitaciones dentro de cada año.

Los veranos son cada vez más secos, aquí sí es posible definir una tendencia clara al descenso de las precipitaciones desde el 1981 al 2016. También se observa una ligera tendencia al aumento de los episodios de

lluvias fuertes (N.º de días con precipitaciones de más de 30 mm). Todos estos datos se analizan con más detalle en el capítulo dedicado a la climatología del presente informe.

Como conclusión de todo lo expuesto, podemos inferir que efectivamente se empiezan a apreciar cambios en el comportamiento de las precipitaciones. Por el momento confirmando una “*radicalización*” de estas precipitaciones, que tienden a ser de menor frecuencia, pero de mayor intensidad y con una tendencia a la baja en los meses de verano. Para poder afirmar que estamos ante un descenso en la cuantía de las precipitaciones anuales todavía es pronto, si bien y por el resto de síntomas que presenta el cuadro climático de la región, deberíamos prepararnos para lo peor, y considerar que empieza a ser factible que nos encontremos ante la posibilidad de que las precipitaciones sufran una tendencia a su disminución, ya que el calentamiento de la región sí está confirmado, tal y como se describe en el capítulo de climatología, y también hay un marcado descenso de las precipitaciones en los meses de verano.

Por tanto, deberíamos hacer una planificación interanual de los recursos hídricos disponibles teniendo en cuenta la posibilidad de que se confirme esta tendencia a la baja.

### Cuencas hidrográficas

En nuestra región encontramos la presencia de hasta siete cuencas hidrográficas, si bien las del Ebro y Duero apenas tienen presencia con una pequeña extensión al norte de Guadalajara.

Las otras cinco cuencas son la del Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Júcar y Segura.

Se da la especial circunstancia que los ríos que las definen, y les dan su nombre a estas cuencas, 4 de ellos tienen su nacimiento bien en la comunidad autónoma, o justo en su límite. Así el Tajo nace en la Sierra de Albarracín, pero tocando casi con nuestra región. El Guadiana, indistintamente de donde se quiera ubicar



Imagen 1: Distribución de las cuencas hidrográficas de Castilla-La Mancha. Fuente: Elaboración propia

su nacimiento, en las Lagunas de Ruidera o en los Ojos del Guadiana, ambos puntos están en nuestra región. El Júcar en la Serranía de Cuenca y el Segura a apenas 10 Km de la provincia de Albacete, en la Sierra del Segura.

Esto tiene un especial significado, ya que lo que nos dice es que las aguas que llegan a estos ríos y en consecuencia a los embalses ubicados en sus cauces, son las provenientes de las precipitaciones propias de la región y no de las escorrentías de otras regiones. Cobra así especial importancia el régimen de precipitaciones y la evolución de sus tendencias, las cuales, se han analizado en el apartado anterior, para conocer la disponibilidad de recursos hídricos en nuestra comunidad.

Como conclusión importante, en nuestra región prácticamente el 100% del aporte de aguas y su nivel de reposición, depende de las precipitaciones propias dentro de la misma, al no haber apenas entradas de agua a través de cauces de cabecera desde otras regiones.

### Embalses

Nuestra comunidad autónoma tiene una capacidad de embalsar agua de 5.860 Hm<sup>3</sup>, distribuidos entre un total de 61 embalses, con capacidades de almacenamiento de entre 1 y 1.639 Hm<sup>3</sup>, siendo la mayoría de pequeño tamaño.

Fuentes: JCCLM Open Data y Embalses.net			Hm3	Hm3		
Nº embalses	Cuenca Hidrog.	Embalse	Capacidad t.	Capacidad	% Sobre el total de CLM	
61	TOTAL CLM		5860	5860	100%	100%
10	TOTAL CLM >100		4953	4953	85%	
5	TAJO		2900		49%	
		BUENDIA		1639		28%
		ENTREPEÑAS		835		14%
		ALCORLO		180		3%
		FINISTERRE		133		2%
		AZUTÁN		113		2%
1	JÚCAR		1118		19%	
		ALARCÓN		1118		19%
2	SEGURA		647		11%	
		CENAJÓ		437		7%
		FUENSANTA		210		4%
1	GUADIANA		183		3%	
		TORRE DE ABRAHAM		183		3%
1	GUADALQUIVIR		105		2%	
		MONTORO III		105		2%
	TAJO	BUENDIA		1639		28%
	JÚCAR	ALARCÓN		1118		19%
	TAJO	ENTREPEÑAS		835		14%
		TOTAL		3592		61%

**Tabla 1:** Embalses de más de 100 Hm<sup>3</sup> de capacidad de Castilla-La Mancha. Fuente: Elaboración propia

Ahora, debemos de tener cuidado con este dato, ya que una cosa es la capacidad de almacenamiento y otra muy distinta, el agua realmente almacenada, y en consecuencia, disponible. Para eso debemos de analizar cómo se distribuye esta capacidad de almacenamiento y la realmente efectiva.

De los 5.860 Hm<sup>3</sup>, 4.953 están localizados en sólo 10 embalses (los de más de 100 Hm<sup>3</sup>), lo que supone el 85% del total CLM, y de éstos, 3.592 Hm<sup>3</sup>, en tan sólo tres embalses, lo que supone el 61% del total de capacidad de embalsar agua de toda la región.

Estos datos pueden engañar, ya que la capacidad de almacenamiento de los tres grandes embalses no significa que exista esa disponibilidad de agua. Considerando la serie histórica de datos de agua embalsada desde el año 1994 en estos tres embalses, vemos que nunca se han llenado al 100%, encontrándose los máximos volúmenes de almacenamiento de agua entre los años 1998 y 2001.

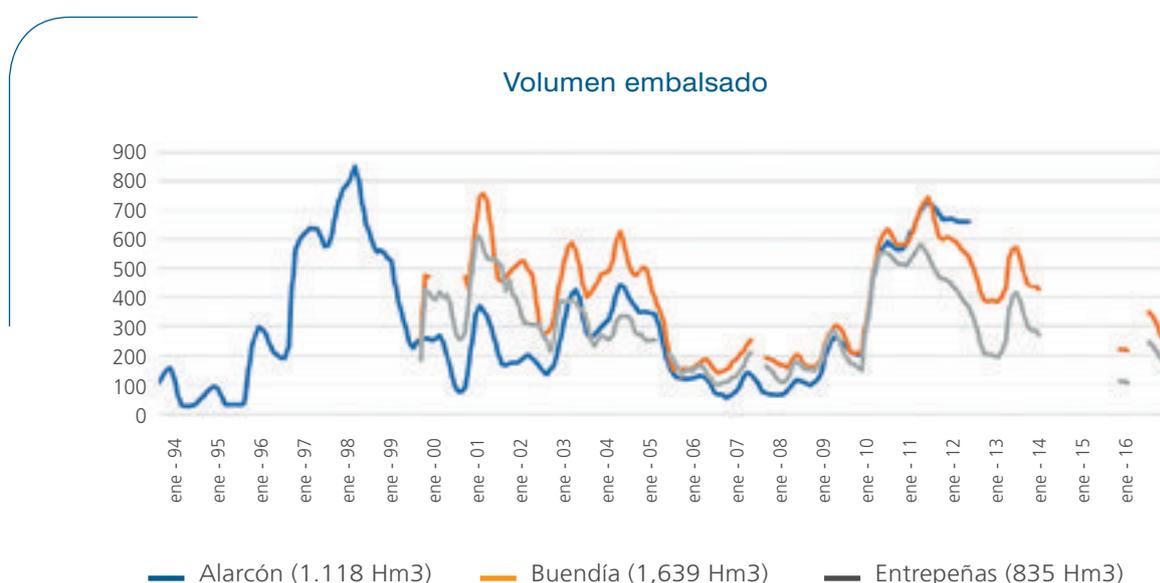
Teniendo en cuenta estos datos, si se corrige la tabla inicial respecto a la capacidad de almacenamiento de agua, con los datos del agua realmente embalsada según los datos históricos, y teniendo en cuenta el dato de máximo de almacenamiento, la capacidad total de toda la región se ve considerablemente reducida. En concreto en un 25%, (1.442 Hm<sup>3</sup>).

### Recursos hídricos subterráneos

Los recursos hídricos subterráneos son fundamentales en la gestión de la globalidad de todos los recursos de la región, ya que éstos son grandes reservorios de agua que puede ser utilizada con una planificación adecuada.

En Nuestra región encontramos 8 grandes sistemas acuíferos que son los siguientes:

- Mancha occidental o acuífero 23
- Mancha oriental, compuesto del tercio más meridional del sistema 18.
- Calizas del Campo de Montiel o acuífero 24.
- Terciario detrítico de Madrid-Toledo-Cáceres" o acuífero 14.



**Gráfico 1:** Niveles 3 mayores embalses CLM. Serie histórica 1994-2016. Fuente: *Elaboración propia* (Datos MAPAMA)

**Tabla 2:** Máximo volumen embalsado en los 3 mayores embalses de CLM.  
Serie histórica 1994-2016. Fuente: *Elaboración propia*

	Vol. Total	Vol. Max		
ALARCÓN	1.118	850	76%	Jun-98
BUENDIA	1.639	732	45%	Jun-01
ENTREPEÑAS	835	569	68%	May-01

**Tabla 3:** Capacidad de almacenamiento corregida de CLM. Fuente: *Elaboración propia*

Nº embalses	Capacidad Total (Hm3)	Capacidad Máxima (Hm3)
61	5.860	4.418
	100%	75%

- Caliza de Altomira o acuífero 19.
- Calizas del páramo de la Alcarria o acuífero 15.
- Terciario detrítico-calizo del norte de La Mancha o acuífero 20.
- Pliocuaternario detrítico del Bullaque o acuífero 22.

Además de estos, tenemos la presencia de otros 6 acuíferos de menor relevancia para la región en las cabeceras de las cuencas hidrográficas, que son los acuíferos 10, 17, 57, 54, 53 y 59.

Estos acuíferos que hemos visto no son ilimitados, y deben de ser gestionados teniendo en cuenta los niveles de reposición de agua en los mismos, de modo que la extracción media anual no supere la recarga media anual. En la planificación que se realice, los años de escasez de precipitaciones, se podrá superar la tasa media anual de reposición, pero teniendo en cuenta que esta deberá ser compensada con una menor extracción los años de precipitaciones más abundantes, permitiendo la recarga de los acuíferos.

Del análisis de los volúmenes de agua que se han administrado en régimen de concesión desde el año 2000 al año 2014, se observa que hay una ligera tendencia a la baja. Si bien es importante analizar también como se han repartido esas concesiones entre las de origen superficial y las de origen subterráneo.

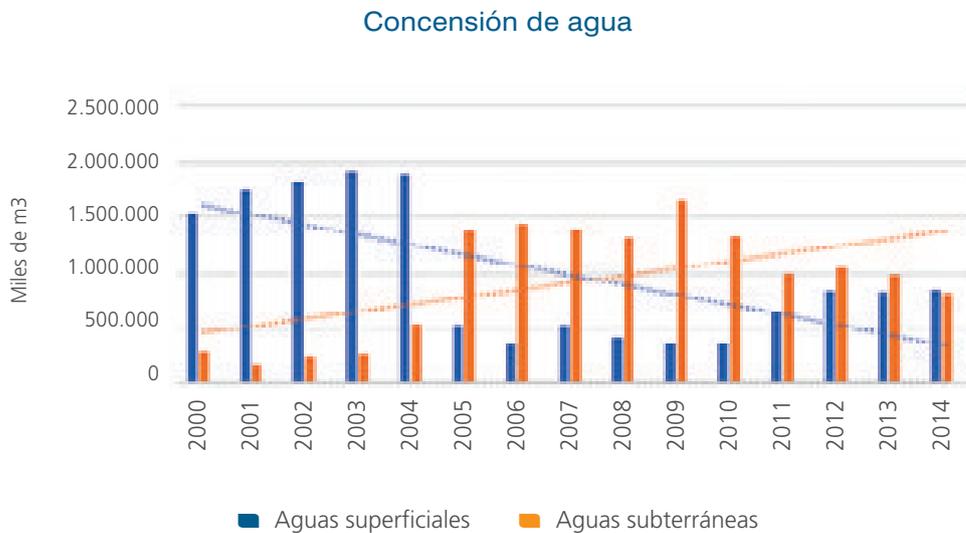
Del análisis de los datos históricos de las concesiones de agua de todas las cuencas hidrográficas de la región, se observa una evolución inversa en el uso de aguas subterráneas y de aguas superficiales.



**Imagen 2:** Distribución de los sistemas acuíferos de Castilla-La Mancha. Fuente: IGME



**Gráfico 2:** Volumen de agua administrada en régimen de concesión en Castilla-La Mancha. Fuente: Elaboración propia (Datos JJCLM)



**Gráfico 3:** Origen de las concesiones de agua en Castilla-La Mancha.  
 Fuente: *Elaboración propia (Datos JJCLM)*

Han ido disminuyendo las concesiones de aguas superficiales y han aumentado las de aguas subterráneas. Es en los años 2004 a 2005 cuando se produce un cambio significativo en el régimen de concesiones, pasando a predominar el uso de aguas subterráneas sobre el uso de aguas superficiales.

### Conclusión sobre la disponibilidad de recursos hídricos

Como hemos visto los acuíferos y los embalses son elementos de almacenamiento de agua, por lo que los recursos que se extraiga de ellos deben de ser repuestos.

Las cuencas hidrográficas de la región tienen la peculiaridad de que en 4 de las 5 principales, el aporte de agua que reciben proviene únicamente de las precipitaciones que se generan en la propia región. Por tanto, el único aporte considerable que se recibe de agua es el de estas precipitaciones, que debe de cubrir todas las demandas de agua que se generen, tanto las antrópicas como las naturales.

Los embalses serán elementos de gestión que deben ser considerados para poder distribuir las necesidades de agua dentro de periodos anuales o interanuales de pocos años, y los acuíferos deberían realizar la misma función, pero para atender periodos temporales más amplios, con planificación incluso en nivel de décadas, teniendo en cuenta la estacionalidad interanual descrita en las series temporales históricas y el elevado grado de incertidumbre que nos presenta un escenario de cambio climático. De esta forma en los momentos de escasa precipitación se cubrirán las demandas con el agua almacenada en embalses y acuíferos y en épocas de mayor precipitación se permitirá su recarga.

Como conclusión final, la disposición y por tanto la oferta de recursos hídricos viene condicionada únicamente por el régimen de precipitaciones. Al ser este hecho algo sobre lo que no se puede actuar, lo que toca, es medir y analizar los datos históricos para establecer cuál es el volumen medio de agua del que se puede disponer, y gestionar la demanda, es decir los usos del agua, que es sobre lo que sí se puede actuar. De forma que la demanda media anual no supere la precipitación media anual.

En esta planificación es donde debe de tenerse en cuenta el posible efecto del cambio climático. Si bien la certeza de que el cambio climático es ya un hecho, tal y como se puede ver en los datos de tempera-

turas analizados en el capítulo de climatología, donde queda constatado que la temperatura media de nuestra región se ha incrementado 1,4°C entre los años 1981 y 2016, no queda aún claro con los datos históricos disponibles, de qué forma el cambio climático está afectando al régimen de precipitaciones, tal y como se ha analizado en el apartado de precipitaciones de este capítulo. Aunque hay indicios de que las precipitaciones están sufriendo cambios en su régimen, por la radicalización de los episodios de lluvia con veranos más secos y aumento del número de lluvias intensas, no podemos aún determinar con certeza absoluta, que no estemos dentro de uno de los ciclos históricos de alternancia entre años de sequía, y años de aumento de precipitaciones. Este hecho se determinará y aclarará en función de lo que ocurra en los próximos 2-3 años, en los que en base a los datos históricos deberían de aumentar las precipitaciones. De todas formas, ante esta incertidumbre y aplicando un principio de prevención, ya que existen indicios claros de que el régimen de lluvias está siendo alterado, y posiblemente disminuyendo, debería hacerse la planificación hidrológica aplicando factores de seguridad, al menos sobre aquellos usos que se consideren críticos, como es el abastecimiento de agua de consumo humano.

## Usos del agua en Castilla-La Mancha

Dentro de los usos del agua es importante distinguir los usos naturales de los usos antrópicos.

Los usos naturales son aquellos que deben realizarse para garantizar que se realizan las funciones naturales con normalidad y sin afecciones al medio, como los caudales ecológicos de los ríos, o los niveles de inundación de humedales. Estos usos pueden ser regulados, de forma que el aprovechamiento de los recursos hídricos sea el máximo posible, pero no hasta el extremo de su eliminación. Aquí sería importante empezar a aplicar políticas y técnicas de economía ambiental, en las que se realice la adecuada valoración ecosistémica de estos recursos hídricos, ya que se tiende a infravalorarlos, hasta el punto de que en muchas ocasiones se les otorga un valor económico cero, cuando no es así, ya que el desempeño de sus funciones naturales, también aporta riqueza, no sólo natural, sino también social y económica, que debe de ser tenida en cuenta para el reparto de los recursos hídricos disponibles. Esta es además una de las principales líneas de trabajo que se adoptaron en el año 2012, en Río de Janeiro en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, y que se concretó con la Declaración sobre el Capital Natural. Esta declaración fue un llamamiento para que el Capital Natural fuese mantenido y mejorado como un bien económico, ecológico y social crítico, siendo los recursos hídricos una parte fundamental del Capital Natural.

Los usos antrópicos son los derivados de la actividad directa del hombre, y básicamente serían el uso para abastecimiento humano, la agricultura y ganadería y la industria.

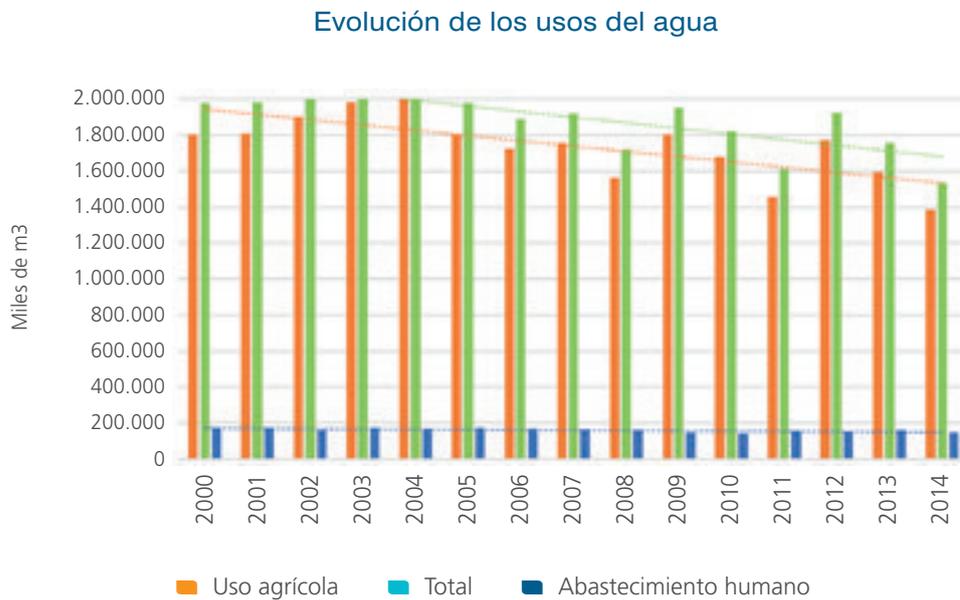
Al ser estos usos sobre los que sí se puede actuar, son los que se van a analizar con algo más de detalle a continuación.

## Usos de los recursos hídricos por sectores

En base a los datos históricos en disposición de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha el uso global de agua ha ido disminuyendo desde el año 2000 hasta el año 2014.

Este descenso se debe principalmente al menor uso de agua con destino agrícola, que, aunque con fluctuaciones de un año para otro, ha seguido una tendencia a la disminución, siendo el último año de la serie, el 2014, el que menos agua se dedicó a este fin.

El agua para abastecimiento humano, dentro del conjunto del total de los usos de agua, y en comparación con el uso agrícola, apenas supone un 8,5% del total, por lo que la tendencia sobre el consumo total del agua lo marca el uso agrícola, si bien todo influye. En este caso, ambas tendencias han ido en el mismo sentido, tendiendo a la disminución.



**Gráfico 4:** Evolución de los usos del agua en Castilla-La Mancha.  
Fuente: *Elaboración propia (Datos JJCLM)*

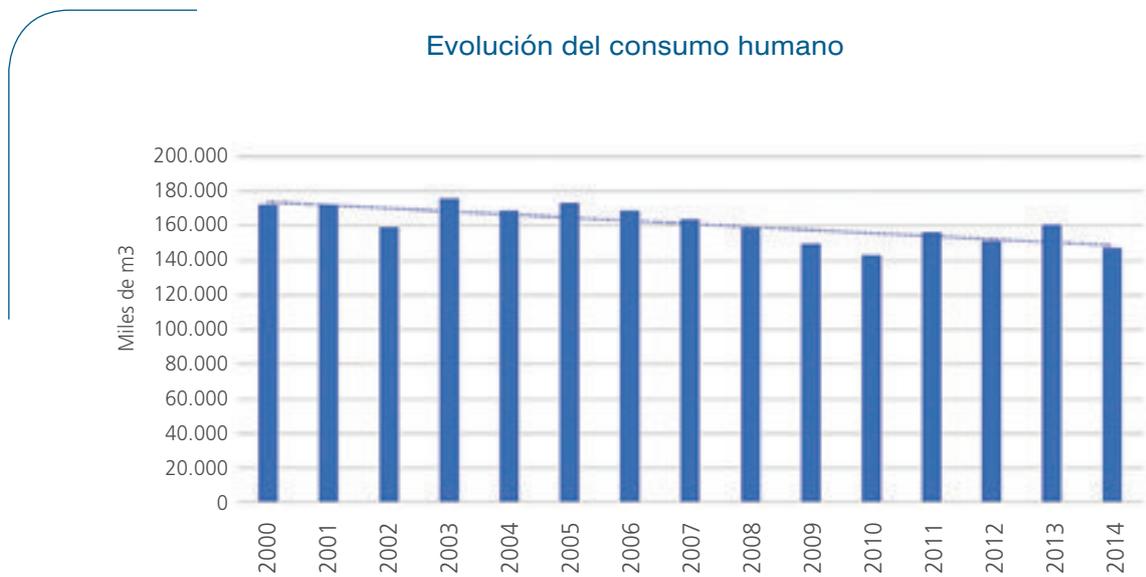
## Uso del agua para abastecimiento humano

El uso de agua para abastecimiento humano ha ido descendiendo en la serie histórica desde el año 2000 hasta el 2014. Con pequeñas oscilaciones, pero con una clara tendencia a la baja. Esto es debido principalmente a la mayor concienciación de los ciudadanos en el uso del agua, y a las mejoras tecnológicas y de ahorro que se van implantando tanto dentro de los hogares, como en los servicios municipales de aguas, con continuas medidas encaminadas a la reducción de las pérdidas de agua como son las campañas de búsqueda de fugas, sectorización, control de caudales, control dinámico de presiones, etc....

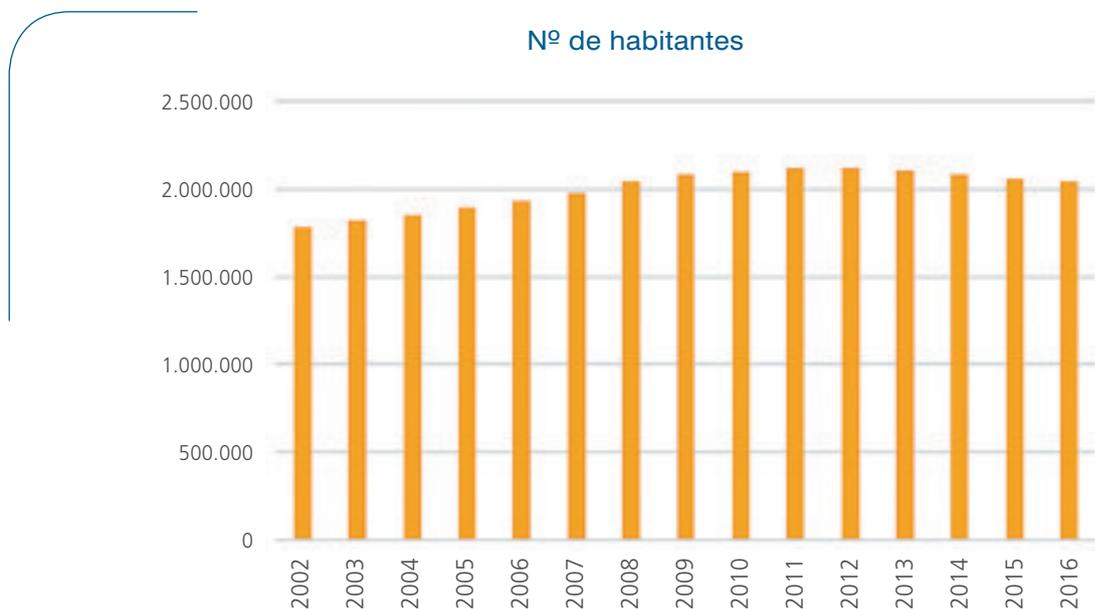
Esto se aprecia que es así, si se compara la evolución del consumo de agua en los domicilios, con la evolución de la población en nuestra región. Se puede apreciar que del año 2002 al 2012 la población se incrementó, mientras que el consumo de agua se reducía. Por lo que podemos afirmar que esta reducción de consumo se produce, no por un descenso de la población, sino por las medidas de ahorro y eficiencia descritas.

Ante la incertidumbre sobre la disponibilidad de recursos hídricos en un futuro, debido a los efectos del cambio climático, esta es la línea de trabajo que debe de mantenerse y potenciarse, para estimular el ahorro del agua y la eficiencia en su utilización.

Dentro del concepto de abastecimiento humano se engloban varios usos, además del literal de la palabra. Cabe diferenciar los usos domiciliarios o de los hogares; los usos municipales, que son los propios de mantenimiento de servicios comunes (limpieza de calles, jardines, edificios públicos, etc...); los usos de sectores económicos, que son aquellos que se realizan para el desempeño de actividades comerciales e industriales, y otros servicios que son minoritarios y que se tienden a englobar dentro de los municipales o económicos.



**Gráfico 5:** Evolución del consumo humano de agua en Castilla-La Mancha.  
Fuente: *Elaboración propia (Datos JJCLM)*

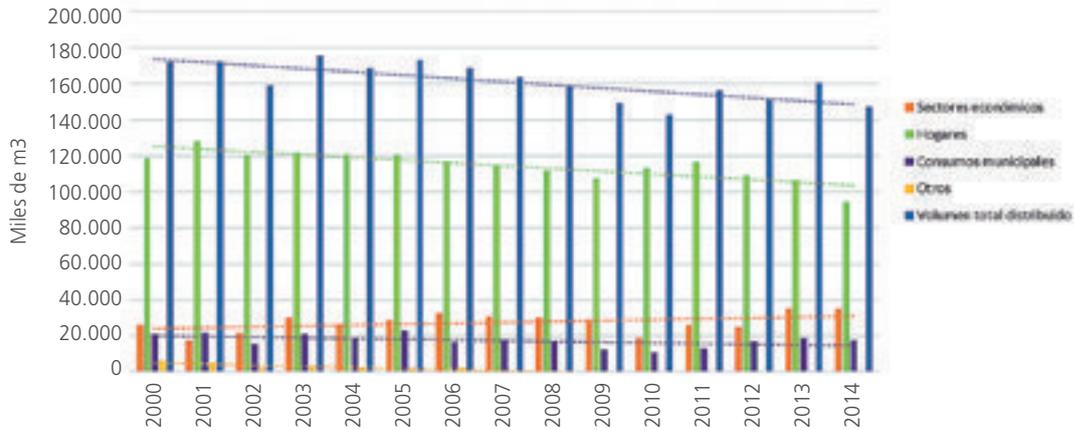


**Gráfico 6:** Evolución de la población en Castilla-La Mancha.  
Fuente: *Elaboración propia (Datos INEbase)*

Si se analizan por separado podemos observar que el principal uso, y con diferencia, es de los hogares y por tanto es el que marca la tendencia del total de los usos de abastecimiento humano. Aquí como ya hemos visto la tendencia es a disminuir, debido a la concienciación general que se va implantando sobre la necesidad de ahorrar y conservar el agua.

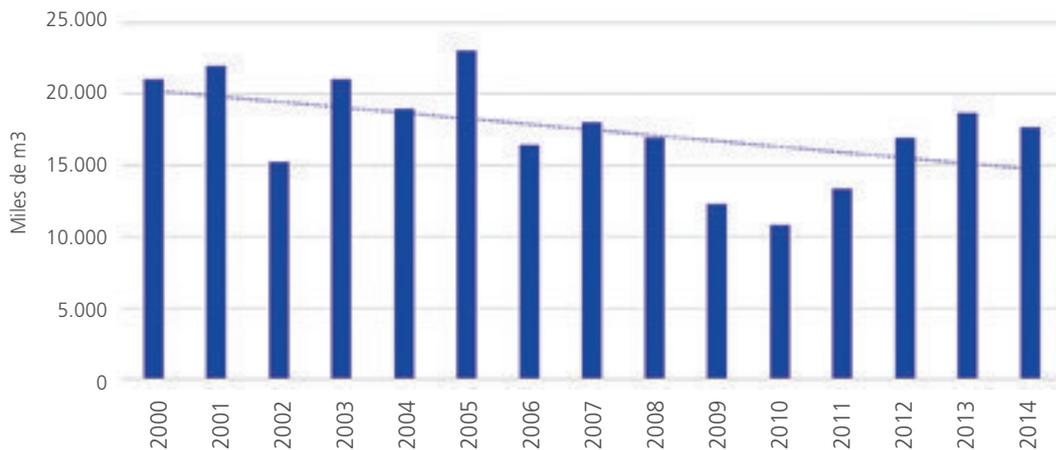
Por el contrario, los usos económicos, han tendido a aumentar, aunque se observa un receso en esta tendencia entre los años 2007 y 2013, coincidiendo con la crisis económica sufrida en este periodo de

### Distribución de consumos humanos de agua



**Gráfico 7:** Evolución del consumo humano de agua por sectores en Castilla-La Mancha.  
Fuente: Elaboración propia (Datos JJCLM)

### consumos municipales de agua



**Gráfico 8:** Evolución de los consumos municipales en Castilla-La Mancha.  
Fuente: Elaboración propia (Datos JJCLM)

tiempo. Aquí y debido a que caminamos a un escenario donde el cambio climático ya es una certeza y todo indica a que la disposición de agua será menor, se deberían implementar políticas y recursos para incentivar el uso eficiente del agua por parte de estos sectores económicos, sin dejar por ello de incentivar el crecimiento de sus actividades.

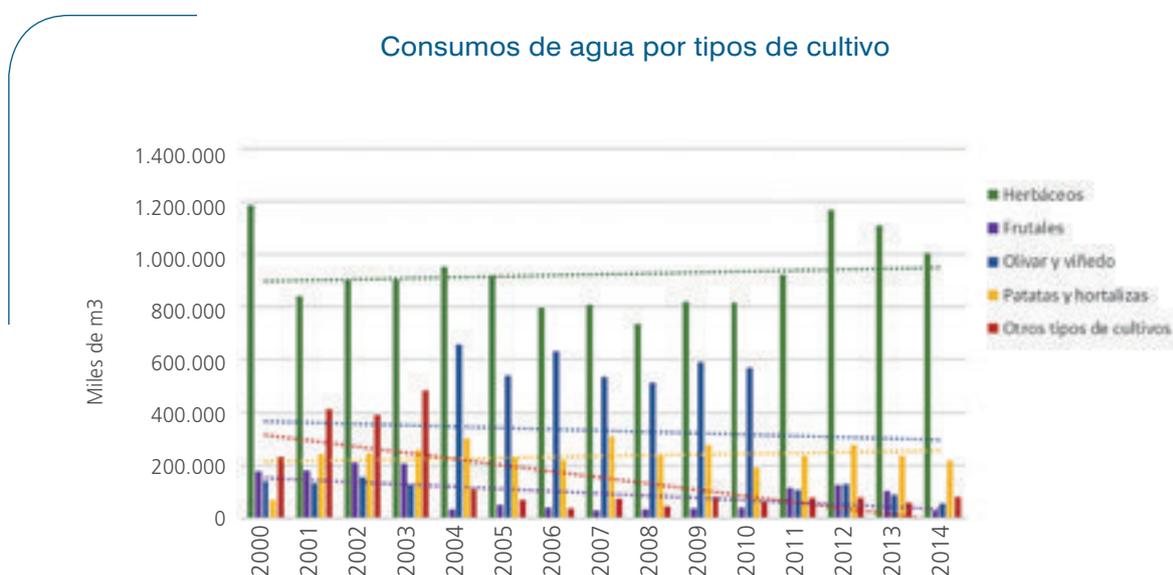
En cuanto a los usos municipales se observa una tendencia de la serie histórica a la reducción del uso de agua, si bien es preciso comentar la evolución de estos consumos desde el año 2009 al 2014. En el 2009 se observa un fuerte descenso. Este fue un año de escasas precipitaciones, por lo que es muy probable que se adoptasen de manera generalizada medidas de ahorro de agua que se mantuvieron en el 2010. Esta situación, se revierte, y los consumos municipales desde el 2010 al 2014 vuelven a repuntar. Esta tendencia no puede ser debido a un aumento de población, como hemos visto al comienzo de este capítulo, si no a la gestión realizada. Esta situación y en un escenario de cambio climático y menor disponibilidad de recursos hídricos, debe de replantearse y adoptar también medidas que incentiven y premien el uso eficiente del agua para los servicios municipales.

## Usos agrícolas del agua

El uso agrícola como ya hemos visto es el principal destino de los recursos hídricos de la región. En la serie histórica del 2000 al 2014 ha supuesto de promedio un 91,5% del total de los usos del agua.

Del análisis de los distintos usos agrícolas del agua entre los años 2000 y 2014 cabe destacar el significativo descenso de uso de agua en los cultivos de olivar y viñedo a partir del año 2011, tras 7 años de uso intensivo de agua en estos cultivos, desde el año 2004. Los años de mayor uso de agua en estos cultivos coinciden con un descenso de utilización en los cultivos herbáceos, por lo que es posible suponer que lo que se alterna en estos años son los tipos de cultivo.

También es muy significativa la tendencia al alza del uso de agua en los cultivos herbáceos. Esta tendencia se va incrementando hasta el punto de que en el año 2014 la utilización de agua en estos cultivos supone el 65% del total del uso de agua de toda la región, incluyendo el abastecimiento humano.



**Gráfico 9:** Evolución de los consumos de agua en función a los tipos de cultivo en Castilla-La Mancha.

Fuente: *Elaboración propia (Datos JJCLM)*

**Tabla 4:** Comparativa del consumo de agua de los tipos de cultivo en Castilla-La Mancha.  
Fuente: *Elaboración propia (Datos JJCLM)*

	Promedio	2000-2014	2014	
Herbáceos	925.362	49%	1.002.718	65%
Olivar y viñedo	331.901	17%	55.400	4%
Patatas y hortalizas	236.883	12%	217.445	14%
Abastecimiento humano	161.330	8%	147.301	10%
Otros tipos de cultivos	152.085	8%	80.330	5%
Frutales	93.999	5%	29.085	2%
<b>Total</b>	<b>1.901.560</b>	<b>100%</b>	<b>1.532.279</b>	<b>100%</b>

Uso agrícola	1.740.229	91,5%	1.384.978	90,4%
Abastecimiento humano	161.330	8,5%	147.301	9,6%
<b>Total</b>	<b>1.901.560</b>	<b>100%</b>	<b>1.532.279</b>	<b>100%</b>

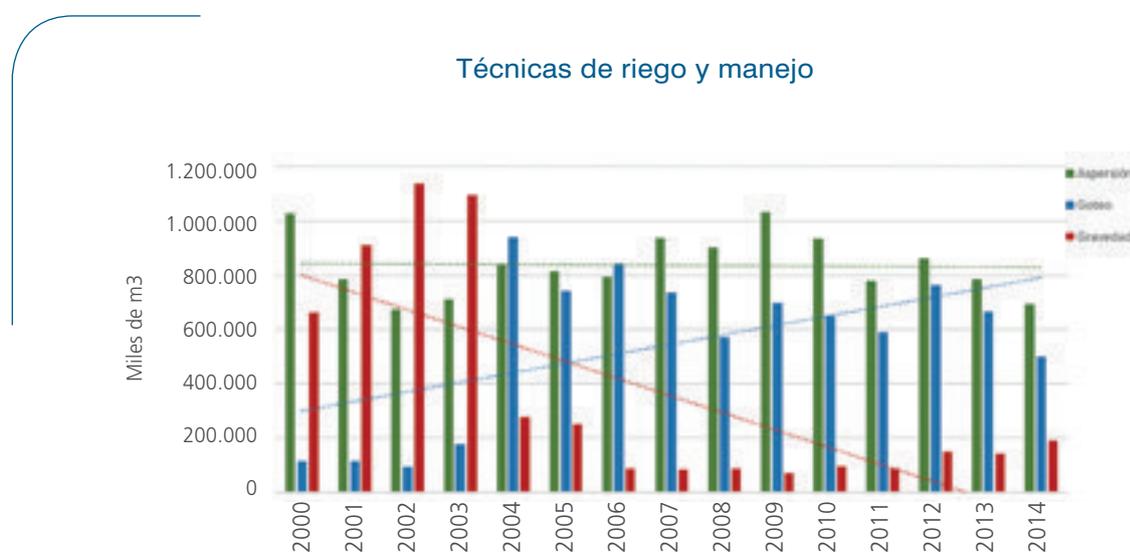
En cuanto a las técnicas de riego utilizadas el dato más importante es la tendencia a aumentar las técnicas de riego por goteo frente a las técnicas de riego por gravedad. El mayor cambio en el uso de estas dos técnicas se produce en el año 2004. Es significativo que casi en el mismo periodo de tiempo, en los años 2004-2005, es cuando también se produce el mayor cambio en la procedencia el agua, pasando de una predominancia del uso de agua superficial a un mayor uso de aguas de origen subterráneas, tal y como se ha visto en el apartado de recursos hídricos subterráneos.

La utilización de técnicas de aspersión, sin ser esta técnica las más eficiente, se mantiene como la técnica de mayor utilización frente a las demás, con una tendencia en el periodo analizado muy constante, aunque con fluctuaciones importantes interanuales, que oscilan entre los 700.000 m<sup>3</sup>/año y los 1.000.000 m<sup>3</sup>/año. Su uso está muy vinculado a los cultivos herbáceos, que ya hemos visto que son los que mayor consumo de agua realizan, de ahí que esta técnica de riego sea también la de mayor utilización.

### Conclusiones de los usos de los recursos hídricos

Tal y como se ha expuesto en el apartado de conclusiones sobre la disponibilidad de recursos hídricos, el único factor sobre el que sí podemos actuar es sobre los usos de estos recursos, ya que su disponibilidad viene y vendrá determinada por la climatología y el régimen de lluvias, sobre el cual, el efecto del cambio climático parece mostrar indicios de tender a reducir las precipitaciones.

En este sentido, deben de marcarse con claridad las prioridades de uso del agua, de forma que en ningún momento los usos críticos, como es el abastecimiento humano o determinados usos ecosistémicos, se pongan en riesgo. Será necesario aplicar factores de seguridad para garantizar unas reservas hidráulicas suficientes, que garanticen la disponibilidad de agua ante los escenarios más desfavorables y teniendo en cuenta los niveles de incertidumbre sobre lo que el cambio climático nos depara, en cuanto a variación de precipitaciones y temperaturas.



**Gráfico 10:** Evolución de las técnicas de riego en Castilla-La Mancha.  
Fuente: *Elaboración propia (Datos JJCLM)*

Es muy importante la correcta gestión del uso de agua para riego de especies herbáceas, que hemos visto que en el año 2014 suponía un 65% del total de todos los usos de agua en la región. Ante un escenario en el cual el efecto del cambio climático parece que nos lleva a una menor disposición de recursos hídricos, es importante incluir políticas agrarias que incentiven los cultivos de menor requerimiento de agua, tratando de que esto no suponga una merma en la rentabilidad del sector agrario. Aquí es importante matizar que el efecto del aumento de temperatura que ya ha sido constatado, como puede verse en el capítulo de climatología, genera también unas mayores pérdidas de agua por evapotranspiración. Para reducir estas pérdidas por evapotranspiración es importante la correcta elección de cultivos y técnicas de riego. También es importante que se incentive la utilización de las más eficientes técnicas de riego para reducir el uso de agua, en cualquiera de los tipos de cultivo existentes.

## Retos

### Retos actuales y futuros

A la hora de definir este apartado es preferible hablar de retos y no de problemas, ya que el que los retos se conviertan o no en problemas, dependerá de cómo gestionemos los escenarios relativos a la disponibilidad y usos de los recursos hídricos.

En cuanto a los retos futuros, probablemente serán los mismos que los presentes, con la diferencia de que serán de mayor dimensión.

En base a lo descrito en los apartados anteriores se pueden identificar dos grandes retos, la *gestión de la escasez* del recurso y la *búsqueda del equilibrio* entre la actividad económica y la conservación de los sistemas naturales.

### Gestión de la escasez

En este punto es importante recalcar que se habla de gestionar la escasez de agua, y no la sequía, para esto vamos a definir sequía.

Se suele definir como un periodo largo, durante el cual no se dispone de agua. Ahora bien, esa falta o escasez de agua puede estar provocada por dos causas fundamentales, porque no haya precipitaciones, o porque se use el agua en un volumen superior al disponible. Por tanto, la sequía o escasez de agua puede ser provocada por causas naturales, descenso de lluvias, o por causas antrópicas, debido a un uso superior al nivel de reposición del recurso.

Ha quedado claro que la escasez de agua por causas naturales es un hecho ya comprobado debido al cambio climático. Las precipitaciones se hacen más irregulares y más torrenciales, lo cual dificulta su aprovechamiento, y todo indica, a falta de confirmaciones más claras en los próximos años, que también estén descendiendo en su volumen anual. Otro factor importante ya constatado por efecto del cambio climático, es el ascenso de las temperaturas, que influye en que el agua disponible sea menor, aunque las precipitaciones se mantuviesen constantes, debido al efecto de la evapotranspiración.

Como conclusión podemos afirmar que por efecto del cambio climático nos enfrentamos a un escenario de futuro en nuestra región en el cual va a haber una menor disponibilidad de agua de la que hemos tenido hasta ahora.

Del análisis de los usos del agua podemos concluir que el total del agua utilizada, desde el año 2000 al 2014, ha venido siguiendo una tendencia descendente. Aunque es importante destacar que esta tendencia es contraria en el uso del agua para regadíos de herbáceas, que llega a suponer en el año 2014 el 65% del total del uso del agua en la región. A pesar de que el descenso general del uso de agua, se ha producido en su mayor parte en los usos agrícolas, la proporción de agua usada en este sector en comparación con el agua usada para abastecimiento humano es muy elevada, manteniendo una relación de 9 a 1 en toda la serie histórica analizada.

Por tanto, es necesario revisar las políticas agrarias para adaptarlas a un escenario desfavorable, en el cual la disponibilidad de agua es cada vez menor y en la que es necesario adaptar los usos del agua para no generar sequías por utilizar este recurso por encima del volumen disponible.

Al mismo tiempo se deben de articular todos los mecanismos necesarios para que el uso para abastecimiento humano siga la tendencia a la baja que se viene logrando desde el año 2000.

### Equilibrio entre actividad económica y conservación de los recursos naturales

El otro gran reto ante un escenario de escasez de recursos hídricos es de lograr el equilibrio entre los usos antrópicos y los usos naturales. Aquí es muy importante regular correctamente el uso del agua superficial de forma que no se pongan en riesgo los ecosistemas dependientes de la existencia de caudales en nuestros ríos, y regular el uso del agua subterránea de forma que no se genere una sobreexplotación de los mismos y la consecuente desecación de los humedales típicos y protegidos de La Mancha Húmeda.

Para ello sería muy recomendable aplicar principios de economía ambiental para valorar correctamente los distintos usos del agua, ya que se tiende a darle un valor económico nulo cuando se habla del agua que circula por nuestros ríos o acuíferos, cuando su presencia en cantidad y calidad suficientes garantiza el desarrollo de actividades económicas que deben de ser también valoradas, como son el turismo, actividades de caza y pesca, actividades de recolección, etc... al tiempo que se evitan costes a los que igualmente debe darse un valor. Un ejemplo son los costes que se generaron en el año 2009 por los incendios de las turberas de la Tablas de Daimiel, debido a la escasez de agua, o los costes que se derivan de tener que abastecer a poblaciones enteras con camiones cisternas ante la falta de agua en los cauces y manantiales habituales.

De esta forma se podría realizar una comparación más realista entre el valor del agua utilizada para distintos fines, y ver las pérdidas o beneficios reales de usarla en uno u otro. Tanto a nivel económico como social. Hasta ahora cuando el agua se "deja correr" por sus cauces o acuíferos, se tienden a valorar las pér-

didadas económicas de esta acción, como el 100% de las pérdidas de los cultivos no regados, aunque a estas pérdidas deberían restárseles el valor de los beneficios económicos generados por estas otras actividades y los daños no generados en caso de haberse usado. Con esta otra forma de medir, es probable que existan muchos casos en los que estas pérdidas se convirtiesen en beneficios. Lo mismo ocurre con los trasvases entre cuencas, en los que estas estimaciones monetarias y sociales cobran aún mayor importancia, ya que se tiende a valorar el agua en el precio de venta establecido o en el valor económico generado en el punto de destino, sin tener en cuenta su valor en origen, basados en los beneficios o los daños evitados que habría generado de usarse para otros fines en sus propias cuencas.

### Conclusiones a los retos actuales y futuros

Ante un escenario de escasez de recursos hídricos como el que hemos descrito es importante realizar una buena planificación de los usos del agua en la cual se tengan en cuenta las siguientes variables:

- Es necesario priorizar los usos por nivel de criticidad, siendo el consumo humano el que prevalezca por encima de cualquier otro. Para ello y ante el escenario que nos plantea el cambio climático en el que ya es seguro que se dispondrá de menores recursos hídricos, se deberían aplicar unos factores de seguridad que garanticen el abastecimiento de las personas en los escenarios más desfavorables.
- Es necesario adaptar los tipos de cultivos a la disponibilidad real de agua.
- Es necesario invertir en la modernización de los sistemas de riego actuales.
- Es necesario invertir en la modernización de las infraestructuras de abastecimiento humano, tanto en las redes de transporte, para evitar pérdidas de agua por fugas, como en las potabilizadoras y depuradoras de aguas para optimizar su funcionamiento y garantizar los mejores parámetros de calidad de agua, tanto para consumo como para su vertido a cauce o posterior reutilización.
- Es necesario regular las extracciones de agua subterránea de forma que no se superen los volúmenes de reposición de los acuíferos.
- Es necesario incentivar e invertir en sistemas de regeneración y reutilización de agua, ya que ante un escenario de escasez, la reutilización es una fuente más de agua que hasta ahora apenas se está usando.
- Es necesario dar un valor más realista a los recursos hídricos en sus distintos usos a la hora de tomar las decisiones sobre la priorización de estos usos. Para esto es recomendable la aplicación de los protocolos de valorización del Capital Natural que se han venido desarrollando desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, que tuvo lugar en Río de Janeiro, Brasil en 2012.
- Es necesario mantener una continua y constante labor de educación, información y formación de todos los sectores de la población para el ahorro y uso eficiente del agua.

### Otra información relevante

Además del análisis realizado hasta aquí sobre los recursos hídricos y sus usos, en el que se ha revisado su disponibilidad, desde un punto de vista de la cantidad en un escenario ya cierto y confirmado de cambio climático, es importante hacer una serie de consideraciones sobre otras cuestiones que también son importantes de cara a la gestión futura del agua en la región.

### Contaminación

De nada nos sirve tener agua si no la podemos usar por su mala calidad.

Ante un escenario de cambio climático se ha visto que en nuestra región la disponibilidad de recursos hídricos se va a ver reducida. Esto también va a afectar a la calidad del agua. Al haber menos disponibilidad de agua, los procesos naturales en los que este agua se regenera de forma natural, se ven también afectados. Es sencillo de entender, si vertemos un compuesto biodegradable a un río caudaloso, esta carga contaminante primero se di-

luirá bastante generando una menor afección negativa, además los procesos naturales de regeneración, como son la oxigenación del agua que se genera al correr y saltar por el cauce del río, se verán potenciados, con lo que en poco tiempo esta carga contaminante habrá sido absorbida por los procesos naturales y desaparecido. En cambio, si la misma cantidad se vierte en un río poco caudaloso, o en muchas ocasiones semi-estancado, lo que va a generar es un episodio de contaminación, con pérdidas de oxígeno en el agua y posible mortandad de peces u otros organismos. Por tanto, el simple hecho de que haya una menor cantidad de agua, ante las mismas cantidades de vertido actuales, puede provocar episodios de contaminación.

Un proceso parecido ocurre en los acuíferos, pero a menor velocidad, y aquí agravado con los fenómenos de sobreexplotación, ya que en muchas ocasiones esta sobreexplotación, cambia las condiciones químicas en las que el agua se relaciona con los sustratos donde se aloja, produciéndose nuevas reacciones químicas que generan migraciones o la aparición de nuevos compuestos que afectan a la calidad del agua.

El simple hecho de que vaya a haber menos cantidad de agua por efecto del cambio climático, es un factor que, de no gestionarse adecuadamente, también va a provocar que empeore su calidad.

### Contaminación difusa

Este tipo de contaminación se produce por el vertido de determinadas sustancias al medio, pero sin que exista un punto de vertido localizado, y mayormente afecta a los recursos hídricos subterráneos. En nuestra región tiene especial relevancia el caso de la contaminación por nitratos, derivado principalmente del uso de fertilizantes en agricultura y residuos ganaderos.

Según la Orden de 07/02/2011, de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente en Castilla-La Mancha existen 7 zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias: "Mancha Occidental", "Campo de Montiel", "Mancha Oriental", "Lillo-Quintanar-Ocaña-Consuegra-Villacañas", "Alcarria-Guadalajara", "Madrid-Talavera-Tiétar", y "Campo de Calatrava".

También se producen efectos de contaminación difusa por aparición de nuevos compuestos en el agua, básicamente en el agua subterránea, por sobreexplotación de los acuíferos.

Este tipo de contaminación, una vez que se produce es casi imposible de eliminar, sino es con el transcurso de mucho tiempo y la renovación de las masas de agua contaminadas, lo cual, y tratándose como hemos visto, en su mayor parte de recursos subterráneos, podemos estar hablando de cientos o miles de años. Ante esta situación, está claro que lo recomendable es evitarlo en origen, mediante la regulación de determinadas prácticas agrícolas y ganaderas y evitando la sobreexplotación de los acuíferos.

### Contaminación puntual

Este tipo de contaminación se produce por vertidos puntuales al medio en lugares concretos y localizados. En este caso los más afectados son los recursos hídricos superficiales.

En nuestra región el principal reto de gestión a afrontar en los próximos años para evitar este tipo de vertidos, es el control exhaustivo de los vertidos industriales, tanto al medio como a las redes de colectores municipales.

Con el mismo nivel de importancia y prioridad, tanto para dar cumplimiento a la Directiva 271/91 sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas, como para evitar cualquier episodio de contaminación por vertidos de origen urbano, se deberá dotar de sistemas de depuración a las aglomeraciones urbanas que carecen de ellos. Más de 400 en el año 2017 en toda nuestra comunidad autónoma, y prácticamente la mayoría de muy pequeño tamaño, por lo que será necesario establecer una política de implantación de sistemas de depuración de bajo coste de mantenimiento, para así garantizar la viabilidad económica de su explotación y por tanto garantizar también su función. Igualmente es importante afrontar la renovación y mejora de las instalaciones existentes.

## Inversión

Como se ha ido viendo a lo largo de este capítulo muchas de las actuaciones necesarias para poder afrontar los retos que se nos presentan en la región vienen condicionadas por la necesidad de inversión:

- Renovación de infraestructuras de abastecimiento (redes y estaciones potabilizadoras).
- Construcción de nuevas infraestructuras de abastecimiento humano que garanticen el suministro básico de la población
- Renovación y construcción de nuevas de infraestructuras de depuración
- Modernización de sistemas de regadío mediante la instalación de las más eficientes técnicas y medios de riego existentes.
- Inversión en control y seguimiento del uso y calidad del agua.
- Inversión en la construcción de infraestructuras de regeneración y reutilización de agua.

Todas estas inversiones van a precisar de la movilización de grandes cantidades de recursos financieros en un breve espacio de tiempo, posiblemente con mayor rapidez de la que se hubiese planificado hasta el momento, debido a las necesidades no previstas por efecto del cambio climático, así como por el nivel de obsolescencia que ya están alcanzando gran cantidad de las infraestructuras existentes.

Para poder movilizar estos recursos y teniendo en cuenta que los fondos provenientes de Europa son cada vez de menor cuantía, es muy probable que sea preciso recurrir a fórmulas de colaboración público-privada, al igual que a replantear las políticas tarifarias, de forma que se tengan en cuenta los costes de amortización de las inversiones a la hora de establecer la cuantía de estas tarifas, tal y como establece la Directiva Marco del Agua.

## Pacto regional y nacional del agua

Los recursos hídricos son la base del funcionamiento de los ecosistemas naturales, y la base del desarrollo humano, tanto social como económico, o lo que traducido a una única frase se puede resumir en que, *“Sin agua ni hay vida, ni hay sociedad”*.

Este principio tan contundente hace que el agua sea querida y demandada por todos, el medio natural y todos los actores humanos que componen el entramado de la sociedad. A esta demanda tan intensa, hay que sumarle que el agua, debido al cambio climático en nuestra región va a ser un bien cada vez más escaso, y por lo que parece por las noticias e informes que se van publicando, también va a ser así en nuestro entorno cercano. Esta situación genera que el agua sea ya el principal motivo de conflictos sociales y de daños ecosistémicos por su sobre explotación.

Estos conflictos, por su complejidad, son el desafío de más difícil arreglo, aunque es completamente necesaria su resolución. Para ello es preciso establecer un diálogo entre todos los usuarios de los recursos hídricos y tener en cuenta sus demandas. En base a estas demandas se deberá establecer una planificación de usos a corto, medio y largo plazo, donde se definan los recursos necesarios para desarrollarla, así como los medios para lograr estos recursos.

Este proceso se está tratando de hacer a nivel nacional desde el Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medioambiente, con la redacción del Pacto Nacional del Agua. Debido a que la Comunidad Autónoma tiene competencias en la gestión de estos recursos hídricos y una gran participación en la gestión e inversión de muchas de las infraestructuras hidráulicas necesarias para la correcta gestión del agua, sería recomendable desarrollar este mismo proceso a nivel regional, de forma que se elaborase el Pacto Regional del Agua, donde se defendiesen los intereses y necesidades de todos los actores de nuestra región. Sin olvidar las necesidades del medio natural, aplicando teorías de economía ambiental y la aplicación de los protocolos de valorización del Capital Natural, tal y como se ha descrito en el capítulo de *“Conclusiones a los retos actuales y futuros”*.

## Bibliografía

- IGME: PORRAS MARTÍN, JORGE; RUIZ CELAÁ, CARLOS; FERNANDEZ SÁNCHEZ, JOSE ANTONIO; GÓMEZ DE LAS HERAS, JESÚS; FABREGAT VENTURA, VICENTE; CGS: LÓPEZ VÍLCHEZ, LUIS; ALMOGUERA LUCENA, FRANCISCO JAVIER; OLIVARES TALÉNS, JUAN; SOLESIO LILLO, JULIAN; ESQUINAS GARCÍA, ANTONIO; FERNÁNDEZ ARECES, JESÚS; VILLANUEVA MARTÍNEZ, EUGENIO; FERNÁNDEZ CAMPOS, GUILLERMO; URQUIZA ESPINOSA, MIGUEL. (1985). *“Síntesis hidrogeológica de Castilla-La Mancha”*. Instituto Geológico y Minero de España.
- PEDRO FERNANDEZ CARRASCO. (2002). *“Estudio del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos. Aplicación en diecinueve pequeñas cuencas en España”*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S.I. Caminos Canales y Puertos.
- DOMINGUEZ PADILLA. ALFONSO; TARJUELO MARTÍN BENITO, JOSE MARÍA; ARTURO DE JUAN VALERO, JOSE; MARTÍNEZ ROMERO, ÁNGEL. (2005). *“Efecto del cambio climático en los recursos hídricos y el regadío. Primer informe de los efectos del cambio climático en Castilla-La Mancha”*. Fundación General de Medio Ambiente. Oficina de Cambio Climático. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- JIMÉNEZ ÁLVAREZ, ANTONIO. (2012). *“Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Informe de síntesis”*. Centro de estudios hidrográficos del CEDEX. Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente.
- MARTIN-ORTEGA, JULIA. (2010). *“Los beneficios ambientales de las aguas del Guadalquivir: un análisis económico”*. Fundación Pública Andaluza Centro de Estudios Andaluces, Consejería de la Presidencia, Junta de Andalucía
- AEAS - ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA Y SANEAMIENTO. (2016) *“XIV Estudio Nacional de Suministro de Agua Potable y Saneamiento en España 2016”*.
- PNUMA. (2012). *“Declaración sobre el Capital Natural”*. Conferencia de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas. Río + 20.



## El futuro del río Tajo en los escenarios de cambio climático y uso de sus recursos

**Roberto Granda Maestre**

*Geógrafo por la Universidad Autónoma de Madrid. Investigador de climas y microclimas en Guadalajara*

### La cuenca del Tajo: delimitación, características y situación

La cuenca del Río Tajo discurre a lo largo de buena parte de la Península Ibérica, integrando y vertebrando el territorio de gran parte de la submeseta sur peninsular. Este río, cuyo nacimiento se encuentra en los Montes Universales (Teruel), tiene una longitud total de unos, aproximadamente, 1000 kilómetros, abarcando a su vez una cuenca hidrográfica de cerca de 80.000km<sup>2</sup>. Las aportaciones que recibe el río son muy dispares en cada zona del territorio, encontrándose unos máximos en cabecera (1100mm) y zonas del Sistema Central, mientras los mínimos se dan a lo largo de su cauce medio y la vertiente sur del río en Castilla-La Mancha (450mm). La evapotranspiración media en la cuenca (agua perdida a lo largo del año) se estima en unos 800mm.

Esta cuenca hidrográfica se encuentra fuertemente regulada, debido a la existencia de numerosos embalses tanto en el río Tajo como en sus afluentes. Las crecientes demandas de agua y electricidad, sumadas a una mayor longitud de los períodos de sequía en la península, han aumentado notoriamente la presión humana sobre el recurso aportado por el río.

Se contabilizan 40 grandes embalses en la cuenca, con distintos usos y una capacidad máxima de 14.500hm<sup>3</sup>, de los cuales 12.500hm<sup>3</sup> pertenecen a España. Los embalses del Río Tajo responden a una gestión plurianual, y variable a lo largo del año: se acumula agua en períodos húmedos y se descarga en secos. Sus niveles de embalse deberían, por tanto, a pesar de unas posibles condiciones de escasas precipitaciones durante años, mantenerse siempre por encima de ciertos mínimos siempre que la gestión fuese adecuada. Sin embargo, esto no es así, y el agua que el río tiene cada año está en descenso, agravado esto por unas menores aportaciones de agua en la cabecera.

factor relevante que agrava la situación que padece el río se encuentra en la puesta en funcionamiento en 1978 del Trasvase Tajo-Segura, el cual ha ido aumentando sus demandas año tras año a causa de las presiones por los aumentos de regadíos en el levante, causando una presión insostenible para el buen mantenimiento del río, sus recursos y su calidad ambiental, ya muy asediado por el uso de la propia cuenca y las más desfavorables condiciones climáticas. Además, el trasvase se traduce un importante impacto negativo en lo económico y lo social en las comunidades bañadas por el Tajo. Los comisarios europeos, en 2016, mostraron su preocupación por el estado del Tajo, criticando la mala gestión del Estado español. Además, aclararon la necesidad de cambiar la situación, ya que el actual modelo de gestión español se centra casi exclusivamente en satisfacer las necesidades de actores económicos, cediendo a sus presiones, y dejando por tanto de lado las preocupaciones ambientales y sociales de la cuenca cedente. Por tanto, queda claro que la gestión hídrica en el país debe pasar de centrarse en el beneficio económico a corto plazo para tener una vista a largo plazo, de acuerdo con un modelo que permita la sostenibilidad de las explotaciones con el mantenimiento de los valores naturales del río y su adecuación a la directiva marco del agua europea.

### Efectos en la producción eléctrica por la disminución del recurso agua

La tendencia a la baja de las aportaciones del recurso hídrico a lo largo de toda la cuenca del Tajo genera un impacto relevante a la hora de la posibilidad de producción de electricidad mediante el agua.

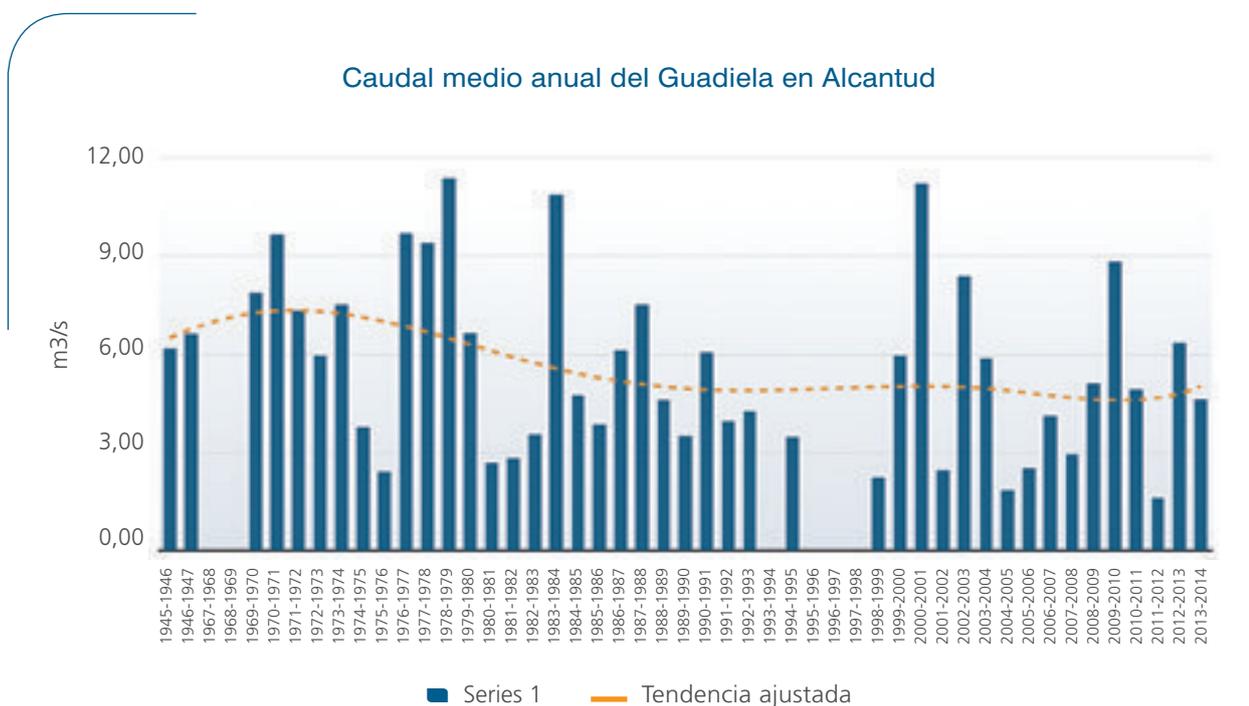
Analizando el ciclo hidrológico mediante modelos que representan sus procesos y evolución, usando diversos escenarios de cambio climático (uno de moderado calentamiento global y otro de extremo), se ha llegado a una serie de conclusiones:

- Los dos escenarios muestran un descenso de las precipitaciones en la cuenca del Tajo
- Disminución generalizada de la producción hidroeléctrica
- Dinámicas diferentes, en función de la capacidad de almacenamiento, a la hora de producir electricidad

Las conclusiones extraídas de la aplicación de los modelos se corresponden con una disminución de las descargas del río Tajo, que podrían aproximarse al 60% en los escenarios más extremos. Esto haría aumentar la vulnerabilidad de la producción hidroeléctrica.

Un caso muy concreto se corresponde con el embalse de Buendía. Si bien este embalse tiene una capacidad de almacenamiento muy elevada, lo que favorecería una mayor capacidad de adaptación que aliviaría algunos de los impactos, esto es posible que no se dé así, ya que, a la disminución del recurso hídrico disponible, tanto en el Guadiela como sus afluentes (gráfico 1), habría que sumar una todavía muy previsible extracción de recurso hídrico para los regadíos del levante, lo cual agravaría una situación ya altamente insostenible de por sí.

Así pues, la gestión de la producción hidroeléctrica debería responder no sólo a la disminución del recurso hídrico, sino a las demandas de agua para otros usos aguas arriba y debajo de los embalses. Por ello, es necesario que la gestión sea integral, sostenible y con vistas a largo plazo, de tal manera que el recurso hídrico pueda ser aprovechado al máximo sin perjudicar la calidad ambiental del río Tajo y sus afluentes.



**Gráfico 1.:** Evolución del caudal en el río Guadiela desde 1945.

Fuente: elaboración propia con datos del MAPAMA

## Relación de los embalses de cabecera con el uso humano del recurso

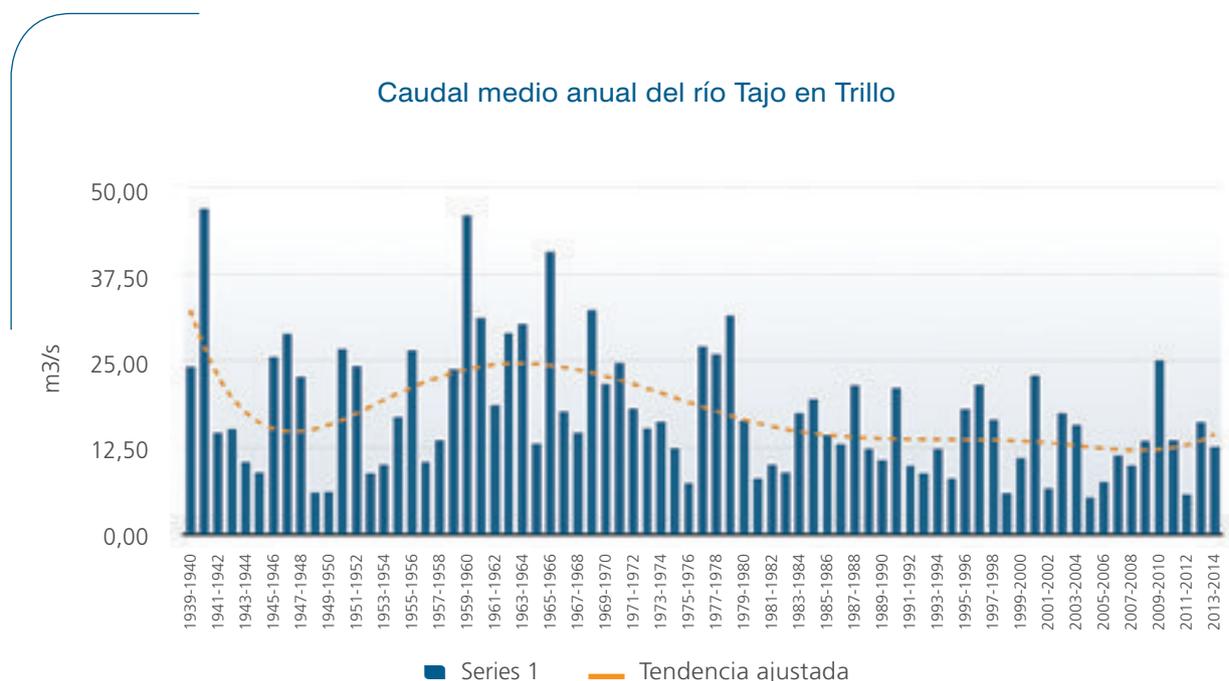
Los embalses de Entrepeñas y Buendía se localizan en la cabecera del Tajo. El primero está surtido por las aguas del propio Tajo, mientras el segundo recibe su aporte del Guadiela y sus afluentes. Estos dos embalses, de elevada capacidad de almacenamiento, son embalses construidos con una gestión del recurso plurianual, es decir, de tal manera que incluso en épocas de sequía haya un volumen de agua embalsado relevante.

La teoría, sin embargo, no se puede cumplir perfectamente, ya que las menores aportaciones por parte de los ríos (gráfico 2) están provocando que la actual gestión hídrica sea ineficiente.

Además, los dos embalses sufren una importante presión por parte del ser humano para el uso de sus recursos, ya que sus aguas en principio estaban destinadas para abastecimiento, producción hidroeléctrica y regadío. Sin embargo, en 1978 se empezó a extraer agua de los mismos para el trasvase Tajo-Segura, lo cual aumentó la presión sobre los mismos. Esta presión añadida ha ido creciendo con el paso de los años hasta el día de hoy.

Para analizar cómo se deben asignar los recursos hídricos partiendo del uso del agua por parte del trasvase, y usando un modelo para la representación de la evolución del ciclo hidrológico y sus procesos asociados, se consideraron tres estrategias de gestión posibles:

- Estrategia 1: definir volúmenes de agua del río Segura y mantener los del Tajo. La estrategia del MAPAMA.
- Estrategia 2: mantener caudales ambientales aguas debajo de Entrepeñas y Buendía, considerando un enfoque variable y de estimación.
- Estrategia 3: se busca evaluar si la demanda de la Confederación Hidrográfica del Segura (540hm<sup>3</sup> en máximo o 340hm<sup>3</sup> en promedio) por año es realizable. Esto implicaría dejar completamente de lado la directiva marco de agua.



**Gráfico 2.:** Evolución del caudal en el río Tajo desde 1939.  
Fuente: elaboración propia con datos del MAPAMA

Los resultados de la aplicación del modelo dan resultados de descarga de aguas bajo el embalse de Zorita, volúmenes de embalses de Buendía y Entrepeñas y volumen de agua entregada al Segura.

Tras el análisis, queda claro que cada vez menos ríos siguen regímenes naturales, y el Tajo es uno de los más afectados por esta tendencia. Así pues, el río Tajo, pese a tener según los escenarios de previsión una menor disponibilidad de agua en el futuro, que sería posible mantener los caudales ambientales. Pese a ello, hay que tener en cuenta las implicaciones socioeconómicas de esta gestión, destacando la parte del Trasvase, ya que hay numerosos intereses que defenderán su relevancia a nivel económico. Es por ello que la gestión del agua debe equilibrar demandas ambientales, económicas y sociales. Así pues, la asignación de recursos hídricos es el proceso a seguir, requiriendo de una interdisciplinariedad. Esto permitiría garantizar beneficios en todos los ámbitos.

### Conclusiones

Tras lo descrito en los dos apartados anteriores, queda claro que el río Tajo se enfrenta a un grave problema de cara al futuro. Las probables menores aportaciones hídricas que se estiman de acuerdo con los escenarios de reducción de precipitaciones, unidas a una importante presión humana sobre los recursos, llevan a escenarios donde el río Tajo no será capaz de mantener su actual ritmo de uso por parte de la sociedad.

Por ello, es necesario que la gestión para el río de cara al futuro pase por un enfoque integrado, donde se tengan en cuenta todos los factores y se busque el punto de equilibrio entre la importancia medioambiental, social y económica.

El Trasvase Tajo-Segura se posiciona como un importante detractor de recurso del río, por lo que es necesario revisar su viabilidad en diversas facetas. La primera es la ambiental, porque hasta ahora nunca ha sido considerada y el paso de los años ha ido demostrando que los impactos causados están siendo muy elevados. La segunda, la social, ya que el Trasvase ha supuesto un enfrentamiento social entre diversas comunidades. Y la tercera y última, la económica, ya que el actual modelo de explotación hídrica para regadíos en el levante es insostenible. Las opciones a futuro pasan por adecuar los cultivos a las realidades climáticas de las regiones o a una mayor disponibilidad de recurso hídrico mediante medios que no sean perjudiciales para otras cuencas (por ejemplo, la desalinización), ya que extraer agua de otras cuencas sólo genera un perjuicio a la cuenca cedente, en todos sus ámbitos.

Sólo mediante una gestión integral, realista y adaptada a las necesidades reales del río Tajo y su entorno se conseguirán mantener unos estándares que permitan el buen mantenimiento del río en los diversos escenarios de cambio climático para el futuro más próximo.

*Este texto está basado en los estudios de Lobanova, A.*

## Bibliografía

- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO (2015) Parte española de la demarcación hidrográfica del Tajo. Propuesta de proyecto de plan hidrológico de cuenca
- KILSBY, C. G.; TELLIER, S. S.; FOWLER, H. J.; HOWELS, T. R. (2007) Hydrological impacts of climate change on the Tejo and Guadiana Rivers. *Hydrol. Earth Syst. Sci* 11: 1175-1189.
- LOBANOVA A, LIERSCH S, TÀBARA JD, KOCH H, HATTERMANN F & KRYSANOVA V (2017) Harmonizing human-hydrological system under climate change: A scenario-based approach for the case of the headwaters of the Tagus river. *Journal of Hydrology* 548: 436-447.
- LOBANOVA A, KOCH H, LIERSCH S, HATTERMAN F & KRYSANOVA V (2016) Impacts of changing climate on the hydrology and hydropower production of the Tagus River basin. *Hydrological processes* 30: 5039-5052.



## Capítulo 3

# En el medio natural



## Efectos observados en la naturaleza, la fauna y espacios protegidos

Pablo Rodríguez Bustamante<sup>1</sup>; Laura Miguel Calleja<sup>2</sup>; Carolina Martín García<sup>3</sup>; Roberto Granda Maestre<sup>4</sup>; Jonathan Gómez Cantero<sup>5</sup>; Pedro Gavidia Sánchez<sup>6</sup>

<sup>1 2 3</sup> GEOCyL Consultoría / <sup>4</sup> Geógrafo. Investigador de la UAMI / <sup>5</sup> Climatólogo, consultor y coordinador / <sup>6</sup> Geógrafo especialista en espacios naturales. Consultor /

Las consecuencias que tiene el cambio climático sobre la fauna y la flora, la naturaleza y, por ende, sobre los espacios protegidos están directamente relacionadas con el clima. Un factor que debe tenerse en cuenta es la adaptabilidad a este cambio y la evolución de las especies. La capacidad de adaptación de los animales a las transformaciones exteriores depende de la velocidad con que se den los cambios, cuanto más bruscos y rápidos sean, mayor dificultad de respuesta observaremos en las especies. Seguramente algunas especies puedan adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, pero ¿hasta dónde llega su margen de adaptación?

Las alteraciones pueden referirse a los hábitats y costumbres, migraciones y reproducción. En este capítulo vamos a analizar cómo el cambio climático está haciendo mella sobre la naturaleza, fauna y espacios naturales, atendiendo a algunos de los estudios más esclarecedores<sup>6</sup> que hay sobre algunos ámbitos determinados.

### Espacios naturales protegidos

Los espacios naturales protegidos son una herramienta que sirve para la conservación del medio natural, existiendo hasta 120.000 lugares a escala mundial con alguna categoría de protección. El 69% se encuentran en la Unión Europea y, en España, -considerando la Red Natura 2000- aproximadamente el 28% de nuestro territorio se encuentra bajo alguna figura legal de protección de la naturaleza, un territorio que contiene una muestra significativa de los paisajes, ecosistemas y especies más representativos y más valiosos.

En concreto, en la comunidad de Castilla-La Mancha se catalogan como aquellas partes del territorio, incluidas las aguas continentales, que, conteniendo recursos naturales sobresalientes o de especial interés, han sido declarados protegidos de acuerdo con lo establecido en la Ley 9/1999 de, 26 de mayo, de Conservación de la Naturaleza. Nuestra región cuenta actualmente con un total de 110 Espacios Naturales Protegidos, ocupando una superficie total de 580.894 hectáreas: 2 parques nacionales, 7 parques naturales, 22 reservas naturales, 6 reservas fluviales, 24 monumentos naturales, 48 microrreservas y 1 paisaje protegido.

En los últimos años, el proceso de abandono de las actividades tradicionales, los cambios de uso del suelo y la urbanización en algunos casos, es con mucho el factor principal de cambio que está operando sobre estos ecosistemas. Superpuesto a este proceso acelerado de cambio en el uso del suelo y los recursos, se encuentra el cambio climático.

Gran parte de los espacios protegidos de Castilla-La Mancha se corresponden con zonas inundables o sectores con un alto valor ecológico por la humedad que presentan frente al resto de lugares de la región (humedales, lagunas, bohonales, lavajos, etc.), siendo precisamente este hecho el motivo por el que tienen un gran valor natural.

El acuífero 23, el más grande de Europa, con 150 km de largo, 50 km de ancho y 70 metros de profundidad, alimenta al Parque Nacional de las Tablas de Daimiel y sufre desde las últimas décadas una enorme inestabilidad hidrológica, en un primer momento, por la sobreexplotación, usado para abastecer gran parte del regadío de la región, y recientemente agravado por los efectos del cambio climático. Así mismo, gran cantidad de bonales que se encuentran, sobre todo al oeste de Ciudad Real, y diferentes complejos



**Imagen 1:** Parque Nacional de Cabañeros. Septiembre de 2017, durante la sequía. Autor: JGC

lagunares que se distribuyen por la región, han ido sufriendo estos cambios en los últimos años; todos ellos acusados por el aumento de las temperaturas y la falta de lluvias.

En las lagunas y sistemas fluvio-lacustres, hay un gran número de espacios naturales protegidos, donde sus posibilidades de conservación se verán limitadas por una mayor vulnerabilidad. Estos espacios son en su mayoría de reducido tamaño, reconocidos bajo numerosas figuras de protección, en la que abunda la Reserva Natural, pero también bajo Reservas Fluviales, Microrreservas, Monumentos Naturales e incluso el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, que antes se mencionaba. Debido al cambio climático, en términos generales, se prevé que habrá dificultades para adquirir buenas las mismas características hidrológicas en las lagunas y en los cursos fluviales, por lo que será necesario establecer enclaves de refugio, para poder proteger algunos de los tipos de hábitats más sensibles.

Respecto a los espacios naturales situados en **zonas montañosas**, la evolución de los efectos del cambio climático, no parece tan obvia, ya que no se producen siempre cambios visibles a simple vista, y por lo general, estos necesitan un mayor periodo de tiempo para transformar el ecosistema, pero lo cierto es que el clima que caracteriza a estas zonas ha ido cambiando, la temperatura media es mayor, y las precipitaciones son en algunos casos menores. Un claro ejemplo se aprecia en el Hayedo de Tejera Negra, en la Sierra Norte de Guadalajara, donde las hayas presentan cada vez más sequedad debido a los cambios en sus condiciones microclimáticas.

En suma, dentro de la región se pueden nombrar varios ejemplos constatados de la influencia que está teniendo en la actualidad el cambio climático, estos se dan en:

### Zonas húmedas:

En la actualidad, el Parque Nacional las Tablas de Daimiel (Ciudad Real), es una de las zonas protegidas más importantes de Castilla-La Mancha. Tiene un total de 2.000 hectáreas potenciales de agua, sin embargo, en el mes de noviembre de 2017 contó con 500 hectáreas encharcadas. Esto se debe fundamentalmente al gran periodo de sequía -3 años secos consecutivos- que se padece tanto en Castilla-La Mancha como en el resto de España (extrapolable a otras zonas). Aunque estos efectos llevan sucediendo desde hace varios años atrás, durante las últimas décadas, estos últimos años han sido especialmente problemáticos, agravados por el cambio climático y sometidos a altas temperaturas -por encima de 30°C durante buena parte del otoño- provocando una elevada evaporación.

Caso semejante el del Parque Natural de las Lagunas de Ruidera (Ciudad Real y Albacete), donde la disminución de los caudales en los cursos de agua conlleva una reducción de la disponibilidad de recursos hídricos durante tiempo prolongado, siendo uno de los ecosistemas acuáticos más afectados. Consecuencias: mortalidad de peces por falta de oxígeno en ocasiones extremas; proliferación de especies invasoras y algas, alterando la composición, número y diversidad de las especies.

Estos efectos son aplicables a buena parte de las zonas húmedas de la región, donde se prevé que haya dificultades para que humedales y lagunas sigan con el mismo modelo hidrológico. Los efectos tenderán a aumentar y multiplicarse en los próximos años a causa del agravamiento de cambio climático, reduciendo así su riqueza ecológica.



**Imagen 2:** Las Tablas de Daimiel durante una de sus sequías. Fuente: JCCM

### Zonas de montaña:

Las zonas montañosas de Castilla-La Mancha también se caracterizan por su alto valor ecológico, por lo que existen gran cantidad de espacios naturales protegidos que se corresponden con estos sectores.

En Cabañeros (Ciudad Real y Toledo) y en el Alto Tajo (Guadalajara y Cuenca), hay estudios que constatan que la encina gana terreno en los bosques mediterráneos frente al retroceso del quejigo, la sabina o el pino negral. Así mismo, se ha podido comprobar que el águila perdicera está entre las especies animales más perjudicadas, por la letal combinación del cambio climático y el abandono rural, que dan lugar a que cada vez haya menos cultivos y áreas asociadas de donde puedan obtener su alimento: conejos y perdices.

En las zonas de montaña, los distintos termotipos de clima que se dan, irán cambiando hasta finalmente transformarse en un clima mesomediterráneo, lo que causa una reducción de los bosques caducifolios, como los quejigares y los robledales y, por tanto, la expansión de especies xerófilas (adaptadas al medio seco). Además, también se está manifestando una disminución en la superficie de pastizales verdes, turberas y trampales.

Según los escenarios propuestos por el Observatorio de la Sostenibilidad en España, durante la próxima década, más del 50% de los espacios protegidos sufrirán de forma importante los efectos del cambio climático, aumentando su aridez. Los espacios naturales ubicados bajo condiciones templado-frías o eurosiberianas experimentarán un cambio que los acercará hacia las condiciones mediterráneas. Por el contrario, los espacios naturales de clima mediterráneo podrán soportar condiciones de aridez y temperatura desconocidas actualmente en la península. Además, se prevén cambios en el área de distribución de muchas especies y de los patrones de diversidad, debido a los cambios en la distribución de los nichos climáticos.

### Impactos del cambio climático en la fauna\*

*\*En primer lugar, para contextualizar, resulta interesante echar un vistazo a las especies cinegéticas: palomas, tórtolas, codornices y zorzales, están viendo afectada su fenología, lo que al mismo tiempo afecta a su biología y conservación. Uno de los motivos por los que se incluyen en este capítulo es por la gran cantidad de estudios que hay sobre este asunto y que resultan de interés no por ser especies cinegéticas, sino al ser consideradas especies silvestres:*

A través de la tabla 1 se pueden ver los cambios -que previsiblemente irán en aumento- y las consecuencias sobre las siguientes especies cinegéticas migratorias:

Otras especies como el conejo, la perdiz y la liebre, tendrán cambios previsibles en relación con la fenología reproductiva (Tabla 2.).

Continuando con las especies cinegéticas, y más concretamente con las aves, el aumento de temperaturas origina un aumento de poblaciones de parásitos, que hará que suba la incidencia de enfermedades en muchas especies faunísticas -especialmente avícolas-, hecho agravado por la disminución del número de heladas (que hacen de filtro protegiendo a la fauna y eliminando ciertas especies parasitarias por su baja resistencia al frío, dificultando su propagación). Estos parásitos afectan a la reproducción y condición corporal de las aves, entre otros. Además, otras enfermedades que transmiten estos vectores a las especies cinegéticas son: la mixomatosis (fundamentalmente al conejo); la peste porcina africana; la viruela aviar, la lengua azul, la tularemia, y distintas parasitosis; o la zoonosis, incluye la fiebre del Nilo que ya se ha visto en Castilla-La Mancha. (Tabla 3).

Aunque estos impactos descritos hacen referencia a especies catalogadas como "cinegéticas", es importante que se considere que habitan el medio natural como cualquier otra, y también forman parte del ecosistema y de la cadena trófica en distintos niveles, por lo que es importante entender estos impactos no sólo por su impacto en la caza, sino también en el medio natural.

Tabla 1

ESPECIES	TENDENCIA EN C-L M	CAMBIOS PREVISIBLES	CONSECUENCIAS
Paloma torcaz (Columba palumbus)	Aumento del número de especies reproductoras e invernantes	Se adelantará la migración de retorno en primavera. Durante el invierno habrá más concentración de estas aves en dormideros y en áreas que tenga acceso a agua y alimento.	La caza se adelantará en contrapasa. Habrá mayor concentración durante el invierno. Riesgos sanitarios. Sensible a conservación de dormideros.
Tórtola común (Streptopelia decaocto)	Se halla en proceso de regresión	Su aprovechamiento se reducirá paulatinamente. Las fechas de migración se verán modificadas (se adelantará la migración postnupcial).	Las Órdenes de Vedas se irán adaptando, con tendencia a excluirse de la lista de especies cazables.
Codorniz (Coturnix coturnix)	Es desconocida	Recurso con fluctuaciones interanuales impredecibles. Es sensible a las fechas de cultivo y cosecha. Los desplazamientos aumentarán. Se adelantará su llegada desde África.	El aprovechamiento cinegético será menor a causa de su impredecibilidad. Mayor vulnerabilidad y necesidad de gestión. Las sueltas de híbridos de granja tenderán a aumentar.
Zorzales (Turdus sp)	Es desconocida	Las fechas de migración se verán modificadas (se adelantará el retorno prenupcial). Hay una gran posibilidad de que se incrementen estas aves en el norte de Europa, con la reducción de invernantes ibéricos.	Adelanto de la caza en contrapasa.

Tabla 2

ESPECIES	TENDENCIA EN Castilla-La Mancha	CAMBIOS PREVISIBLES	CONSECUENCIAS
Perdiz roja (Alectoris rufa)	Es desconocida (velada por sueltas masivas)	Se adelantará y acortará la época de cría. La producción natural será menor y más variable entre años. Incrementará la dependencia de sueltas de perdiz de granja. Se utilizarán más comederos, bebederos, tratamientos sanitarios y control de depredadores de manera artificial	Mayor introgresión de perdices alóctonas, pérdida de variabilidad genética. Habrá mayor número de riesgos sanitarios debido a mayor agregación y por expansión de enfermedades y vectores. Abuso de antibióticos. Repercusiones acerca de la conservación de depredadores
Conejo (Oryctolagus cuniculus)	Incrementará en agrosistemas de hábitat favorable, estable o en regresión en hábitats menos favorables.	Los conflictos por daños aumentarán localmente. Mejora local a la hora de disponer de presas para depredadores amenazados. Probabilidad de que se ocasionen efectos negativos de periodos de sequía.	Será imprescindible ajustar cupos y temporadas de caza a la nueva realidad. Este ajuste deberá emplearse correctamente a la situación local y a las circunstancias de cada temporada.
Liebre ibérica (Lepus granatensis)	Es desconocida	Debido a las variaciones en los recursos tróficos se producirán fluctuaciones interanuales.	Será necesario ajustar de manera anual los cupos de caza.

En cuanto a las principales consecuencias sobre la **fauna silvestre** han de tenerse en cuenta los cambios en los ecosistemas: variaciones geográficas y altitudinales, cambios en la estacionalidad y tasas de disturbios, cambios en la composición de especies y rápido aumento de especies invasoras. Interacciones entre especies: los impactos en las especies silvestres incluyen cambios en la distribución, abundancia e interacciones entre especies; por ejemplo, variación fenológica y desajustes en el calendario de las especies. Los incendios forestales, las sequías cada vez más severas, el desecamiento de bosques antes húmedos y la interferencia y presiones antrópicas hacen que aumente la frecuencia y el daño a los ecosistemas poco adaptados a este tipo de eventos y por lo tanto se producen desplazamientos en la fauna. Por otro lado, tanto la fauna silvestre se ve afectada por el surgimiento y dispersión de patógenos debido a los cambios en el clima, el paisaje y los ecosistemas.

Tabla 3

ENFERMEDAD	ESPECIES AFECTADAS EN Castilla-La Mancha	EPIDEMIOLOGÍA	CAMBIOS PREVISIBLES	CONSECUENCIAS
Enfermedades transmitidas por garrapatas	Todas las especies faunísticas vertebradas por relevancia de zoonosis más que por efectos directos	La abundancia y distribución de las garrapatas viene ocasionada por la de sus hospedadores y por factores como humedad y temperatura. Los inviernos suaves facilitan explosiones demográficas de garrapatas	Aumento en las prevalencias de enfermedades que ya existen (piroplasmosis, anaplasmosis y rickettsiosis, etc.). Posible riesgo de que surjan nuevas enfermedades (fiebre hemorrágica de Crimen-Congo). Incremento del abuso de acaricidas en las fincas de caza.	Se aumentará el número de casos de animales enfermos por garrapatas y en determinadas ocasiones las personas
Fiebre del Nilo y otros flavivirus transmitidos por mosquitos	Varias (aves en fiebre del Nilo,)	El que perdure la enfermedad depende de las poblaciones de vectores (y por tanto de humedad y temperatura) y de los hospedadores.	Aumento del número de casos diagnosticados, tanto en animales como en personas. Posibilidad de que haya riesgo de fiebre del Valle del Rift.	Zoonosis, posibles repercusiones para que se conserven las especies amenaza
Parasitación por protozoos flagelados	Las aves	Que se transmita esta enfermedad depende de la temperatura ambiental y se facilita en el entorno de los bebederos	Incremento de la importancia de estas Parasitosis como consecuencia del mayor uso de bebederos.	Pérdidas económicas en caza. Riesgos por residuos de tratamientos.
Enfermedades víricas del conejo	Los conejos	La mixomatosis proviene de la humedad y de la temperatura, EHC de factores estresantes e inmunidad poblacional.	No hay cambios previsibles.	
Viruela aviar	La perdiz roja y otras aves	Es transmitida por mosquitos, y también depende de la humedad y la temperatura	Aumento de prevalencias	Probabilidad de que ocurran efectos sobre los rendimientos cinegéticos en perdiz natural

Asegurar el manejo de la vida silvestre en medio de muchas otras preocupaciones resultantes del cambio climático constituye un desafío mayor. El concepto de “privilegiar” la conservación de la biodiversidad debe ser aplicado de manera consistente y cuidadosa, es algo que no ha de olvidarse nunca de cara a la planificación.

Un hecho importante asociado al cambio climático y también trascendental para la fauna es la sequía. En nuestra región de estudio, al igual que en otras zonas de la península, ocasionan una disminución en la abundancia y calidad del agua. Su principal consecuencia es la agrupación de la fauna en torno a fuentes o zonas húmedas. Esto incrementa el contagio de enfermedades, que unido a la mala calidad de las aguas en dichos puntos, pueden producir daños muy graves y de difícil recuperación en la fauna silvestre.

También existen posibles efectos indirectos del cambio climático, como ocurre con las aves acuáticas en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel. El número de parejas de patos nidificantes está relacionado con el área inundada. Por tanto, si el cambio climático da como resultado una menor precipitación - por disminución de la pluviosidad- o una mayor evapotranspiración -por aumento de la temperatura-, el área inundada disminuirá y, con ella, el número de patos nidificantes y, a consecuencia de ello, el número de crías.

### Cambios en la vegetación

El cambio climático produce cambios en los periodos vitales de las plantas como la salida y caída de las hojas, y adelanta la floración y la fructificación en multitud de especies. Esta actividad prematura de las plantas hace que estén en peligro a causa de las heladas tardías, tan frecuentes actualmente y en las que la primavera de 2018 ha sido un claro ejemplo. Las respuestas de tipo heterogéneo que se dan al cambio climático, pueden ocasionar desincronizaciones en las relaciones entre las especies: entre las plantas y sus polinizadores o entre las plantas y sus herbívoros, provocando modificaciones en la estructura de las comunidades y alterando así el ecosistema.

Los bosques han ido quedando relegados a las montañas, que ocupan fundamentalmente una orla en nuestra región y las cadenas intermedias de esta como son los Montes de Toledo. Hay excepciones entre las que destacan los encinares de La Mancha, los pinares de pino piñonero de la Manchuela, los sabinars del Campo de Montiel y los bosques galería de las riberas de nuestros ríos. A pesar de haber perdido terreno, los bosques siguen siendo el lugar donde se desarrollan los procesos ecológicos claves para garantizar el mantenimiento de la vida y de la conservación de la naturaleza.

Las todavía extensas áreas forestales, suponen un freno ante el cambio climático y al avance de la desertificación. Así, producen un aumento de la infiltración del agua de lluvia y regulación de caudales, freno de la erosión, incremento de la biodiversidad, refugio y alimento para la fauna, lucha contra el cambio climático y diversificación del paisaje rural. Estas funciones pueden potenciarse mediante la recuperación de enclaves forestales en zonas agrícolas. De estos beneficios ambientales generados por los bosques, y por los montes en general, se hacen partícipes los terrenos de cultivo en ellos enclavados o bien situados aguas abajo del monte que los protege.

La dehesa es un exponente de la conjunción entre lo agrícola, lo forestal y lo ganadero. Así las tierras de labor, la leña que dan los resalvos y podas de las encinas y otros *Quercus*, las bellotas y pastos que alimentan al ganado y el refugio contra las heladas en invierno y contra el sol del estío conviven en armonía formando un ecosistema y estable propiciado por mano del hombre desde la antigüedad. Su belleza paisajística es una de las piezas claves del escenario mediterráneo.

Chopos y nogales son un ejemplo de árboles que están a caballo entre lo forestal y lo agrícola. Los primeros, aprovechados a turnos cortos de entre 10 y 15 años y los segundos a turnos más largos, vegetan sobre suelos húmedos en los sotos de los ríos o bien en vegas con regadío.

La agricultura también contribuye a lo forestal: los bancales enclavados en el monte son una discontinuidad para la propagación de los incendios forestales y facilitan su extinción. La estructura en mosaico se ha demostrado eficaz como defensa pasiva ante el peligro de los incendios forestales, hoy en día el principal peligro que los amenaza.

Las vías pecuarias, bienes de dominio público, por su gran longitud, constituyen pasillos que interconectan distintas áreas de distribución de especies animales y vegetales, agrícolas y forestales, con una gran importancia para la conservación de la biodiversidad.

Se observan ya modificaciones entre especies vegetales, que unen a especies que antes apenas se relacionaban entre sí. Algunas plagas termófilas como la *procesionaria del pino* pueden extenderse en altitud y conseguir poblaciones que jamás antes se habían visto perjudicadas por ella, como ya está sucediendo con otras poblaciones de pino silvestre en la zona de Sierra Nevada (al sur de nuestra región y mayores altitudes), que se ven más afectados por los ataques de procesionaria que por las consecuencias directas del propio cambio climático. Este hecho ya se ha observado en la Serranía de Cuenca durante el mes de diciembre del año 2017 con un fortísimo impacto debido a lo mucho que tardaron en llegar las heladas.

Las especies invasoras, que son especies exóticas incluidas de manera voluntaria o involuntaria por la acción humana, tienen la capacidad de conservar sus poblaciones, expandirse y modificar procesos ecosistémicos clave como la productividad, los ciclos biogenéticos, la regeneración o la dinámica natural. Debido al cambio climático, se produce un recrudecimiento de las invasiones, favorable a este tipo de especies con una plasticidad fenotípica mayor que las autóctonas con las que coexisten.

La sequía y los extremos climáticos ya están comenzando a ocasionar cambios en las comunidades vegetales que no se pueden desplazar ni de forma altitudinal o latitudinal produciendo la extinción local de las especies peor adaptadas. Otra cuestión que afecta negativamente en la productividad primaria de las especies vegetales es el aumento de la aridez y la temperatura, que al mismo tiempo producirá que se sustituyan dichas especies por otras que resistan mejor las nuevas condiciones del clima.

Algunos ejemplos de hechos constatados en Castilla-La Mancha:

En la región del Alto Tajo, se ha descrito un área bioclimática diferenciada de las circundantes, con elementos de flora y fauna de invertebrados (moluscos, carábidos, isópodos) de carácter centroeuropeo que podría desaparecer. (Ramos 1985, Serrano 1984). Ya hace 30 años existían evidencias de que, en caso de producirse un fenómeno de este tipo, que afectase a la distribución e intensidad de precipitaciones y temperaturas, traería consecuencias irreversibles a priori.

En más de 60 bosques de coníferas estudiados a lo largo de la mitad este peninsular la mayoría de las variables dendrocronológicas presentaron una variabilidad creciente durante la segunda mitad del siglo XX, reflejando el aumento de la variabilidad climática y de la frecuencia de eventos extremos. (Tardif et al. 2003, Camarero y Gutiérrez 2004).

La temporada de floración de algunas especies de *Quercus* ha tendido a comenzar antes en la península Ibérica en los últimos años, probablemente debido al aumento de las temperaturas en el periodo previo a la floración, con primaveras cada vez más cálidas tal y como veíamos en el capítulo 1. Se constata el adelanto en la floración en la estación polínica en las localidades del interior peninsular. (Clave mapa: PEN001 García-Mozo et al. 2002. García-Mozo et al. 2006).

El pino carrasco (*Pinus halepensis*) puede verse favorecido, al menos en la mitad oriental peninsular, puesto que soporta relativamente bien los climas semiáridos. En bosques de estas especies situados en zonas áridas de la región mediterránea se ha observado un mayor estrés hídrico que en áreas más favorables, lo que afecta negativamente al crecimiento (Vicente-Serrano et al. 2010).

Uno de los principales grupos de plantas mediterráneas perjudicados son los esclerófilos lauroides relictos. A su vez, como consecuencia de estos cambios, podrían desplazarse los límites de especies de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* entre otros, así como otras especies forestales que se encuentran en su límite climático (condiciones de temperatura y humedad críticas para este tipo de especies).

Para Castilla-La Mancha -y extrapolable a escala estatal- el cambio climático incide en nuestros bosques y, en definitiva, en la biodiversidad, de diversas formas:

- La foliación se adelanta y la caída de la hoja se retrasa en varias especies arbóreas.
- Se producen defoliaciones, disminuye el crecimiento de algunas especies vegetales y se incrementa el número de defunciones.
- Se traslada de forma altitudinal las especies vegetales leñosas y lepidópteros.
- Se ponen en marcha nuevas interacciones bióticas negativas para numerosas especies.

He aquí algún ejemplo de los fenómenos que pueden observarse ya en la región:

Resulta fundamental estudiar la vulnerabilidad de las especies vegetales y los ecosistemas para conocer mejor las alteraciones que propicia el cambio climático y poder prever consecuencias futuras para crear nuevas estrategias de gestión adecuadas a la adaptación. Algunas vulnerabilidades que se están experimentando son:

Tabla 4

IMPACTO	FACTOR CLIMÁTICO	MOTORES DE CAMBIO ADICIONALES	INTERACCIONES BIÓTICAS
<p>Plaga forestal:</p> <p>La caída de las hojas de las especies vegetales y reducciones en el crecimiento en bosques meridionales de pino silvestre, ocasionadas por la procesionaria del pino (<i>Thaumetopoea pityocampa</i>).</p>	<p>Se produce y producirá un aumento significativo de las temperaturas</p>	<p>No se sabe cuáles serán los motores que ocasionarán cambios adicionales</p>	<p>El aumento de las temperaturas en invierno permite que haya una mejor supervivencia de las larvas de la procesionaria del pino (<i>Thaumetopoea pityocampa</i>).</p>
<p>Decaimiento forestal:</p> <p>Defoliación y reducción en el crecimiento en repoblaciones de pino silvestre y pino laricio en Castilla-La Mancha.</p>	<p>Aumento de las temperaturas y disminución de las precipitaciones de primavera.</p>	<p>Modificaciones en la gestión forestal.</p>	<p>Alta densidad: competencia por los recursos hídricos.</p>

Tabla 5

VULNERABILIDAD	FACTOR CLIMÁTICO	MOTORES DE CAMBIO ADICIONALES	INTERACCIONES BIÓTICAS
Aumento de la incidencia procesionaria del pino ( <i>Thaumetopoea pityocampa</i> )	Subida de la temperaturas.	Modificaciones en la gestión forestal	Hábitat adecuado que da la posibilidad de a la propagación de la procesionaria: masas forestales densas y coetáneas
Incremento del número de muertes en bosques ibéricos.	Aumento de las temperaturas y de la aridez.	Transformaciones en la gestión forestal	Elevada densidad: competencia por los recursos hídricos.
Caída de las hojas, disminución en el crecimiento y la regeneración, e incremento de la mortalidad en poblaciones de pino silvestre.	Incremento de la temperatura y eventos de sequía extrema.	Cambios en la gestión forestal	Muy alta densidad: competencia por los recursos hídricos. Planta parásita: muérdago Hongo patógeno: <i>Onnia tomentosa</i> .
Defoliaciones y reducciones en el crecimiento en bosques de pino silvestre relacionadas con el parasitismo del muérdago y su interacción con las sequías.	Subida de las temperaturas en invierno. Aumento en la frecuencia y severidad de sequía extremas.	No hay motores de cambios	Planta parásita: muérdago
Reducciones de efectivos en poblaciones relictas de especies arbóreas.	Incremento de las temperaturas y la aridez	Cambios en el uso del suelo: transformación del paisaje.	Modificaciones en las interacciones bióticas: plagas y patógenos

Por todos estos hechos, resulta imprescindible llevar a cabo unas medidas adecuadas para tratar de reducir los graves impactos del cambio climático en el medio natural. En resumen, existen un gran número de endemismos que pueden perderse, lo que supone una pérdida del valor ecológico, con impacto a escala mundial, como ocurre con las aves puesto que estos lugares sirven de ruta migratoria. Es importante contemplar además el impacto económico que tiene en zonas rurales que utilizan el medio natural y la fauna como atractivo y reclamo turístico, mermando sus posibilidades, además de actividades agrosilvopastoriles que se están viendo perjudicadas.

También los cultivos leñosos juegan un papel importante en la lucha contra el calentamiento global por sus largos ciclos vegetativos que hacen efecto sumidero al absorber CO<sub>2</sub> durante más tiempo. Castilla-La Mancha, con unas 450.000 hectáreas de viña y alrededor de 420.000 h de olivar, es una fuente importante de este tipo de cultivos. Frente a las herbáceas, las plantas leñosas como el olivo, la viña, el pistachero, el almendro o las encinas fijan por más tiempo el CO<sub>2</sub>, un secuestro que es capaz de frenar la escalada de emisiones de este gas, tal y como están evidenciando en el hemisferio norte con el incremento de bosques y con la propia acción de los océanos.

Como respuestas al cambio climático resulta importante un constante mantenimiento de los ecosistemas existentes. Esto es de gran importancia particularmente donde están razonablemente intactos y, por lo tanto, con mayores posibilidades de soportar el cambio climático, puesto que un ecosistema bien conservado es mucho más robusto ante los impactos. Por tanto, una red fuerte y efectiva de áreas protegidas es un elemento fundamental en esta estrategia, como debe plantearse en Castilla-La Mancha.

### Referencias

- BLANCO-AGUIAR, J.A. (2007) Variación espacial en la biología de la perdiz roja (*Alectoris rufa*): una aproximación multidisciplinar. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- BRAVO, F. (2007): El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio climático. Fundación Gas Natural.
- CAMARERO, J.J., GUTIERREZ, E., (2004): Pace and pattern of recent treeline dynamics: response of ecotones to climatic variability in the Spanish Pyrenees. *Climatic Change* 63, 181–200.
- DEMOLIN, G. (1969): Bioecología de la "procesionaria del pino". Incidencia de los factores climáticos. *Boletín del Servicio Nacional de Plagas Forestales*.
- FAO (2013): "La fauna silvestre en un clima cambiante"
- GÓMEZ CANTERO, J. (2017): La sequía estropea el cortejo y reproducción de los ciervos en Cabañeros. CMM (artículo de prensa y reportaje).
- MORENO, JUAN; GALANTE, EDUARDO Y RAMOS, M<sup>a</sup> ÁNGELES (2016): "Impactos sobre la Biodiversidad Animal. Impactos del Cambio Climático en España".
- OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD (2016): "Cambio Climático por Comunidades Autónomas",
- OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD (2016): Evidencias de cambio climático cartografiables sobre la biodiversidad en Castilla-La Mancha
- SÁENZ DE BURUAGA, M., CARRANZA, J. (2009): Gestión Cinegética en los Ecosistemas Mediterráneos. Publicaciones Junta de Andalucía. España
- TARDIF, J., CAMARERO, J.J., RIBAS, M., GUTIÉRREZ, E., (2003): Spatiotemporal variability in tree growth in the Central Pyrenees: climatic and site influences. *Ecological Monographs* 73, 241–257.
- TELLERÍA, J.L., DÍAZ, J.A., PÉREZ-TRIS, J., SANTOS, T. (2011): Fragmentación de hábitat y biodiversidad en las mesetas ibéricas: una perspectiva a largo plazo. *Ecosistemas* 20:79-90.

VV.AA. (2015): Los bosques y la biodiversidad frente al cambio climático: Impactos; Vulnerabilidad y Adaptación en España. Informe de Evaluación. Ministerio de Medio Ambiente, Oficina Española de Cambio Climático y Universidad de Alcalá. 2015

VICENTE-SERRANO SM, BEGUERÍA S, LÓPEZ-MORENO JI, (2010): A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index–SPEI. Journal of Climate.



*mundo*  
*desertificación* *Castil* *cam* **Impacto** *calent* *efecto*  
*temperatura* *clima* *nubosidad*  
*deshielo* *futuro* *forestal*  
*informe preliminar*



## Efectos del cambio climático sobre los montes de Castilla-La Mancha

Francisco Antonio García-Morote <sup>1,2</sup>, Eva Rubio <sup>2,3</sup>, Eduardo Martínez-García <sup>2</sup>, Heli Miettinen <sup>2</sup> y Manuela Andrés-Abellán <sup>1,2</sup>, Marta Isabel Picazo Córdoba<sup>2</sup>, Francisco Ramón López-Serrano <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Departamento de ciencia y Tecnología Agroforestal y Genética. Campus Universitario s/n. 02071. Albacete

<sup>2</sup> Instituto de Investigación en Energías Renovables. Sección de Medio Ambiente. Grupo de Investigación "Medio Ambiente y Recursos Forestales" (<https://www.uclm.es/centros-investigacion/ier/medioam>). Campus Universitario s/n. 02071. Albacete.

<sup>3</sup> Escuela de Ingenieros Industriales. Departamento de Física Aplicada. Campus Universitario s/n. 02071. Albacete

### Introducción

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático de la ONU (*IPCC, 2007*) realizó predicciones sobre los impactos que produciría el Cambio Climático a nivel global, resultando que España sufrirá de forma especialmente severa sus efectos, afectando en gran medida a la biodiversidad de sus ecosistemas. Además, las predicciones pronostican los efectos más importantes en los ecosistemas mediterráneos, dentro de los que se encuentran biogeográficamente la práctica totalidad de los montes de Castilla-La Mancha. Las consecuencias esperables debidas al Cambio Climático son amplias, incluyendo simultáneamente un impacto social (Cambio Global). Un análisis de las causas y efectos de este Cambio Global puede encontrarse en la Evaluación de Ecosistemas del Milenio en España (*EME, 2011*). En la actualidad, se empiezan a constatar los primeros impactos producidos en nuestros bosques por el Cambio Climático, observándose una clara tendencia a la ralentización de algunos de sus procesos vitales, así como una limitación en su papel clave en el balance de C. En este capítulo se describen algunas situaciones ya constatadas de algunos de los efectos más importantes del Cambio Climático en los bosques castellano-manchegos, al tiempo que se revisan sus principales amenazas y su vulnerabilidad. Por último, se proponen algunas estrategias de gestión sostenible y de restauración forestal, que podrían llevarse a cabo para reducir lo posible dichos impactos, adaptando en mejor medida a las masas forestales frente al nuevo escenario climático.

### Impactos observados del cambio climático en montes de Castilla-La Mancha

#### Reducción del crecimiento y productividad: limitación de la capacidad de fijar C de los bosques

En investigaciones que está llevando a cabo la UCLM, dentro del marco del Proyecto de Investigación *FORESTRENGTH (2014-2017)*, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, en las que se simula una reducción de la precipitación del 33% en masas de *Pinus halepensis* y *Pinus nigra* de las Sierras de Segura y Serranía de Cuenca, respectivamente, se observa una reducción significativa del crecimiento en perímetro del tronco de pies del género *Pinus*, fundamentalmente en episodios de sequía extrema, como la habida en el año 2017. La evolución del perímetro del tronco del árbol a lo largo del tiempo está siendo registrada mediante medidores automáticos instalados en el tronco del árbol (registradores de medidas de perímetro del tronco DRL26C® de EMS Brno (Environmental Measuring System, Brno, Czech Republic; Figuras 1 y 2).

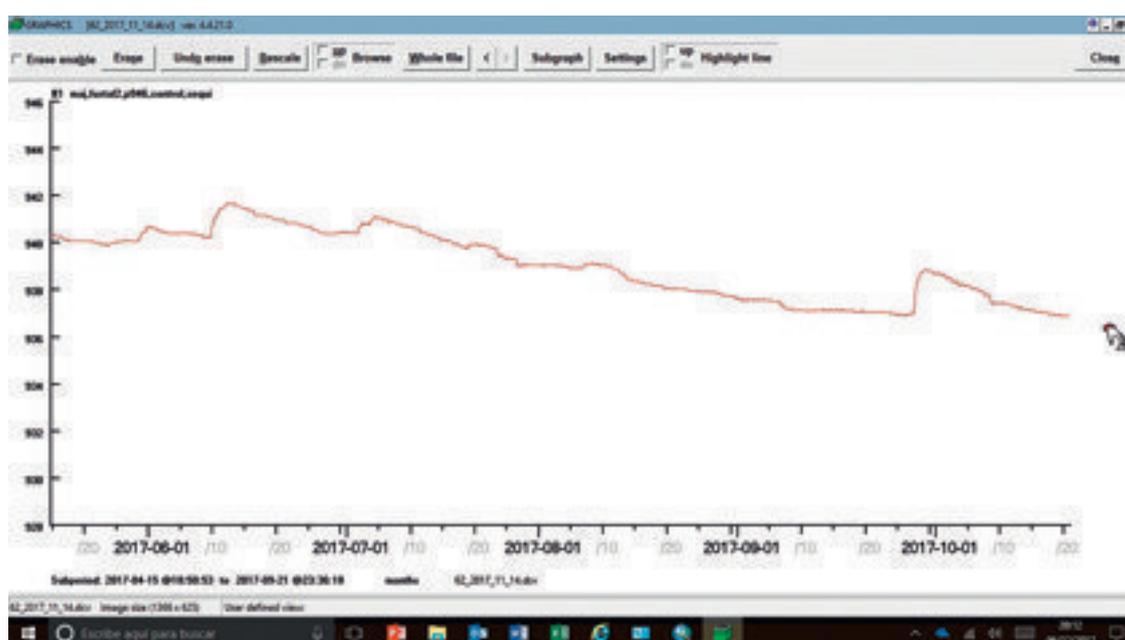
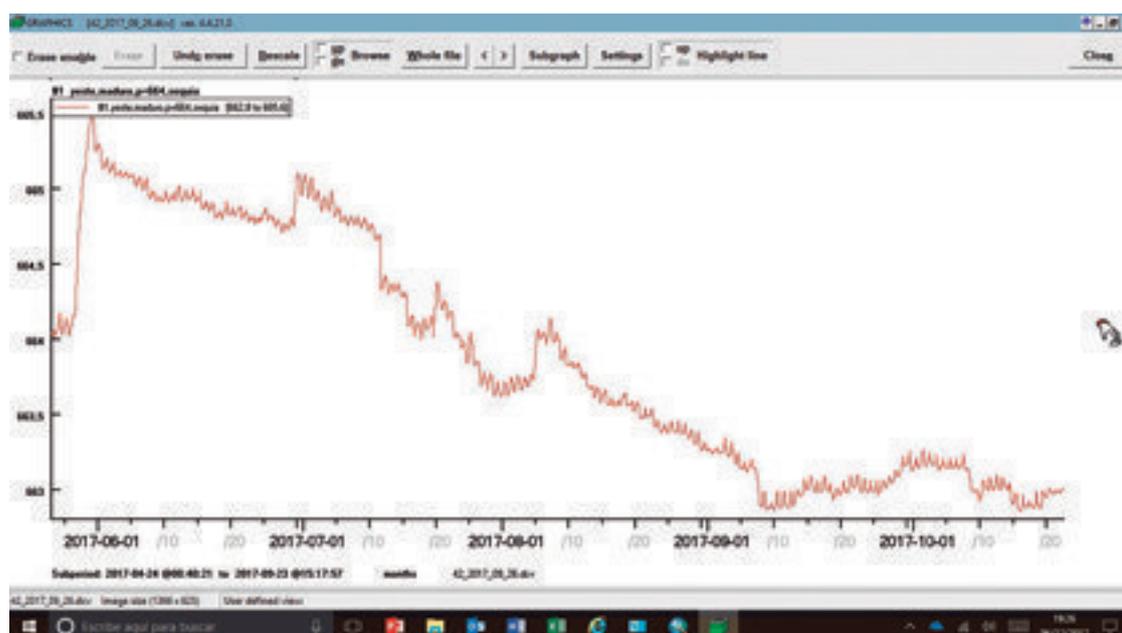
Los primeros datos apuntan a un significativo descenso en el perímetro del árbol en pies sometidos a restricción hídrica (Figura 2). La medición del incremento del tronco es una herramienta bastante eficiente

para obtener información sobre crecimiento y estrés hídrico del árbol. El impacto de un déficit hídrico severo sobre la fisiología del árbol limitará la capacidad del monte castellano-manchego como sumidero de C, y por tanto su potencialidad para reducir el exceso de CO<sub>2</sub> atmosférico. En efecto, una menor disponibilidad hídrica debido a los episodios de estrés hídrico repercute en que la actividad fotosintética sea menor, aumentándose la respiración necesaria para poder metabolizar las reservas acumuladas y poder combatir los efectos de la falta de agua. En masas forestales estresadas de manera severa, se podría llegar al punto de que el bosque castellano-manchego podría pasar de ser sumidero de C, a emisor neto de CO<sub>2</sub> en algunos periodos de su ciclo de actividad.

Los primeros resultados nos indican que la reducción de crecimiento en el tronco es más acusada en los sistemas forestales más vulnerables, aquellos con especies menos xéricas (pinares de *Pinus nigra* en Serranía de Cuenca), con valores de decrecimiento en perímetro en árboles monitorizados de -1,40% para *Pinus nigra*, y de -0,40% para *Pinus halepensis* en la Sierra del Segura (año 2017). El decrecimiento en perímetro de tronco tiene su repercusión en la limitación de la productividad forestal. En este sentido, en masas de *Pinus pinaster* del Sistema Ibérico castellano-manchego, y de las Sierras de Segura-Alcaraz, se ha constatado la no validez de los modelos actuales de estimación de la productividad basados en el índice del sitio, como altura dominante a una determinada edad, pues la altura dominante de las mejores calidades ya no es alcanzada por la masa.



**Figura 1.:** Medición continua del perímetro del tronco del árbol a lo largo del tiempo mediante un medidor automático DRL26C® de EMS instalado en el tronco del árbol de *Pinus halepensis* Mill. en el M.U.P. nº 92 "La Florida y Tinjarra" (Yeste, Albacete). El árbol monitorizado se encuentra en una parcela de experimentación con un 33% de exclusión de precipitación (el sistema de exclusión de precipitación se observa en el fondo, realizado mediante canalones instalados con la pendiente adecuada).



**Figura 2.:** Mediciones continuas de perímetro del tronco (mm) al nivel normal (1,30 m desde el suelo) registradas con medidor automático DRL26C®, para un árbol adulto (dn=21 cm) de *Pinus halepensis* Mill. en la Sierra del Segura (Yeste, Albacete; arriba), y para un árbol maduro (dn=30 cm) de *Pinus nigra* Arnold de la Serranía de Cuenca (Las Majadas, Cuenca; abajo). Se observa el decrecimiento en perímetro normal experimentado desde principios de junio de 2017 hasta el inicio del otoño, debido al rigor del estrés hídrico.

### Debilitación de las masas: decaimiento y mortalidad

Es de esperar que los impactos debidos al estrés hídrico sean mayores en las especies más vulnerables (*Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*) que en las más adaptadas a las sequías (*Pinus pinaster* y *Pinus halepensis*), pero también los impactos se producirán de manera más severa en las zonas biogeográficas más desfavorables (menor precipitación y mayor temperatura), localizadas en el Sureste de Castilla-La Mancha. Este hecho empieza a generar un incremento de la xerofilia de las masas forestales castellano-manchegas.

Los episodios constatados de decaimiento en las especies más vulnerables, con pérdida constante de crecimiento y vigor, pueden desencadenar un aumento de la mortalidad. La debilitación y decaimiento es un problema en gran número de antiguas repoblaciones, pues las especies más vulnerables fueron muy utilizadas en estaciones poco propicias, especialmente *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*. Estas repoblaciones se encuentran actualmente en algunas localizaciones de sitio no adecuadas, debido al Cambio Climático, y también por la falta de gestión forestal (especialmente en montes privados).

En Castilla-La Mancha, comienzan a ser preocupantes los procesos de decaimiento o “seca” en especies del género *Quercus*, especialmente en los Montes de Toledo. En estas masas existe una mayor predisposición a que los impactos del Cambio Climático sean más severos, debido por una parte a la falta de gestión, y por otra a la existencia de rodales con pies envejecidos. Las sequías estivales de 1994, 2003, y 2005 supusieron el punto de inicio de los procesos de decaimiento, que han sido agravados por las sequías de los años 2016 y 2017. Al decaimiento extremo y mortalidad contribuyen en gran medida agentes patógenos (fundamentalmente hongos), como *Phytophthora cinnamomi*, teniendo como resultado la fosilización del bosque de quercíneas e incluso su desaparición en algunos rodales (Figura 3).



Figura 3.: “Seca” de encina en una masa de los Montes de Toledo (Fuente: JCCM).

## Problemas en la regeneración

Se aprecian tendencias que demuestran la dificultad e irregularidad con que se produce la regeneración natural de las coníferas más vulnerables, y en general la fosilización de las masas de *Quercus*. Especialmente en *Pinus nigra* del Sistema Ibérico se observan fructificaciones irregulares, y nunca abundantes, en años consecutivos. La regeneración depende y se ve afectada, además del grado de cobertura suministrada por el estrato arbóreo, de la mayor recurrencia de sequías estivales, la disminución de la precipitación estival, la predación, y el aumento de competencia con las especies herbáceas. Además, el abandono del monte por parte del hombre ha generado un aumento de la carga de especies herbívoras (cérvidos). Una fuerte carga afecta a la regeneración, a causa del ramoneo sobre los árboles jóvenes, y la alteración del suelo (eliminación del estrato orgánico y compactación debido al pisoteo) limitando la probabilidad de germinación de las semillas.

Especialmente incierta es la regeneración forestal en un escenario post-incendio, sobretudo en especies que no están adaptadas al fuego (no resilientes, como *Pinus nigra*). En incendios ocurridos en masas de *Pinus nigra* de Castilla-La Mancha, como el de Las Majadas (Cuenca) de julio de 2009, la regeneración de esta conífera es prácticamente inexistente (Figura 4). En estos casos, la dinámica post incendio puede derivar en la sustitución de especies de media sombra, por otras heliófilas y mejor adaptadas a los incendios, como pudieran ser *Pinus halepensis* o *Pinus pinaster*.

No obstante, los problemas de regeneración también se empiezan a producir en masas de especies xerófilas y más resilientes, como *Pinus halepensis*, debido a una mayor intensidad y duración de las sequías estivales en ombroclima semiárido (Sureste de Castilla-La Mancha), como las acaecidas los años 2016 y 2017. Es el caso de algunos rodales de los montes incendiados en la Sierra de los Donceles (julio de 2012). La elevada competencia con las especies del matorral serial, así como la falta de lluvia otoñal, están desencadenando una alta mortalidad en pies de regenerado de *Pinus halepensis* Mill. (Figura 5).

En el incendio de la Sierra de los Donceles, es reseñable la altísima densidad de regenerado de pino carrasco observada en la primera primavera tras el incendio, con un valor medio de 80.306 pies/ha (correspondientes a 111.458 pies/ha en umbrías, y 49.153 pies/ha en solanas). No obstante, la mortalidad posterior es muy elevada, reduciéndose paulatinamente el número de pies de regenerado de



**Figura 4.:** Rodal del M.U.P. nº 133 "Ensanche de Las Majadas" (Cuenca) afectado por el incendio de julio de 2009. Se aprecia una total ausencia de regeneración de *Pinus nigra* (especie no resiliente).



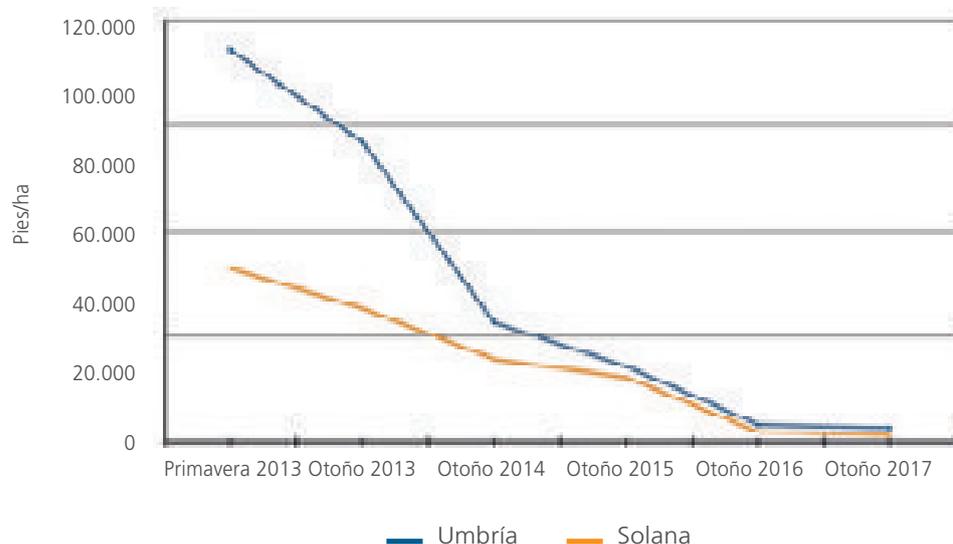
**Figura 4.:** Rodal del M.U.P. nº 133 "Ensanche de Las Majadas" (Cuenca) afectado por el incendio de julio de 2009. Se aprecia una total ausencia de regeneración de *Pinus nigra* (especie no resiliente).

pino hasta los 1.597 pies/ha en 2017, siendo la media en umbrías significativamente superior, 3.903 pies/ha frente a 2.750 pies/ha en solanas, situación en la que la vulnerabilidad del regenerado de pino carrasco se está evidenciando ser mayor (Figura 6).

### Aumento de la frecuencia e intensidad de grandes incendios forestales

Los grandes incendios forestales, aquellos cuya superficie es superior a 500 ha, son cada vez más frecuentes en Castilla-La Mancha. El número de grandes incendios forestales que ha sufrido Castilla-La Mancha entre los años 2001-2015 es superior a la media española, según los datos del informe "Dónde arden nuestros bosques" de WWF España, donde se aportan un total de 53.225 ha quemadas en todo el periodo, la mayor parte de ellas (55%) en grandes incendios forestales. Destacan las 10.352 ha quemadas en el incendio de Guadalajara (julio 2005), 1.200 ha en Uña-Las Majadas, y 1.870 ha en Poyatos (julio 2009), o 5.466 ha en la Sierra de los Donceles (julio 2012). Muy recientemente, otras 3.200 ha de la Sierra del Segura en Yeste (julio 2017) han sido destruidas por el fuego, afectando a un Espacio Natural Protegido (700 ha quemadas en el Parque Natural de los Calares del Mundo y de la Sima, reservorio de biodiversidad de flora y fauna, causando un impacto severo sobre las poblaciones de fauna y flora que necesitan una mayor conservación en la Sierra del Segura (Figura 7).

Sin duda, el aumento de las temperaturas medias y la reducción de la precipitación que se observan en Castilla-La Mancha, además en periodos más extensos de tiempo, configuran escenarios mucho más favorables para la ignición y propagación del fuego, haciendo más vulnerables a los montes castellano-manchegos. Por ello, se constata un aumento en la frecuencia e intensidad de incendios, debido a la existencia de menor humedad de la vegetación en un mayor intervalo de tiempo, y mayor inflamabilidad del modelo de combustible. Ello deriva en el alargamiento del periodo de máximo riesgo, existiendo una relación positiva entre número de grandes incendios vs. número de días en condiciones extremas. A su vez, el abandono del monte por la escasa rentabilidad de los



**Figura 6.:** Variación de la densidad de regenerado de pino carrasco post-incendio (incendio de la Sierra de los Donceles, julio 2012). La intensidad de la sequía de los años 2014 a 2017 ha aumentado la mortalidad del regenerado de manera muy significativa, comprometiendo la regeneración de la masa incendiada en algunos rodales.



**Figura 7.:** Labores de extinción mediante medios aéreos en el gran incendio forestal de Yeste (Sierra del Segura, Albacete) de julio de 2017 (Fuente: JCCM). Este incendio afectó a unas 700 ha del Parque Natural de los Calares del Mundo y de la Sima, produciéndose un gran impacto sobre montes que albergan una mayor biodiversidad y que es necesario proteger de forma prioritaria.



**Figura 8.:** Procesos erosivos en un rodal del MUP Grajas (Hellín) tras el incendio de La Sierra de los Donceles de julio de 2012. Es posible la creación de barreras de retención del suelo con el arbolado muerto (fajinas o pilas de ramas), para disminuir la erosión.

productos forestales pudiera favorecer la magnitud de los incendios, debido a la mayor acumulación de combustible. El aumento del uso y actividades recreativas constatado, contribuirán a aumentar el riesgo de incendios forestales. Por todo lo anterior, resulta fundamental impulsar la gestión forestal sostenible en Castilla-La Mancha, tanto en productos consuntivos como en el aprovechamiento no consuntivo de forma planificada.

### Aumento de los procesos erosivos

Se está constatando un aumento de la intensidad de los aguaceros, debido a la mayor irregularidad climática, lo que supone un aumento de la torrencialidad y de los procesos erosivos. Este fenómeno repercute en la pérdida de cubiertas vegetales y, en definitiva, en la pérdida de suelo. Los incendios asociados al monte mediterráneo aceleran el proceso de erosión y pérdida de suelos (Figura 8).

Aplicando el modelo USLE de pérdidas de suelo en un SIG, sobre 5.451 ha correspondientes al incendio de la Sierra de los Donceles, nuestro grupo ha delimitado 397 microcuencas (con superficie media de 16,73 ha), con una tasa de erosión para el total de las microcuencas de 74.079 t/año, equivalente a una erosión media de 13,6 t/ha/año. Del total de microcuencas, 221 (55,7%) presentaron tasas de erosión media mayores a 10 t/ha/año. Según el Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002-2012 del Ministerio de Medio Ambiente, esta tasa media de pérdidas se correspondería con una erosión muy alta, con una vida útil del suelo inferior a 10 años, resultando un rebajamiento anual de suelo de 1,1 mm aproximadamente.

### Plagas y enfermedades

Se evidencia la expansión del área de afección de insectos con actividad limitada por frío, lo que genera un aumento en altitud de los ataques de plagas, la aparición de nuevos patógenos, así como la alteración de los ciclos temporales de las especies. La modificación del área de influencia en altitud se está observando en *Thau-*



**Figura 9.:** Pinar de *Pinus nigra* Arnold. del monte Ensanche de Las Majadas, a 1.400 m.s.n.m., con una altísima defoliación y daños severos en copa debido a la procesionario del pino (noviembre 2017). Daño en tronco de *Ips sexdentatus* B. en un pie de *Pinus pinaster* del Sistema Ibérico.

*metopoea pityocampa* D. (procesionaria del pino). Dado que el desarrollo larvario se produce en invierno, la mayor duración de periodos con altas temperaturas favorece ataques de plagas, de mayor intensidad y a una mayor altitud. Este impacto ha sido observado por ejemplo en pinares de laricio (*Pinus nigra* Arnold) de la Serranía de Cuenca a 1.400 m.s.n.m., en el otoño-invierno de 2017 (Figura 9), con daños en copas muy severos. Por otra parte, se está observando en los montes de Castilla-La Mancha la aparición de varios ciclos en un año de *Ips sexdentatus* B., sobretudo en masas de *Pinus pinaster* Ait. Estos daños reducen los crecimientos del pinar de rodeno y limitan el papel de esta importante masa forestal mediterránea en la fijación de C.

### Tormentas y vendavales (ciclogénesis explosivas)

Se constata una mayor frecuencia de vendavales en los que la velocidad del viento es capaz de causar daños mecánicos al arbolado. Estos fenómenos de “ciclogénesis explosivas” favorecen los efectos negativos del viento en la masa, por daños en copa o llegando a derribar incluso al arbolado, con la siguiente pérdida de productividad de la masa forestal (Figura 10). Los montes castellano-manchegos presentan en este sentido una nueva vulnerabilidad, debido a fenómenos de vientos extremos en las ciclogénesis.

### Alteración de las comunidades vegetales

Debido al incremento de la xerofilia, se prevé las sustituciones de especies. Por ejemplo, *Pinus pinaster* por *Pinus pinea* en la Meseta, y *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra* por *Pinus pinaster* en el Sistema Ibérico y la Sierra de Segura (eso sí, en donde el tipo de suelo lo permita). La mayor vulnerabilidad de las masas de pino laricio y silvestre podría generar problemas de fragmentación en estas masas, con el consiguien-



**Figura 10.:** Daños en el monte por derribos de arbolado debido al viento en ciclogénesis explosiva (rachas de 100 km/h) en una masa de *Pinus halepensis* Mill. de la Hoz del Júcar (Albacete), en enero de 2016.

te riesgo de limitación genética y de falta de regeneración. Asimismo, los cambios en los regímenes térmicos y pluviométricos generan cambios en la fenología de las especies, afectando a las fechas de floración y fructificación, así como a la cantidad de frutos y semillas disponibles para la regeneración. Ello puede tener consecuencias muy severas en los ecosistemas forestales, provocando alteraciones en las estructuras de las comunidades vegetales. Este cambio fenológico podría propiciar también hibridaciones, por ejemplo, es el caso de *Pinus nigra* subsp. *salzmanii*, y *Pinus nigra* subsp. *nigricans* var. *austriaca*. Teniendo en cuenta que la subespecie que inicia la floración más temprano, la alóctona, es la que tiene un período de polinización más largo, podría ocurrir que llegasen a solaparse los períodos de polinización de las dos subespecies. En este sentido, deben priorizarse los tratamientos que permitan eliminar las especies exóticas de nuestros montes.

Por otra parte, en los bosques de ribera asociados a los cursos permanentes de los montes castellano-manchegos se está produciendo un desplazamiento de especies debido a la disminución de caudales circulantes, pasando de vegetaciones ripícolas propias de sistemas lóuticos o de aguas corrientes, a lénticos o de aguas estancadas, como son la caña y el carrizo (Figura 11).

## Cambios en la concentración de $\text{CO}_2$ atmosférico en nuestros montes

### Introducción

Aunque no se trata de un impacto directo sobre la vegetación, la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera es uno de los indicadores del cambio climático global basados en observaciones atmosféricas microclimáticas que se realizan en todo el mundo. El aumento de la temperatura global es solo uno de estos indicadores. Pero también, los niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera, la extensión del hielo marino del Ártico, o los patrones de precipitación y eventos extremos, son indicadores del cambio climático.



**Figura 11.:** Invasión de caña en el bosque de ribera del río Júcar aguas abajo del embalse de Alarcón (Cuenca) con desplazamiento de especies autóctonas de ribera (olmos, sauces y chopos).

La concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$  es uno de los indicadores más estudiado y reconocido de cambio climático global. En esta sección nos centramos en éste indicador atmosférico medido en ecosistemas forestales de Castilla-La Mancha. Pero además de ser un indicador, el  $\text{CO}_2$  atmosférico se plantea como un factor de cambio global que influye en las interacciones entre plantas y animales.

### Cambio en la concentración de $\text{CO}_2$ atmosférico en montes

Datos de la concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$  se han obtenido a partir de estaciones "eddy covariance" instaladas en diferentes ecosistemas forestales de Castilla-La Mancha representativos de las principales formaciones forestales. En concreto, los ecosistemas analizados corresponden a masas forestales de *Pinus nigra* Arn. (Las Majadas, Cuenca), de *Pinus halepensis* Mill. (Yeste y Hellín, Albacete) y de *Juniperus thurifera* L. (El Bonillo, Albacete).

La técnica "eddy covariance" es una técnica micrometeorológica ampliamente aceptada por la comunidad científica para la medición de flujos de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , que junto con mediciones complementarias de variables ambientales (radiación, viento, temperatura, humedad, precipitaciones, flujo de calor en el suelo, temperatura y humedad del suelo,...) y de la vegetación, permite medir de forma directa, no intrusiva, el intercambio neto de carbono a nivel de ecosistema, esto es, la productividad neta del ecosistema (NEP) y, adicionalmente, calcular las componentes del balance de carbono. Esta línea de trabajo se está desarrollando siendo de gran interés para la evaluación de la productividad global de las masas forestales, así como para la evaluación del efecto sumidero de  $\text{CO}_2$  que los bosques castellano manchegos realizan.

Observaciones de la concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$ , (razón de mezcla, en micromoles de  $\text{CO}_2$  por mol de aire seco, ppm) se han realizado de forma sistemática desde estas "torres de flujos" con una frecuencia de 10 Hz y promediada a datos medio horario (cada media hora), durante un periodo de unos cinco años,



**Figura 13.:** Fotografías de las torres de flujo “Eddy covariance” en algunas de las zonas forestales de Castilla-La Mancha. (a) El Bonillo, (b) Las Majadas quemado, (c) Las Majadas, (d) Yeste

con algunas discontinuidades, entre mediados de 2011 y principios de 2017. Es de mencionar que dichas torres forman parte de la Red Global de estaciones de medidas de flujos a nivel de ecosistema (FLUXNET, Baldocchi et al, 2001).

La Figura 13 ilustra los sitios y Torres arriba mencionados desde las que se han efectuado las observaciones. La frecuencia y duración de los datos obtenidos permite el estudio de la dinámica diaria, estacional e inter-anual de la concentración de  $\text{CO}_2$ , y por ejemplo analizar su sensibilidad a eventos cada vez más virulentos, como son los incendios forestales.

### Variabilidad interanual de la concentración atmosférica de $\text{CO}_2$ en los montes de Castilla-La Mancha

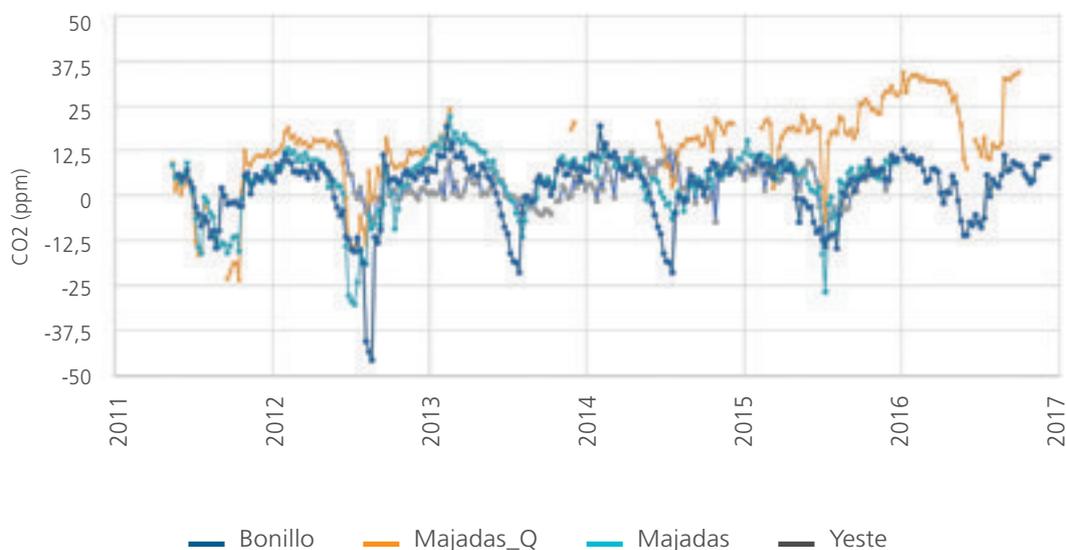
La medición a lo largo de más de cinco años de la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera permite evaluar tendencias, como el aumento anual de la concentración de  $\text{CO}_2$ , y caracterizar su variabilidad estacional

e interanual, en ecosistemas forestales “sin perturbar” y en ecosistemas “perturbados”, afectados por incendios. Este aspecto del diseño experimental posibilita cuantificar el efecto de los incendios en la concentración de CO<sub>2</sub>.

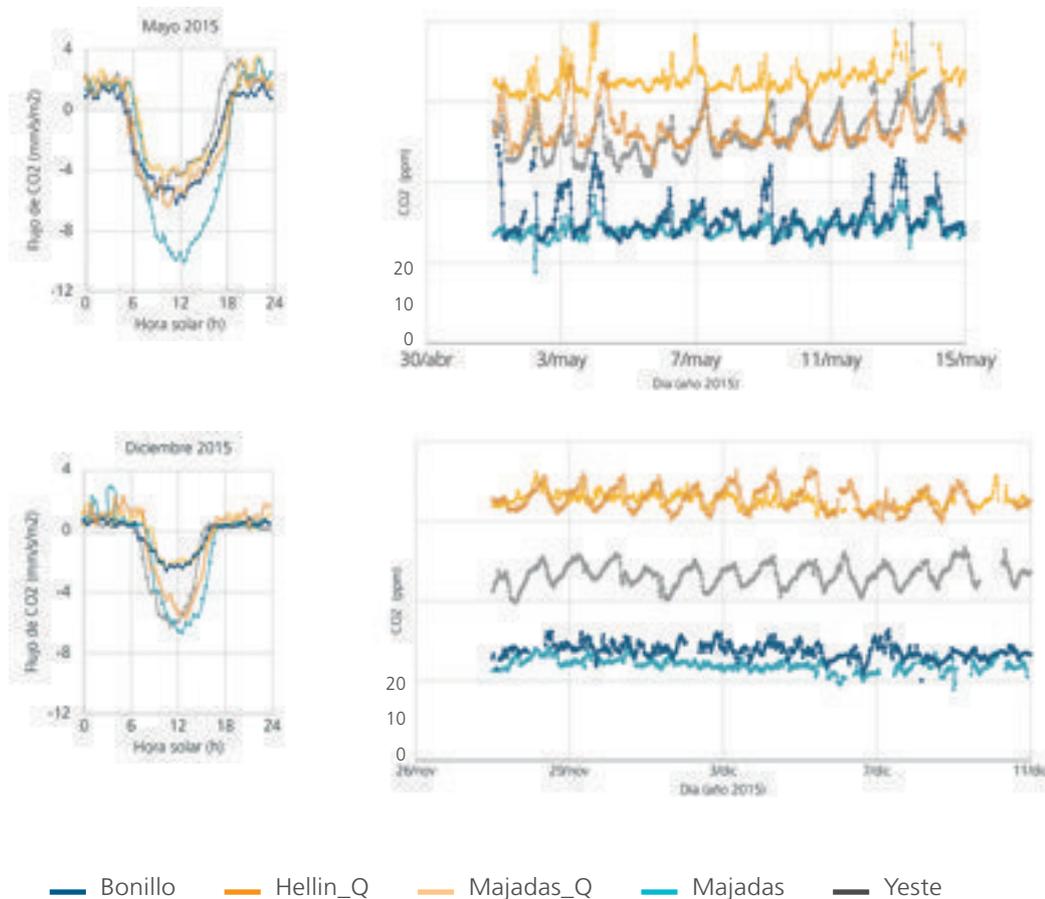
Es de destacar que, en el periodo de mediciones realizadas, el crecimiento promedio anual de la concentración de CO<sub>2</sub> varia con el ecosistema, siendo 0,7 ppm/año en la dehesa de *Juniperus thurifera* de El Bonillo; 1,4 ppm/año en el pinar de *Pinus nigra* de Las Majadas; y 0,9 ppm/año en el pinar joven de *Pinus halepensis* de Yeste. Pero este crecimiento es de hasta 4,4 ppm/año para la zona incendiada de Las Majadas, siendo el promedio de crecimiento a nivel mundial, de 2,11 ppm/año para el periodo 2005-2014. Ello evidencia el claro efecto sumidero de los ecosistemas forestales y el efecto fuente de las zonas incendiadas, en relación al promedio mundial. La Figura 14 ilustra la evolución temporal del CO<sub>2</sub>, normalizada para poder comparar su evolución entre ecosistemas.

Tal y como se observa en la Figura 14, la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> presenta una variabilidad estacional que es máxima en primavera y verano y mínima en otoño e invierno. Esta variabilidad es reflejo de la influencia de las fuentes y sumideros que representan la vegetación y el suelo.

En cuanto a la variación a escala diaria se caracteriza por un máximo durante la noche o de madrugada, y un mínimo a mediodía y por la tarde (Figuras 15.b y 15.d). Cuando la medida de la concentración atmosférica se realiza cerca de la superficie, en este caso entre 9 y 27 m, esta variación diaria está fuertemente afectada por los procesos biológicos que se producen en el ecosistema, i.e., absorción de CO<sub>2</sub> por fotosíntesis, y la liberación de CO<sub>2</sub> por respiración de plantas y suelo. Tal y como puede verse en la Figura 15, donde se presenta tanto el flujo neto de CO<sub>2</sub> (Figuras 15.a y 15.c), como la variación en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> (Figuras 15.b y 15.d), los ecosistemas de monte que fijan más como es el pinar no quemado de las Majadas,



**Figura 14.:** Evolución de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, normalizada, para las estaciones de El Bonillo, Las Majadas, Las Majadas zona incendiada (Majadas\_Q) y Yeste, entre mediados de 2011 y principios de 2017. Los datos que se presentan son promedios semanales.



**Figura 15.:** Variación diaria promedio del flujo neto de CO<sub>2</sub> en los diferentes ecosistemas estudiados (véase la leyenda) para los meses de (a) Mayo y (c) Diciembre. Variación diaria de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, para los mismos periodos y ecosistemas, gráficas (b) y (d). En estas gráficas las series se han desplazado para su mejor visualización. Leyenda. **Hellin\_Q**, pinar quemado de *Pinus halepensis* en Hellín; **Bonillo**, sabinar en el Bonillo; **Majadas**, pinar de *Pinus nigra* en Las Majadas; **Majadas\_Q**, pinar quemado de *Pinus nigra* en Las Majadas; **Yeste**, pinar joven de *Pinus halepensis* en Yeste.

presentan concentraciones de CO<sub>2</sub> más bajas, y los dos ecosistemas quemados, presentan menores capacidades de fijación de CO<sub>2</sub>, llegando a ser fuentes de CO<sub>2</sub>, y las mayores concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico.

## Estrategias para reducir o eliminar los impactos del cambio climático en los montes de Castilla-La Mancha

### Reducción del volumen en pie

Con esta medida de gestión forestal, se pretende la reducción de la competencia entre pies para mejorar la vitalidad de las masas mediante la disminución de la densidad (claras, resalveo), lo que implica en definitiva el control de la competencia por el recurso agua, manteniendo espesuras bajas. En este sentido,

es necesario potenciar las actuaciones mecanizadas en la masa debido a sus mayores rendimientos, por ejemplo, utilizando procesadoras (Figura 16). Los pies extraídos de estas operaciones pueden ser aprovechados para madera o biomasa, haciendo más rentable el monte mediterráneo.

### Mejora de la regeneración natural

en aquellas especies con problemas de regeneración, es posible mejorarla controlando la espesura de otras especies acompañantes, sobretodo monte bajo, matorral y herbáceas. Los desbroces son una herramienta selvícola que debe permitir obtener coberturas de matorral compatibles con los recursos de agua disponibles. En desbroces experimentales de *Stipa tenacissima* L (esparto) en una masa de *Pinus halepensis* Mill. de la Sierra del Segura, realizados en 6 parcelas circulares de 20 m de radio, se ha constado un aumento significativo de la regeneración, con una media de 86,7 pies en parcelas desbrozadas de esparto, frente a 13,6 pies en parcelas control, lo que supone un significativo aumento de 582 pies/ha en parcelas desbrozadas (Figura 17). Esta medida supone a la vez una liberación de competencia del estrato arbóreo, que permite un mayor crecimiento de éste.

Para mejorar la regeneración, puede ser muy positiva también la aplicación al suelo de restos de corta, astillados, o bien realizar un pequeño decapado al suelo, eliminando el estrato herbáceo y la capa de hojarasca, para conseguir un mejor contacto de la semilla con el suelo mineral (Figura 18).

Nuestro grupo de investigación ha obtenido recientemente resultados concluyentes en este sentido. Se ha observado que las astillas de madera como material para cubrir el suelo, y en un escenario post-incendio en la Sierra de los Donceles, mejoró significativamente la germinación de la semilla y la supervivencia de las plántulas de pino carrasco (significativo aumento del porcentaje de germinación en un 12,4%, y de 17,4 plántulas m<sup>2</sup>, a los dos años del tratamiento).



**Figura 16.:** Claras mecanizadas mediante procesadora realizadas sobre *Pinus pinaster* en el M.U.P. Sierra de Bienservida (Albacete). La densidad se rebaja hasta los 300-400 pies/ha y los pies extraídos pueden ser objeto del aprovechamiento.



**Figura 17.:** Desbroces experimentales de atocha en pinares de carrasco de la Sierra de los Donceles (Albacete), en parcelas circulares de radio 20 m, con el objetivo de mejorar la regeneración natural e incrementar el crecimiento de la masa de *Pinus halepensis*.



**Figura 18.:** Algunos tratamientos al suelo para favorecer la regeneración natural: i) aporte de una cubierta de astillas al suelo, en el astillado los restos de cortas o tratamientos selvícolas (izquierda); ii) decapado del horizonte superior del suelo para favorecer el contacto de la semilla con el suelo mineral (derecha).

### Cortas de regeneración menos intensivas y más escalonadas

Las cortas de regeneración en las especies más vulnerables, como son *Pinus sylvestris* y *Pinus pinaster* deben realizarse de forma sucesiva o por bosquetes, en aquellas estaciones donde se detecte el impacto. Ello implicará en su caso, el alargamiento de los turnos y de los periodos de regeneración, facilitándose la llegada de más semilla al suelo. En el caso de *Pinus pinea* es necesario aplicar cortas de seguimiento del regenerado instalado bajo cubierta, liberando de forma gradual al regenerado. Asimismo, es necesario realizar acotamientos areales o puntuales al ganado. En los casos más extremos se podría recurrir a la entresaca, aunque en este caso se deben fomentar las masas mixtas,

### Reducir vulnerabilidad frente a incendios

Es necesaria la modificación de los modelos de combustible a escala rodal mediante tratamientos selvícolas oportunos, para la configuración de paisajes resistentes al fuego, mediante la heterogeneidad y la integración de áreas estratégicas. En este sentido, es necesario potenciar masas mixtas, con mayor número de ecotonos, eliminando el concepto de especie principal, manteniendo distintos estratos (arbóreo, arbustivo) y diversificando estructuras, estrategias que permitirían reducir la vulnerabilidad de nuestros montes. Es muy interesante la utilización de las quemas controladas o prescritas, que reproducen las condiciones de un fuego de baja intensidad para controlar el estrato arbustivo y herbáceo sin afectar al arbóreo. Con esta herramienta, se genera una estructura de baja vulnerabilidad a los grandes incendios forestales, y a un coste menor que empleando los tratamientos tradicionales (Figura 19).

### Conclusiones

Los impactos debidos al Cambio Climático son ya una realidad en los montes de Castilla-La Mancha. Es necesario establecer pues, de manera urgente, estrategias de gestión forestal que permitan la mitigación de los impactos negativos del Cambio Climático en nuestros montes, para evitar efectos acumulativos futuros que agraven los problemas que observamos ahora derivados del cambio.



**Figura 19.:** Quemas prescritas realizadas por el INFOCAM en un monte de la Serranía de Cuenca (Fuente: JCCM).

En este sentido, la gestión forestal debe potenciar la Planificación en la Ordenación de Montes. Planificar es anticipar, considerar el riesgo y probabilidad de ocurrencia del impacto dentro de la gestión forestal, proponiéndose medidas preventivas frente al impacto. Pero la gestión forestal debe venir acompañada de un plan de aprovechamientos forestales, si es posible, con aquellas medidas selvícolas que repercutan en la rentabilidad de los montes, la generación de mano de obra en el entorno rural, para obtener masas forestales con estructuras más resistentes, al tiempo que se evita el abandono del monte por parte del hombre.

El aumento de la resistencia de los montes frente al cambio consistirá primero en limitar la exposición del bosque a los impactos derivados del Cambio Climático que más frecuentemente se observan: pérdida de crecimiento por sequías, fuegos y plagas. Es por ello que son necesarios claros y claras planificadas a escala de toda la masa (reducción de competencia), la reducción de materias combustibles, como quemas prescritas, cortafuegos y otras medidas análogas destinadas a interrumpir la continuidad de la masa, especialmente en áreas urbanas y cabeceras de cuencas. Y también hay que planificar otras medidas para aumentar la capacidad de resiliencia, mejorando los procesos de adaptación para favorecer la regeneración futura, aumentando la conectividad y tamaño de poblaciones, fomentando rodales irregulares y heterogéneos, por representar estados más avanzados del ecosistema, menos vulnerables en definitiva a sufrir los impactos más severos del cambio climático.

## Bibliografía

- ADENA (2016) Dónde arden nuestros bosques. Análisis y soluciones de WWF. Publicado en julio de 2016 por WWF/Adena, Madrid, España.
- BRAVO-OVIEDO A, GALLARDO-ANDRÉS C, DEL RÍO M & MONTERO G (2010) Regional changes of *Pinus pinaster* site index in Spain using a climate-based dominant height model. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(10): 2036-2048.
- BALDOCCHI D, FALGE A, GU L, OLSON R, HOLLINGER D, RUNNING S, ANTHONI P, BERNHOFER CH, DAVIS K, EVANS R, FUENTES J, GOLDSTEIN A, KATUL G, LAW B, LEE X, MALHI Y, MEYERS T, MUNGER W, OECHEL W, PAW KT, PILEGAARD K, SCHMID HP, VALENTINI R, VERMA S, VESALA T, WILSON K, WOFSY S (2001) "FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem-Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities". *Bulletin of the American Meteorological Society* 82 (11): 2415-2434.
- EVALUACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS DEL MILENIO DE ESPAÑA (2011) Fundación Biodiversidad y Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.
- FORESTRENGTH (2014-2017) Propuestas de gestión forestal adaptativas para favorecer la resiliencia de bosques mediterráneos frente a los impactos del cambio climático (sequía e incendios). Memoria Final del Proyecto. Referencia del proyecto: AGL2014-55658-R. Subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad.
- GARCÍA-MOROTE FA, MARTÍNEZ-GARCÍA E, ANDRÉS-ABELLÁN M, RUBIO CABALLERO E, MIETTINEN H & LÓPEZ-SERRANO FR (2017) Direct Seeding of *Pinus halepensis* Mill. for Recovery of Burned Semi-Arid Forests: Implications for Post-Fire Management for Improving Natural Regeneration. *Forests* 8, 353-371.
- GARCÍA MOROTE FA, ALBERT BELDA E, LÓPEZ SERRANO FR, MARTÍNEZ GARCÍA E, DADI T, ANDRÉS ABELLÁN M, RUBIO E, CANDEL PÉREZ D, LUCAS BORJA M (2015) Propuesta metodológica de zonificación de prioridades de actuación hidrológico-forestal tras incendio. Aplicación al gran

incendio de Hellín (Albacete). Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 41: 165-182. ISSN: 1575-2410.

**IPCC (INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) (2007)** Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri R.K. y Reisinger A. (directores de la publicación)]. IPCC Ginebra Suiza 104 págs.

**MMA (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE) (2003)** Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002-2012. Región de Murcia. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente Madrid.



## Una visión general a la problemática de los incendios forestales

Jonathan Gómez Cantero

Geógrafo-Climatólogo, investigador en cambio climático Docente, Consultor internacional.  
Actualmente en *El Tiempo de CMM*.

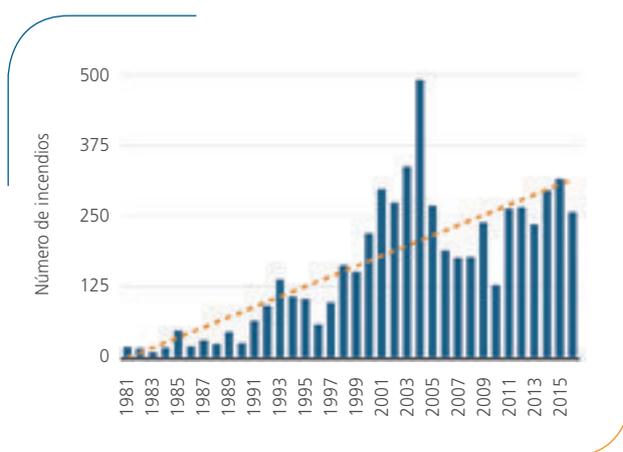
Los incendios forestales son un fenómeno cuya frecuencia ha aumentado en Europa. Una mayor presión antrópica, en algunos casos por motivación económica, sin olvidar el condicionante climático y meteorológico, son algunos de los factores que más han influido. Desde principios de los años noventa, han fallecido entre 200 y 300 personas en Europa como consecuencia de los 38 grandes incendios registrados, que a su vez se tradujeron en 6.916 mil millones de euros en pérdidas. La mayor parte de ellos sucedieron en la Europa mediterránea, donde España se clasifica como uno de los países europeos más afectados, con 50 muertos y algunos de los mayores incendios, como los de 2006 y 2007, que provocaron la quema de miles de hectáreas de bosques.

Toda Castilla-La Mancha se encuentra bajo la influencia de un clima mediterráneo continentalizado; incluso las zonas de montaña más altas sufren una de las características básicas de este clima, la sequía estival. Nuestra región está muy afectada por los meses de verano en los que coincide además los días de menor humedad relativa de forma consecutiva, y por otro lado, los meses con las precipitaciones más bajas. Estas características hacen un territorio especialmente propenso al riesgo de incendio forestal. En este sentido debe quedar claro, que el factor climático y meteorológico puede hacer aumentar el riesgo, pero no es el responsable de la combustión, pero si puede hacer que los incendios sean más grandes y virulentos.

En los últimos años tiende a ser cada vez más frecuente, la conjunción de los tres-treinta, un índice aproximado al riesgo de incendio forestal, caracterizado por humedades por debajo del 30%, viento de más de 30km/h y temperaturas de más de 30°C. Todo ello influye en una mayor predisposición de la vegetación a la combustión, pues está más seca y además sufre cada vez más frecuentemente temperaturas altas o muy altas no sólo durante el verano, sino en meses previos y también en meses posteriores; todo ello hace que cada año se arrastre la situación del año anterior.

A continuación, analizaremos a nivel general los incendios forestales en la región, para ver cómo su aumento va al alza, lo que no se puede atribuir directamente al cambio climático, pero si sirve para analizar el estado de la vegetación y la mayor presión antrópica que sufre el territorio.

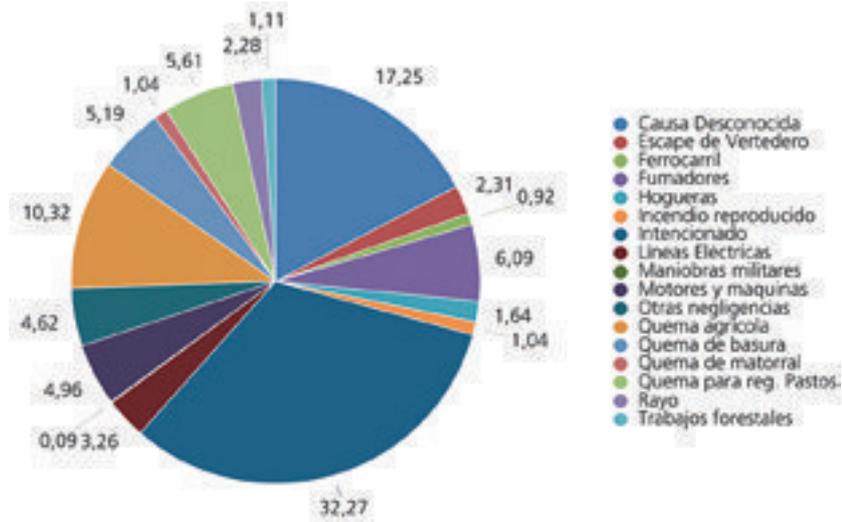
En el caso de **Toledo**, se ve una tendencia claramente al alza desde el año 1981 hasta 2016 en el número de incendios forestales, sin discriminar su causa. Aumentan a un ritmo de 9 incendios más por año, afectando también a una mayor extensión de superficie vegetal. El año 2004 presentó 492 incendios, siendo el peor de toda la serie.



De toda la serie, la causa principal de los incendios es que fueron intencionados con más de un 32%. No se pudo atribuir causa alguna al 17,25% y un 10% fueron por quemas agrícolas fuera de control.

Los rayos apenas representan el 2,28%, y son la única causa natural que se puede atribuir al origen de los incendios. Si analizamos cómo han evolucionado únicamente referido a esta causa, podemos ver que han ido muy alza lo que refleja podría reflejar por un lado, mayor número de episodios tormentosos, y por otro un peor estado de la vegetación propensa a la ignición.

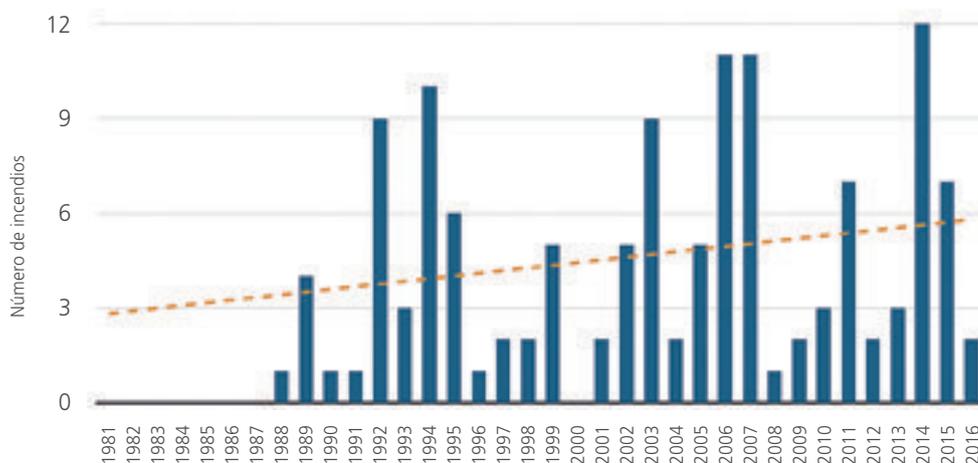
Causas incendios Toledo (%)

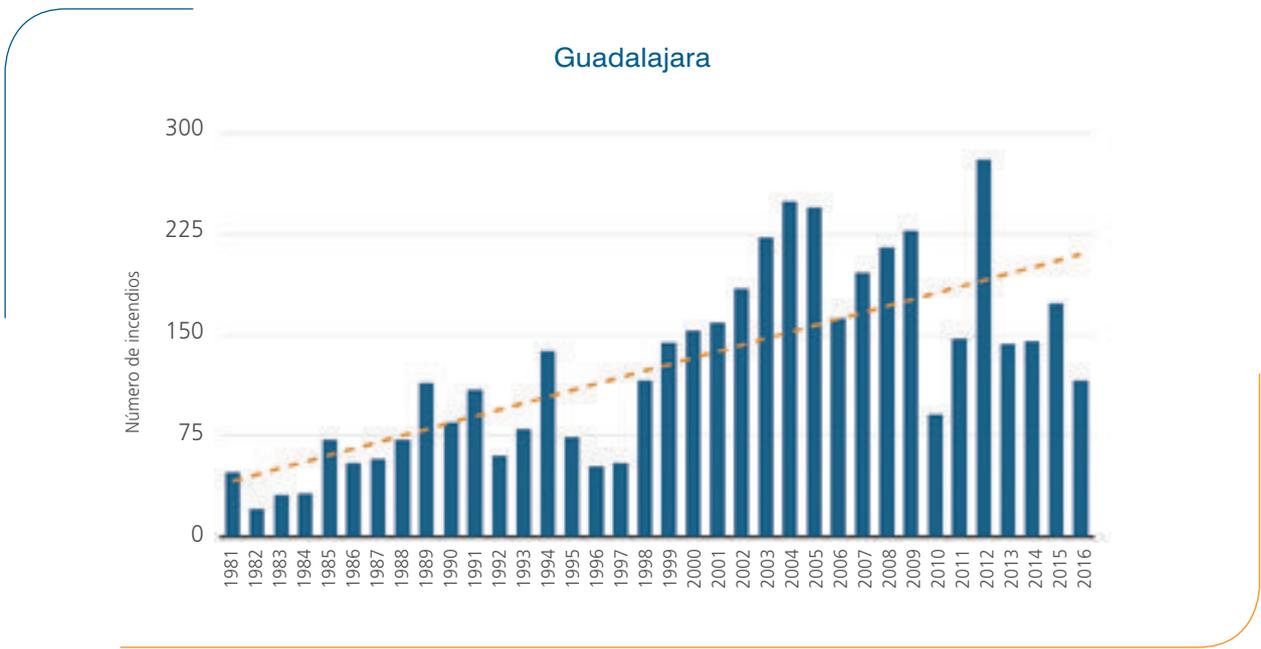


Se puede ver algunos datos interesantes, y es que como veíamos en capítulos anteriores, el año 2005 fue especialmente seco y al año 2006 es uno de los que aparece con mayor número de incendios por esta causa.

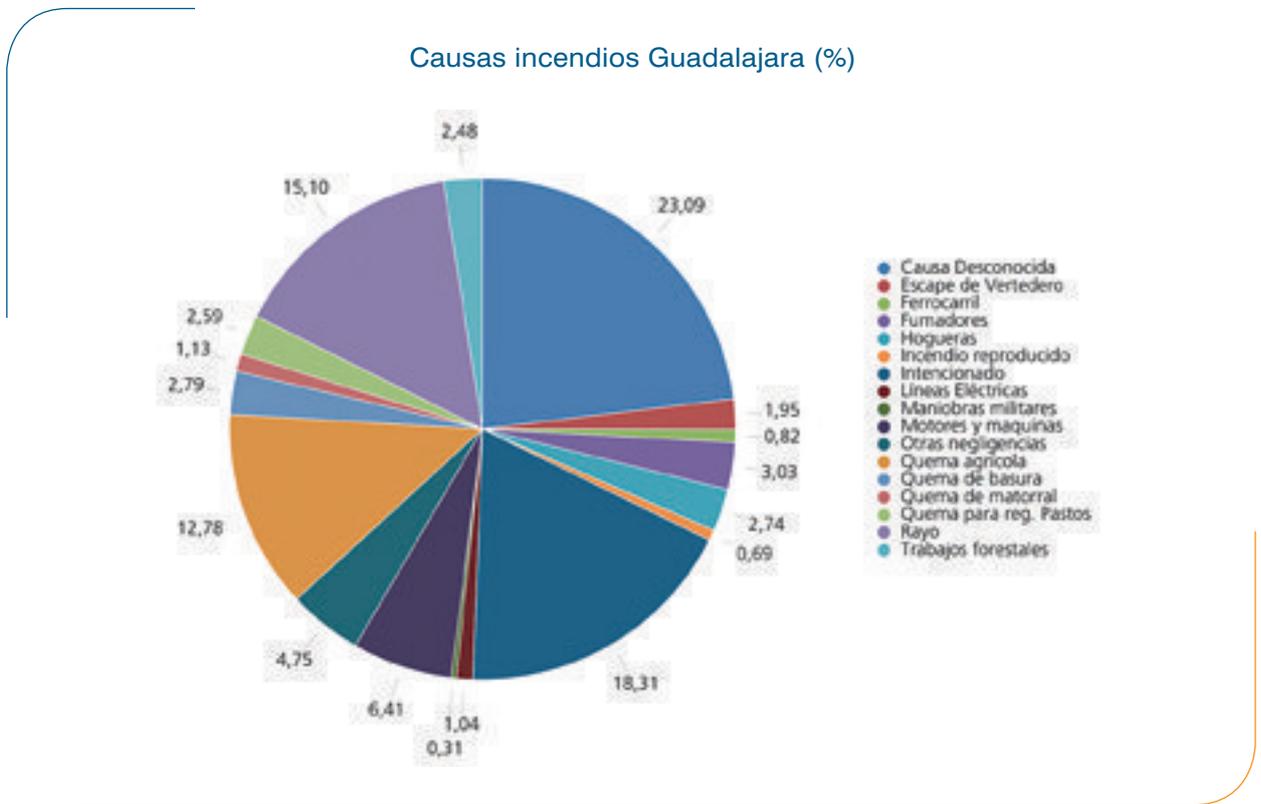
En **Guadalajara** vemos también un notable aumento del número de incendios forestales por año. Además de ser una provincia con gran extensión forestal, sobre todo de pinar, también ha aumentado notablemente la superficie afectada. El año 2012 es el que presenta el récord de toda la serie, con 280, seguido del año 2004 con 249. En el año 2005 se produjeron 244, en un año especialmente seco y que tuvo uno de los mayores incendios sufridos en toda la región el 16 de julio que calcinó 10.352,57 hectáreas.

Incendios causados por rayo en Toledo



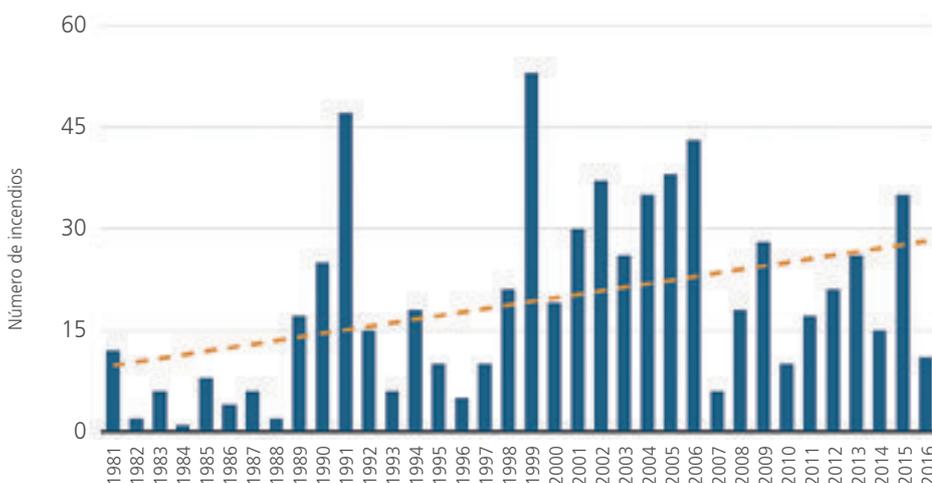


Las causas son en su mayor parte por causa desconocida, en un 23,09% de los casos. Un 18,31% fueron intencionados, un 12,78% por quemas agrícolas y un 15,10% por rayos. La mayor superficie arbolada, y además el tipo de vegetación pirófito con un mal aliado para los nuevos escenarios climáticos.



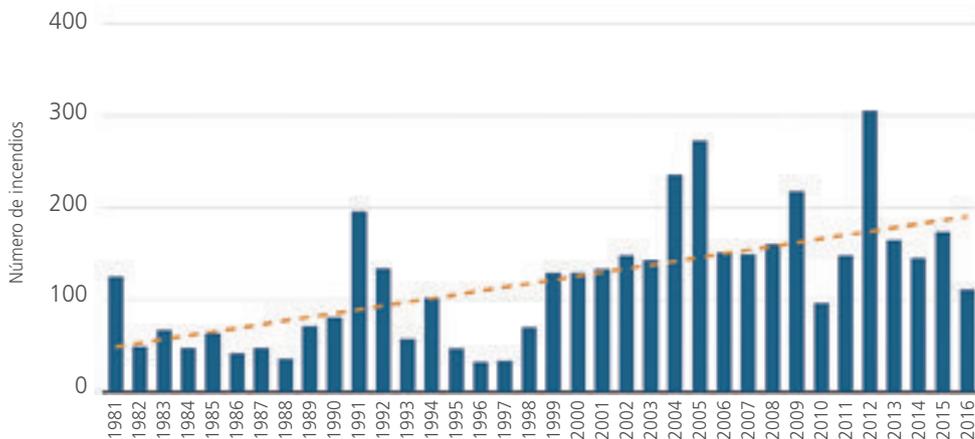
En cuanto a los incendios causados por rayos, destaca el año 1999 con 53, seguido de 1991 con 41, pero con una tendencia siempre al alza. El tercer y cuarto año con mayor número por causa natural son 2006 y 2005 con 43 y 38 contabilizados respectivamente, de nuevo coincidiendo con un año seco y la situación arrastrada al año siguiente.

Incendios causados por rayo en Guadalajara



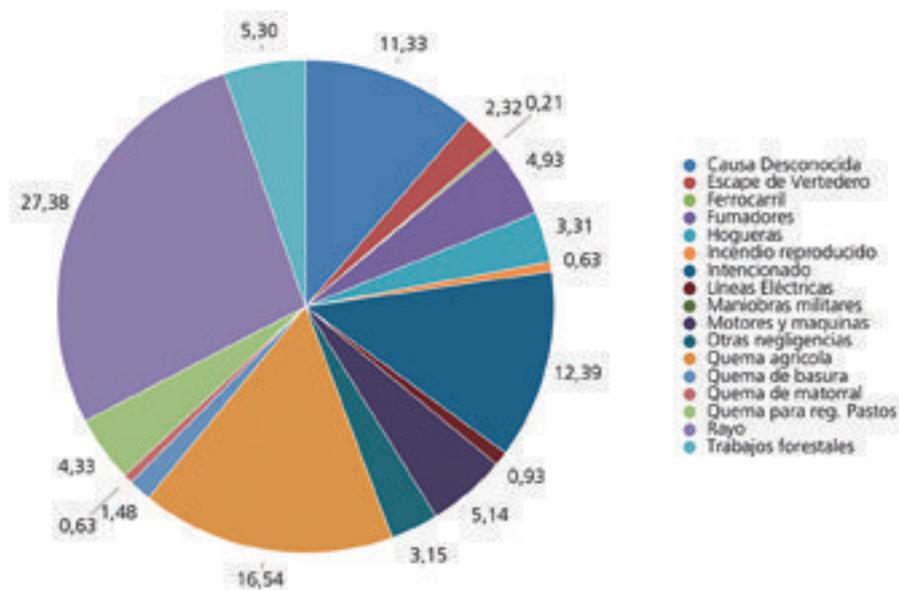
En la provincia de **Cuenca** también se muestra una clara tendencia positiva de la evolución del número de incendios. El año 2012 es que presentó mayor número, con 306, seguido por el año 2005 con 273. De media, aumentan en tres, el número de incendios forestales que se producen de más al año.

Cuenca



La causa principal es con un 27,38% los rayos. Le siguen con más de un 16% las quemaduras agrícolas incontroladas y con un 12,39% los intencionados. De nuevo se repite un patrón parecido al de Guadalajara, una provincia con gran densidad forestal, sobre todo pinar y además con una orografía tosca y difícil que dificultan el acceso al fuego, por lo tienden a ocupar una gran extensión, salvo los producidos en zonas llanas.

Causas incendios Cuenca (%)



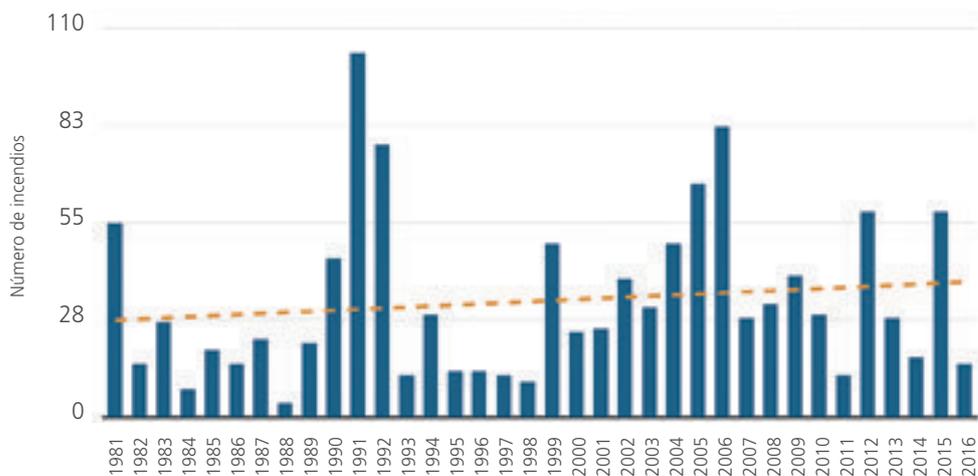
En cuanto a los rayos, también hay una tendencia al alza. El año 1991 presenta 103 casos, seguido como en el resto de las provincias por 2006 con 82. La influencia de las condiciones meteorológicas de Levante, ayudan a la formación de tormentas en esta zona, que además cada vez presenta una vegetación con mayor estrés hídrico.

En **Ciudad Real** hay de nuevo una tendencia al alza de hasta tres incendios más por año. El año 2004 es el que mayor número de episodios presenta, seguido del año 2005 con 225 y 189 respectivamente.

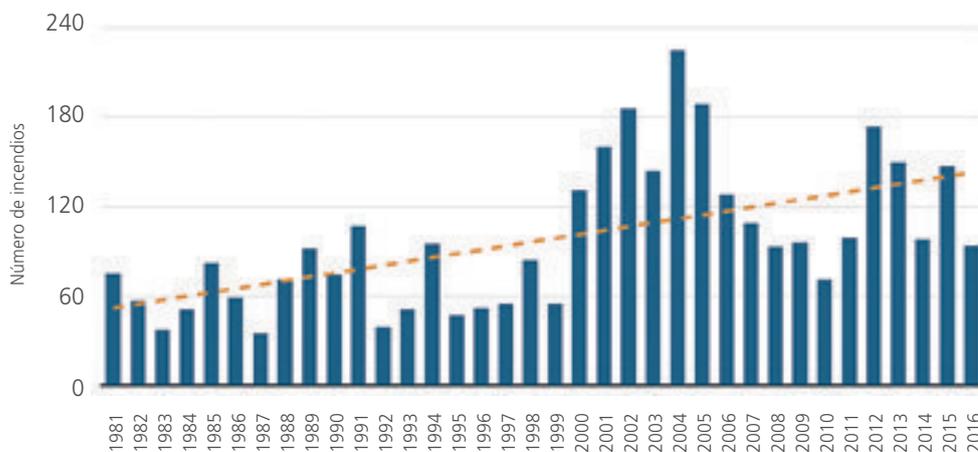
Las causas de los incendios son en su mayor parte intencionados, con un 36,39%. Los rayos apenas representan poco más del 4% como causa eminentemente natural. Es una provincia menos arbolada y más llana, lo que facilita que no tengamos incendios de tan gran extensión como en otras provincias, y además la especie más abundante es la encina.

Los incendios tienen una clara tendencia al alza, destacando especialmente el año 2006 con 27 y el año 2005 con 12. Es una provincia no especialmente afectada por esta causa; por un lado no tiene una gran frecuencia tormentosa y por otro lado la densidad de vegetación es menor. Pese a ello, vuelve a resultar especialmente interesante que los años 2005 y 2006 (años secos) tienen la mayor frecuencia.

Incendios causados por rayo en Cuenca



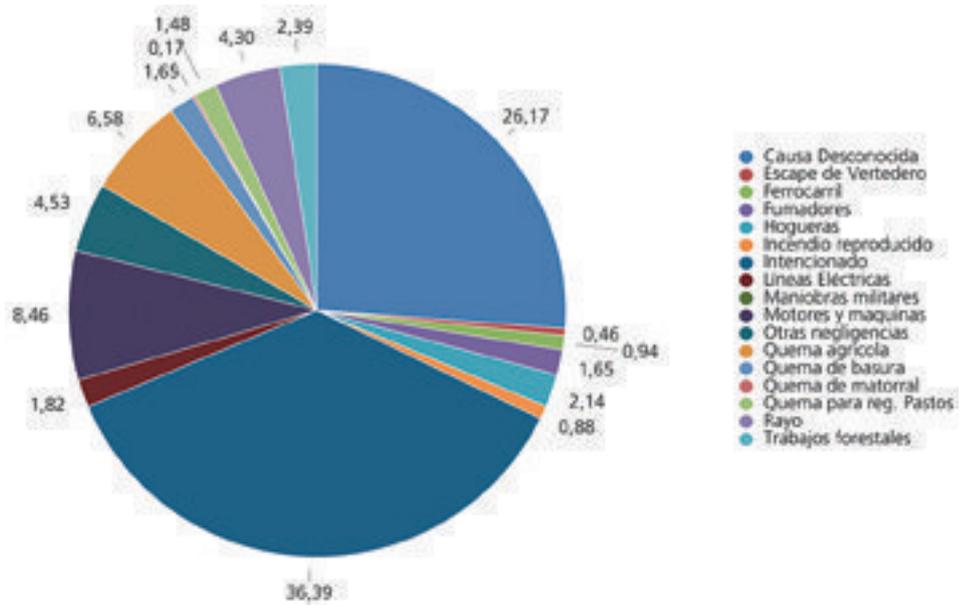
Ciudad Real



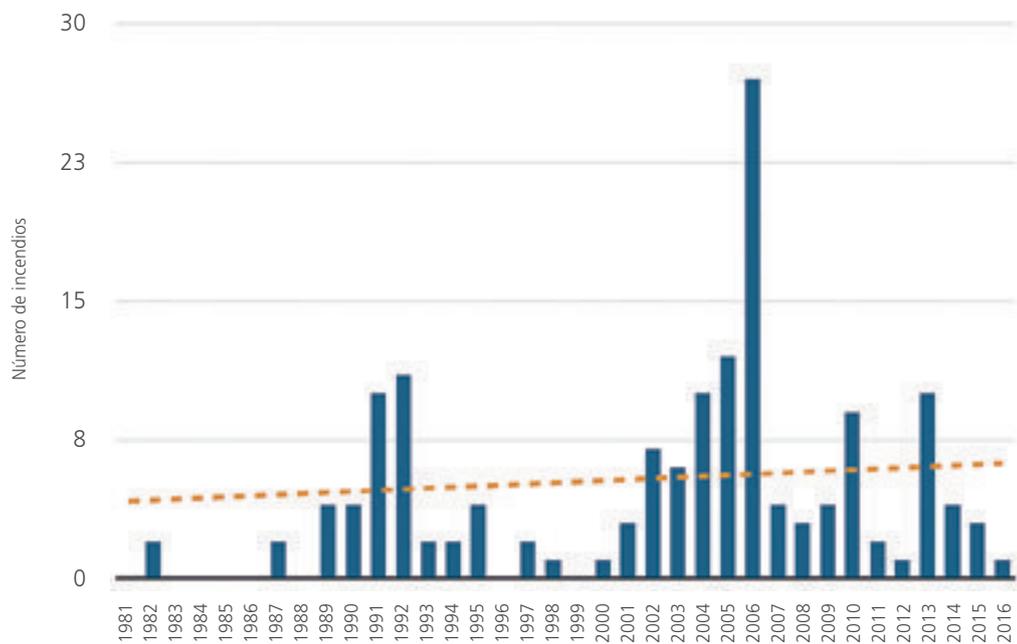
En la provincia de Albacete existe una tendencia creciente del número de incendios anual, unos dos más por año. El año 2005 destaca con 162 seguido de 2003, un año en la que Castilla-La Mancha se vio afectada en agosto con un fuerte episodio de calor en su zona sureste. La ubicación geográfica de esta provincia, hace que se registren en un gran número de ocasiones, las temperaturas máximas de la región, además de verse afectada, debido a su apertura hacia el mediterráneo, por condiciones meteorológicas más típicas del Levante interior que del interior peninsular.

La causa más recurrente para los incendios forestales en esta provincia son los rayos, con un 22,47%, seguido de quemas agrícolas con un 18,26% y de forma intencionada con un 14,54%. Destaca en porcentaje, por encima de cualquier otra en "rayos", lo que pone de manifiesto la gran influencia mediterránea.

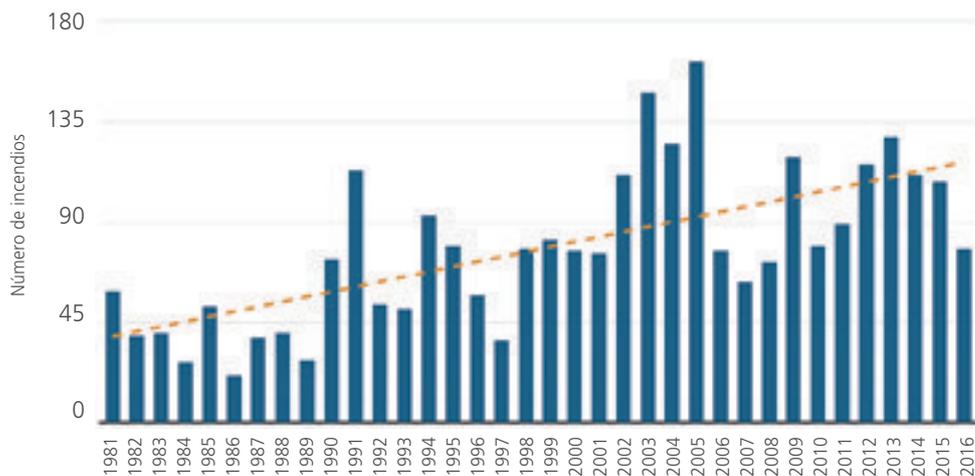
Causas incendios Ciudad Real (%)



Incendios causados por rayo en Ciudad Real

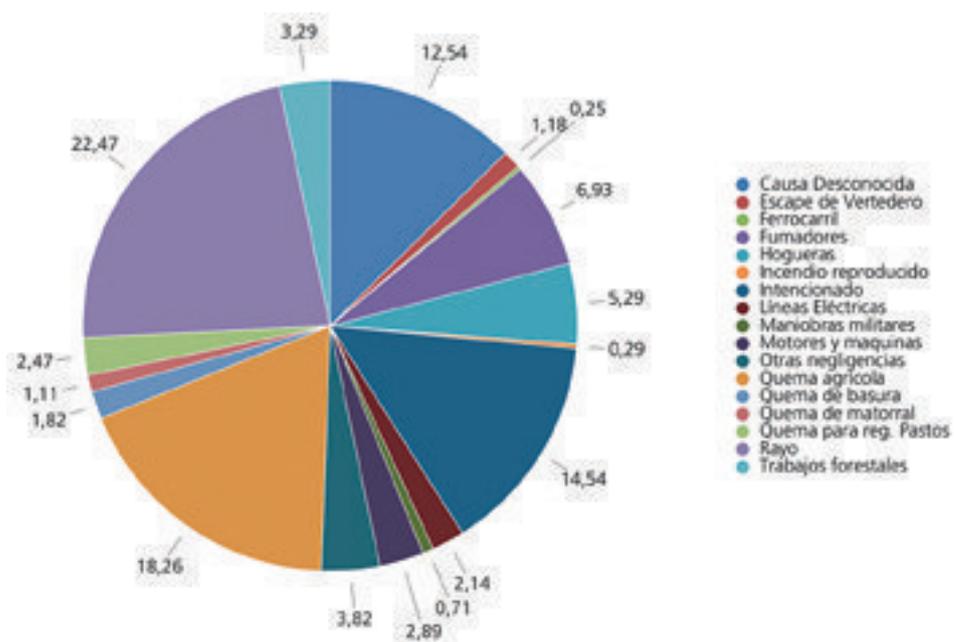


### Albacete

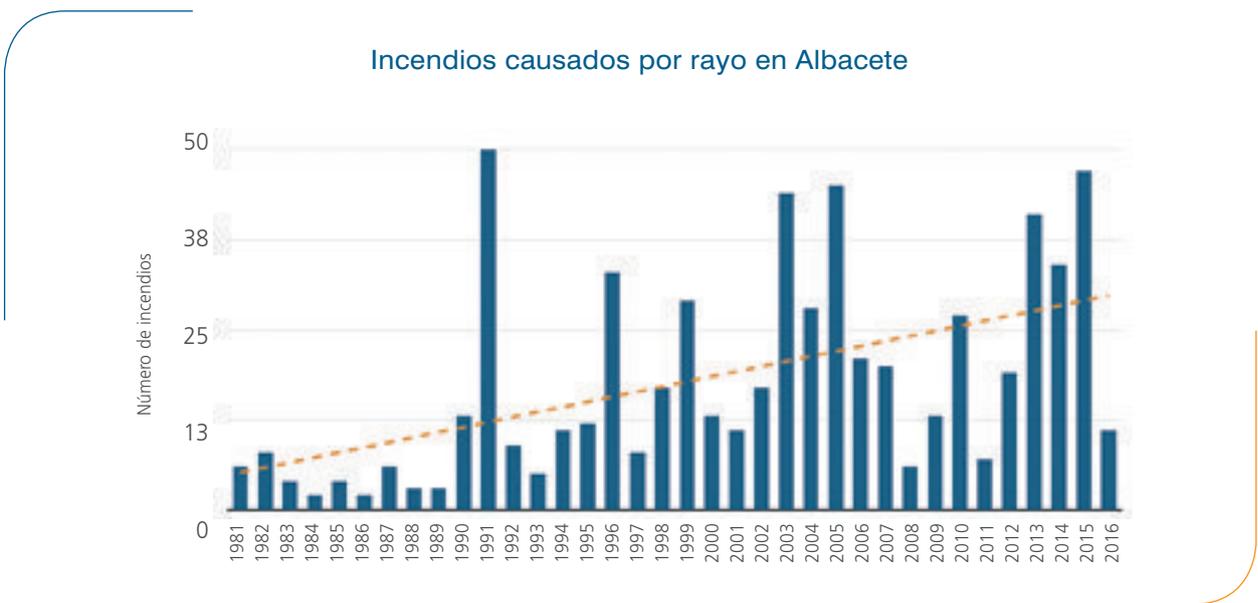


La llanura albaceteña es propicia por su orografía al desarrollo de grandes núcleos tormentos, a veces de gran intensidad, como supercélulas que llevan consigo un gran aparato eléctrico. Como veíamos en el apartado climático, en muchas de estas zonas han aumentado las precipitaciones de verano asociadas a las tormentas, especialmente en la zona centro (que no origina incendios forestales de zonas arboladas) y el tercio sur de la provincia que si presenta una extensa y densa cubierta vegetal.

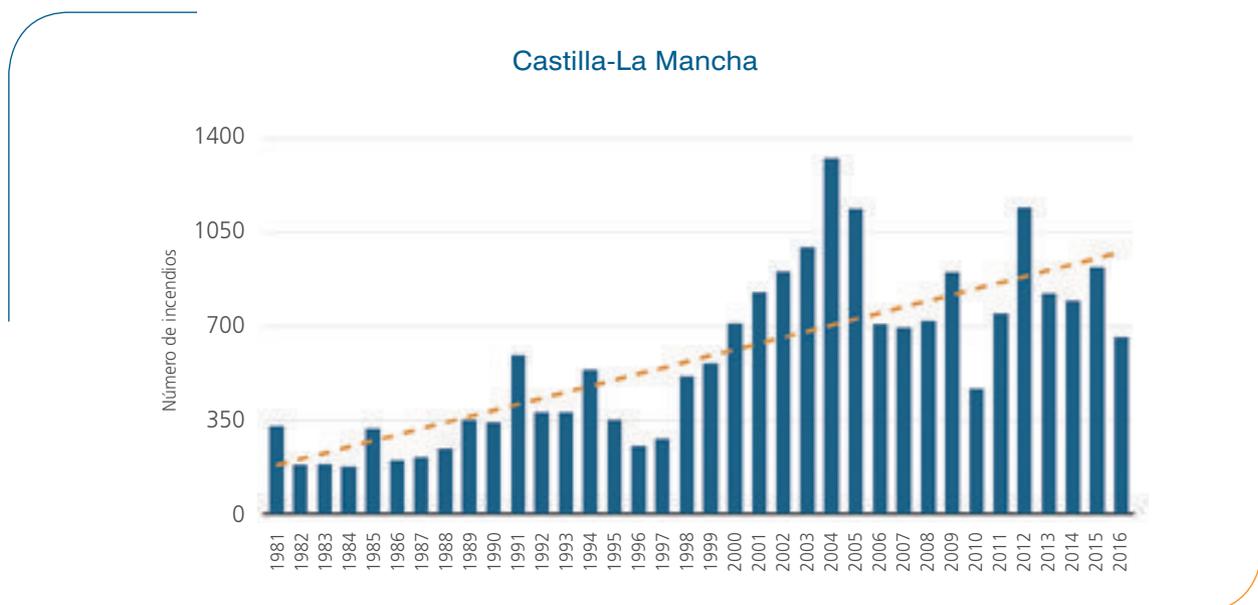
### Causas incendios Albacete (%)



Analizando pormenorizadamente los rayos, vemos una clara tendencia al alza, donde vuelven a destacar 1991 y 2005 con la mayor frecuencia. Es un claro ejemplo de los cambios meteorológicos observados y cómo están influyendo esta zona con incendios de causa eminentemente natural.



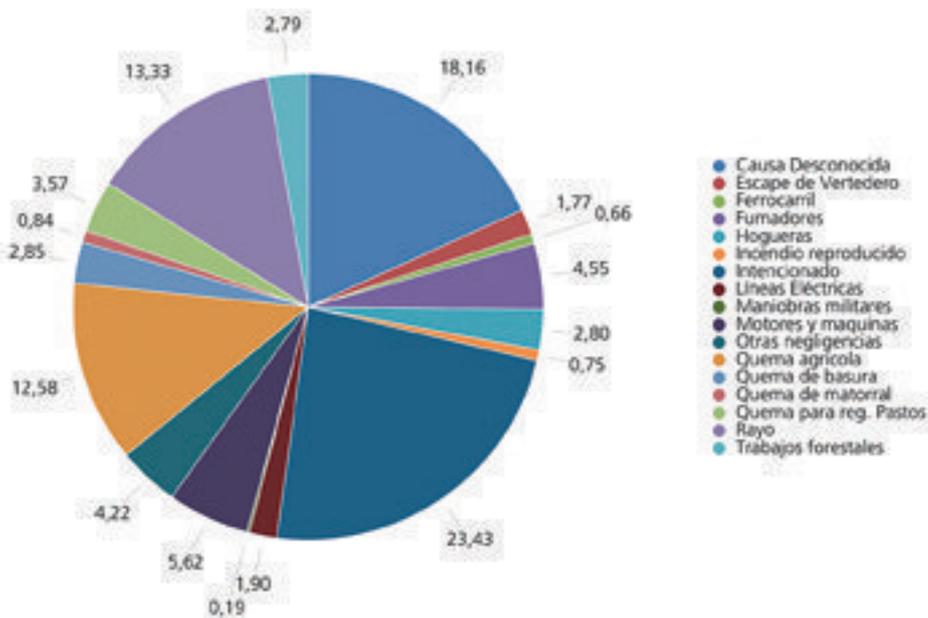
Para el conjunto de **Castilla-La Mancha** se muestra una tendencia claramente al alza de más de 22 incendios de aumento por año, siendo cualquiera su causa. Además, ha aumentado la superficie afectada y cada vez son más frecuentes los grandes incendios debido a un peor estado de la vegetación cuando llega el verano, pero por otro, también aumenta el número de pequeños focos por negligencias humanas. Destacan el año 2004 con 1327 casos junto a 2012 y 2005 con 1142 y 1137 respectivamente, lo que pone de manifiesto la gran influencia de los años secos o muy secos.



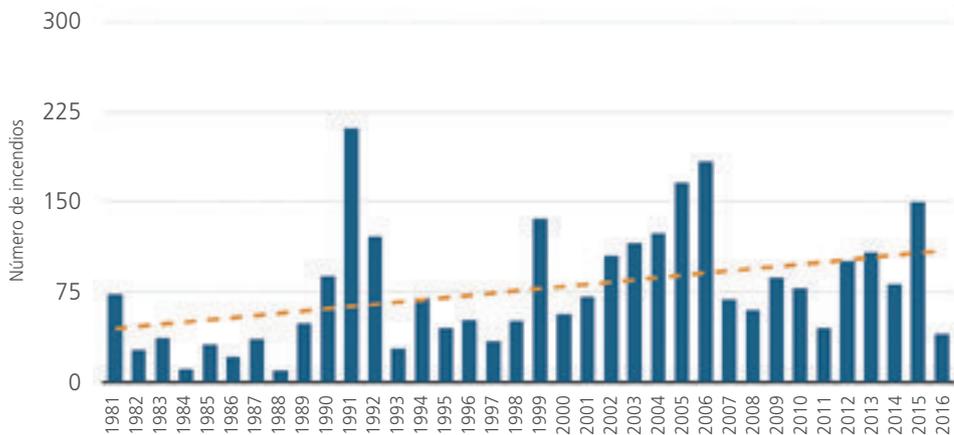
## II Informe sobre Cambio Climático en Castilla-La Mancha

En cuanto a las causas principales cabe añadir que un 23,43% son intencionados, de un 18% se desconoce su causa y un 13.33% fueron provocados por rayos. Aunque haya provincias como Toledo o Ciudad Real donde este fenómeno origina pocos focos, tienen un gran peso en las provincias del Este, llegando a ser la tercera causa de incendios en la región.

Causas incendios Castilla-La Mancha (%)



Incendios causados por rayo en Castilla-La Mancha



Analizando en detalle esta causa natural se observa una tendencia al alza de hasta dos incendios más al año, provocados por rayos. El año 1991 destaca con 211 casos, seguido de 2006 y 2005 con 184 y 166 focos más, respectivamente.

En conclusión, podemos ver, que cualquiera que sea la causa del incendio, para todas las provincias y por tanto, también para la región, el número de incendios está claramente al alza. No podemos tomar estos datos en bruto y culpar al cambio climático, pues en los últimos años también ha aumentado la presión humana sobre los espacios naturales, y por tanto las negligencias que se cometen, así como las causas intencionadas que también llevan un gran aumento consigo. Pese a ello, también debemos sumar, una mayor predisposición de la vegetación a la combustión, y que se correlaciona muy bien con los años secos o muy secos con el año siguiente, pues hay una gran cantidad de material combustible en los montes, propensa a la ignición indiferentemente de su causa.

Es especialmente interesante analizar los casos particulares de los rayos, como única causa natural y que, en todos los casos, se muestra al alza. Especialmente las provincias del este son en las que se constata un mayor número y un mayor aumento de estos casos, pero sobre todo Albacete refleja fielmente el problema ya que es la provincia más afectada. Las condiciones meteorológicas en esta zona son más propicias cada vez a la formación de tormentas y tormentas secas por lo que aumenta la probabilidad. A ello sumamos un aumento de las temperaturas sobre todo en los meses de verano que hace la vegetación más vulnerable, y además años especialmente secos que dispara el riesgo de ignición, de este modo tenemos los condicionantes propicios.

En todos los casos, se muestra el año 2005 y 2006 con una gran frecuencia de incendios, años muy secos y además de balance hídrico negativo acumulado. Es especialmente importante tener en cuenta estos datos, porque como se veía en capítulos anteriores, aumentan los extremos pluviométricos, por lo que son un ejemplo vivido de un fenómeno que puede tener mayor ocurrencia en el futuro y por tanto agravar el riesgo de incendio forestal que aumentará a su vez debido a mayor número de días de altas temperaturas. Es un ciclo de retroalimentación positivo.

Los datos han sido facilitados por la Viceconsejería de Medio Ambiente de la JCCM, depurados, agrupados y calculados por Nerea Herrero y analizados y comentados por Jonathan Gómez.



*mundo*  
*desertificación* *Castil* *cam* **Impacto** *calent* *efecto*  
*temperatura* *clima* *nubosidad*  
*deshielo* *futuro* *forestal*  
*informe preliminar*



## Régimen de incendios, dinámica y evolución de los incendios forestales en Castilla-La Mancha en un escenario de cambio climático.

Fernando Chico Zamora<sup>1</sup>; Juan José Fernández Ortiz <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Unidad de Análisis y Planificación (UNAP). Centro Operativo Regional de Lucha Contra los Incendios Forestales.

<sup>2</sup> Gestión Ambiental de Castilla-La Mancha. Geacam.

### Los incendios forestales en Castilla-La Mancha.

Castilla-La Mancha cuenta con una superficie de casi ocho millones de hectáreas de las cuales el 45% son terrenos de naturaleza forestal, 3.564.779 hectáreas, esto supone un 13% de la superficie forestal de España, siendo por tanto una de las regiones españolas más forestales del país.

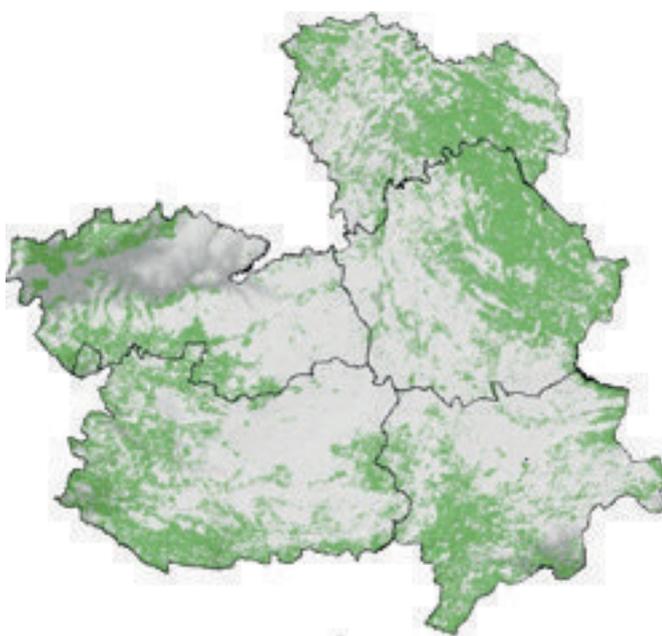
La distribución de estos terrenos forestales dentro de la región es fundamentalmente periférica, la gran llanura central se encuentra circundada de sistemas montañosos donde se ubica la mayor parte de esta superficie forestal.

La región presenta un clima mediterráneo con una destacada influencia continental.

El fuego, es una parte más de los montes y bosques que se encuentran en entornos mediterráneos (caracterizados por un período de sequía estival).

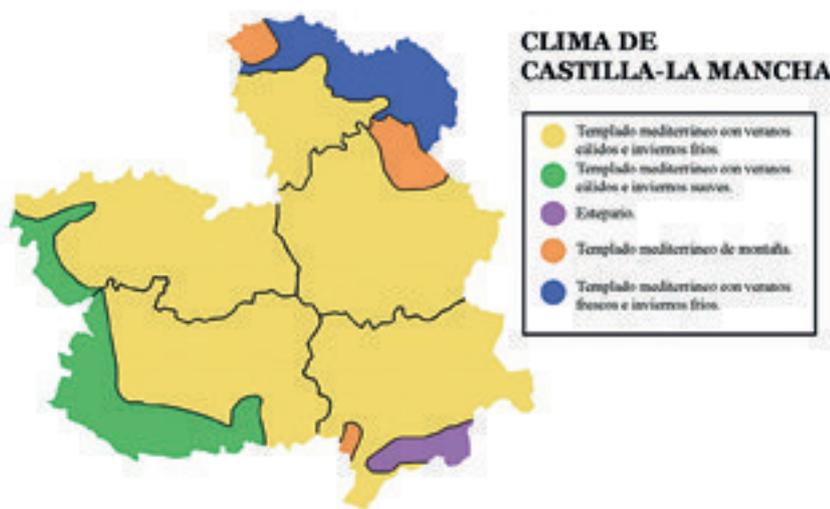
Históricamente los incendios forestales producidos por causas naturales han coexistido con los montes resultando un elemento regulador y regenerador de los mismos. En la actualidad la ocu-

Distribución de la superficie forestal en Castilla-La Mancha.

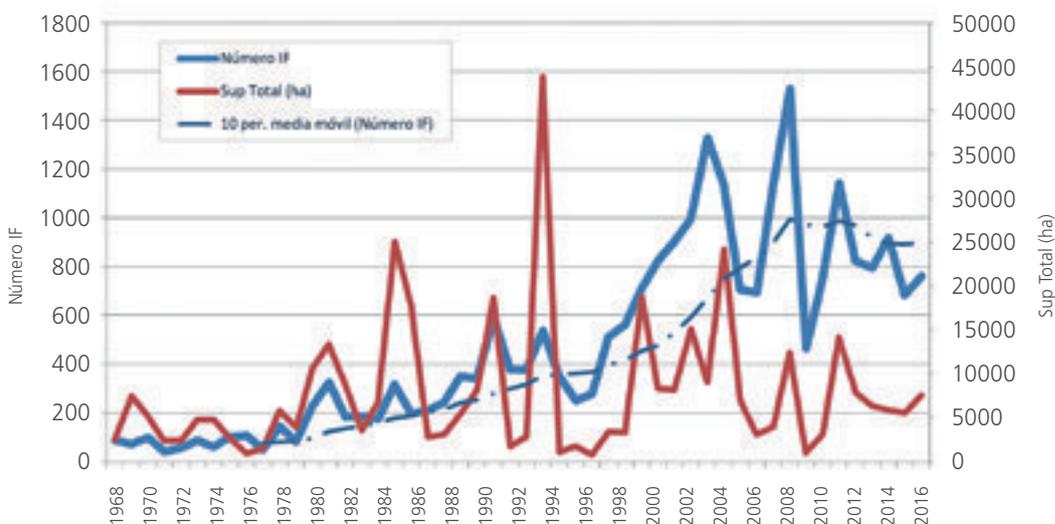


La frecuencia y casuística de los incendios forestales está íntimamente ligada a la actividad antrópica, generando un grave desequilibrio en esta delicada dinámica. Para tener una idea clara de esto sólo el 14% de los incendios forestales en Castilla-La Mancha son por causa natural (rayo), el 86% restante se debe a actuaciones generadas por el hombre de una u otra forma. Otro aspecto importante a considerar es que la mayoría de los incendios causados por rayo, en condiciones normales darían lugar a incendios de media o baja intensidad con lo que el nivel destructivo no sería comparable a los incendios que ocurren por otras causas en condiciones meteorológicas extremas (altas temperaturas, bajas humedades relativas).

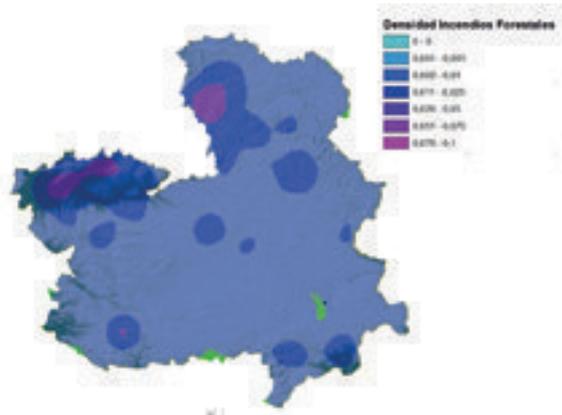
Clima de Castilla-La Mancha.



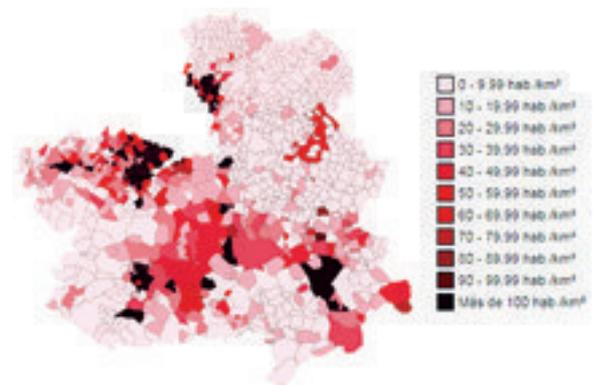
Evolución del número de incendios forestales y superficies afectadas en Castilla-La Mancha.



Densidad de incendios por km<sup>2</sup> durante el período 2007-2016.



Densidad de población en Castilla-La Mancha 2013



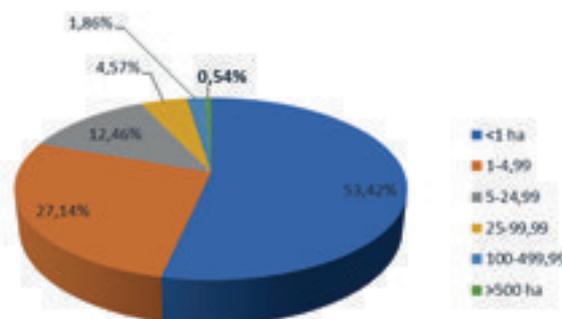
Los mayores niveles de ocurrencia de incendios forestales están claramente ligados a las áreas más densamente pobladas de la región (Norte de la provincia de Toledo y corredor del Henares en Guadalajara, es decir las zonas periféricas a la gran urbe de Madrid.)

### Grandes incendios forestales (GIF)

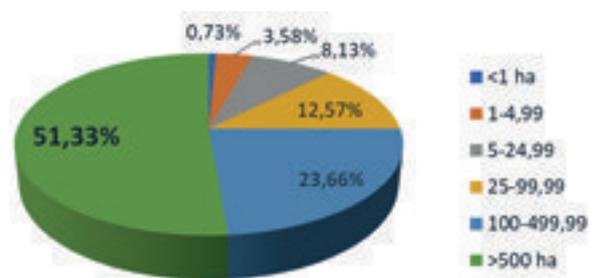
Unos pocos incendios queman la mayor parte de la superficie.

Un GIF o gran incendio forestal de acuerdo con la definición oficial del ministerio es el que afecta a una superficie mayor de 500 Has forestales, no obstante desde el punto de vista de la gestión de la emergencia denominamos GIF aquellos incendios que presentan episodios de comportamiento extremo del fuego y superan la capacidad de extinción del dispositivo. Con comportamiento extremos nos referimos a altas velocidades de propagación (>1 km/h), alta intensidad energética, y emisión masiva de focos secundarios que dotan al incendio de una gran capacidad para saltar las posibles oportunidades control y comprometen la seguridad de los intervinientes.

Número de IF



Superficie total



El número de GIF representa solo el 0.54% del total de incendios acaecidos, no obstante este pequeño porcentaje de incendios es responsable del 51.33% de los daños.

### Clima e incendios forestales.

Como se ha comentado la principal causa de los incendios forestales son las acciones antrópicas, pero una vez iniciado el fuego, el nivel de energía (poder de destrucción) que un incendio puede desarrollar están íntimamente ligado con las condiciones meteorológicas actuales y como se han desarrollado las condiciones meteorológicas previas.

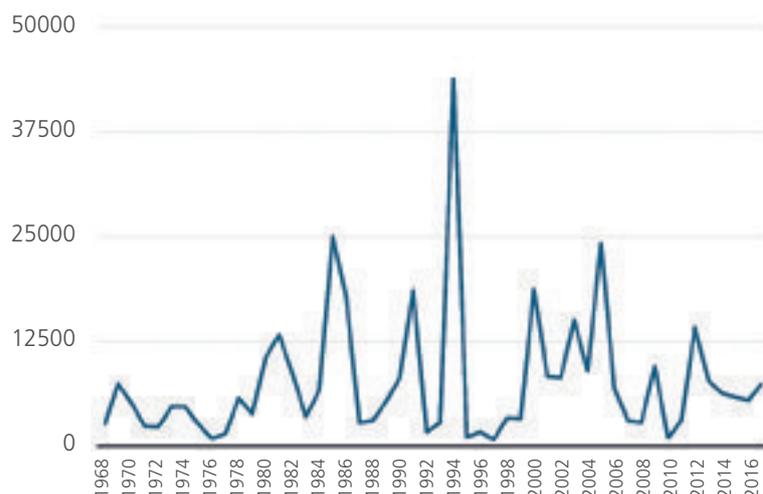
### Precipitación, sequías e incendios forestales.

El principal factor que afecta a los incendios forestales es el régimen de precipitación existente. El déficit hídrico por la carencia de precipitación provoca estrés hídrico en los vegetales, y si esta situación se prolonga en el tiempo (sequía) obliga al vegetal a tomar medidas de protección fisiológica para evitar pérdidas de agua por excesiva transpiración (cierre de estomas, desprendimiento de partes del vegetal, parón vegetativo ...) que en definitiva provocan que los elementos vivos de la vegetación participen activamente en los procesos de combustión al tener un menor contenido de humedad en su interior y ser necesario un menor nivel de energía para mantener una propagación sostenida (menor cantidad de energía para evaporar el contenido interno de agua). Este hecho, que desde el punto de vista técnico llamamos *disponibilidad del combustible vivo*, provoca que la cantidad de biomasa en condiciones de participar en el incendio se multiplique de manera ingente. En un incendio de intensidad media-alta solo los elementos muertos del vegetal y las zonas más desfavorecidas del vegetal vivo propagan el fuego. En condiciones de sequía la cantidad de combustible disponible puede ser hasta diez veces mayor creciendo por tanto la intensidad del fuego de manera proporcional.

Superficie Total afectada por Año		
Año	Superficie (Ha.)	Caracterización climática
1994	43.822	Sequía
1985	25.091	Sequía
2005	24.193	Año seco
2000	18.751	
1991	18.673	Sequía
1986	17.830	
2003	15.085	
2012	14.166	Año Seco
1981	13.320	Sequía
1980	10.648	Sequía

Tabla1.: "top ten" de los años de superficie forestal afectada

Superficie forestal CLM afectada por año



La relación entre períodos de sequía e incendios es clara. En nuestra historia reciente identificamos los siguientes episodios de sequía: 1980-1985, 1990-1995 y como años especialmente secos 2005 y 2012.

El “*top ten*” de los años de superficie forestal afectada en los incendios forestales siete se corresponden con periodos de sequía o años especialmente secos (Tabla 1).

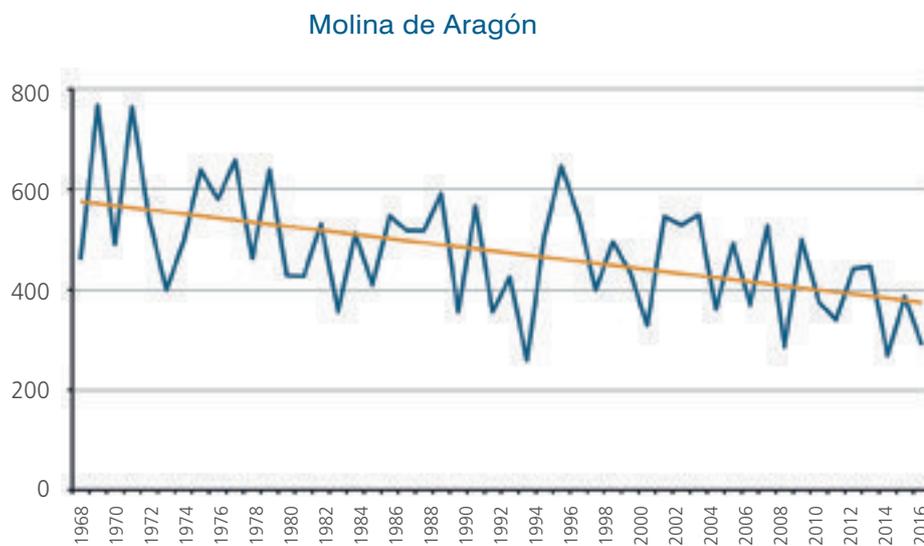
### 1994 el peor año de incendios forestales en Castilla-La Mancha.

En 1994 resultaron afectadas por efecto de los incendios 43.822 Has, de las cuales 41.004, 99 se corresponden con terrenos forestales y 2.817,5 con terrenos de naturaleza no forestal. El efecto acumulativo de los años de sequía previos (desde 1990) más los episodios de altas temperaturas que se vivieron en el mes de julio de 1994 favorecieron el desarrollo del mayor incendio forestal ocurrido en la región, el 17 de julio, que afectó a 18.365,7 Has y que tuvo una duración de 11 días hasta que se dio por extinguido el 28 de julio de 1994.

Desde la UNAP se efectúa un seguimiento diario de la precipitación en la región, para ello monitorizamos alrededor de 650 observatorios meteorológicos pertenecientes a distintas redes públicas o privadas para tener una idea clara del potencial de peligro estacional de incendio forestal de acuerdo con las condiciones de sequía existentes. El análisis de los datos suministrados por aquellas estaciones que cuentan con histórico de más de 15 años arroja las siguientes tendencias:

- El 66% de las estaciones muestran una tendencia clara en la disminución de la precipitación media anual.
- Este efecto es más patente en las provincias de Guadalajara, Cuenca y Toledo, por ese orden.
- En las provincias de Ciudad Real y Albacete los datos no muestran una tendencia clara.

Precisamente las zonas con un régimen de precipitación mayor (Cuenca y Guadalajara) son las más sensibles a los efectos del déficit de precipitación pues la vegetación entra en disponibilidad para arder antes que en las zonas más secas donde la vegetación está más adaptada a sufrir los inconveniencias del déficit hídrico.



**Figura 7:** Evolución de las precipitaciones en la estación de Molina de Aragón (Guadalajara) de AEMET desde el año 1968 cuando comienza a registrarse la estadística de incendios forestales hasta 2016.

### Indicadores de la sequía.

Para realizar un seguimiento de la sequía estacional y analizar el posible peligro que pueda suponer desde el punto de vista de los incendios forestales se utiliza el Drought Code (DC) o índice de sequía. El DC es uno de los subíndices del Fire Weather Index (FWI) o Índice de peligro canadiense (Canadian Forestry Service, 1984-1987), utilizado para la determinación diaria del peligro meteorológico por incendio forestal.

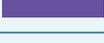
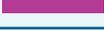
El DC es un estimador de la humedad de la capa más profunda y compacta del mantillo y es un indicador de la importancia que puede tener la combustión sin llama en dicha capa y en los restos de combustibles secos de mayores diámetros (> 7,5 cm de diámetro).

Originalmente este índice se creó como un estimador de las reservas de agua de las capas superiores del suelo y no como un indicador del estado de los combustibles forestales (Turner, 1966).

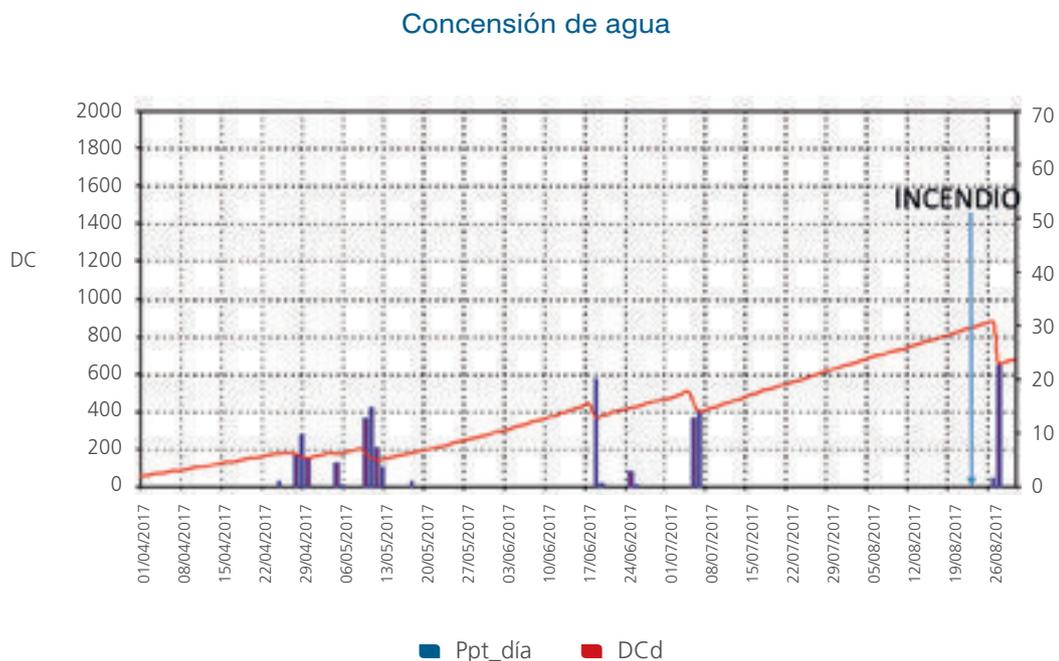
El DC se calcula con el valor de la temperatura a las 12 h y la precipitación caída en el día. Es un índice acumulativo, que en el caso de periodos sin precipitación va sumando puntos cada día, y en caso de que llueva los resta. Este indicador está aceptado por la mayoría de los servicios de LCIF, y en el caso de Castilla-La Mancha está ajustado a las características climáticas de la región y calibrado estadísticamente para determinar la relación entre el DC y la superficie forestal que potencialmente pueden afectar los incendios forestales.

Como ejemplo a continuación se presenta la evolución del DC en la estación de AEMET de San Pablo de los Montes (Toledo) entre el 4 de Abril de 2017 y el 31 de agosto de 2017. El día 23 de agosto ocurrió un incendio forestal que afectó a 51 Has en las cercanías de la localidad.

Como se puede observar en la tabla anterior las peores condiciones de sequía y por tanto de disponibilidad de los combustibles más pesados se alcanzaron en los meses de octubre y noviembre, fuera de lo que se considera la época de peligro alto de incendios forestales tradicional (1 de junio al 30 de septiembre)

Percentil	Valor del DC	Caracterización DC	Color
< 0,06	< 150	Muy Bajo	
0,061 - 0,62	151 - 291	Bajo	
0,62 - 10	292 - 490	Moderado	
10 - 25	491 - 628	Medio	
25 - 50	629 - 806	Alto	
50 - 80	807 - 997	Muy Alto	
80 - 95	998 - 1230	Severo	
>95	> 1230	Extremo	

**Tabla 2:** Ajuste de clases de peligro del DC en función del histórico de ocurrencia de incendios forestales mayores de 40 Ha. de superficie forestal.



**Figura 8:** Evolución del DC en la localidad de San Pablo de los Montes.



Figura 9: Desarrollo del incendio de San Pablo de los Montes (Toledo) el 23/08/2017.

Evolución del DC en Castilla-La Mancha durante el año 2017.

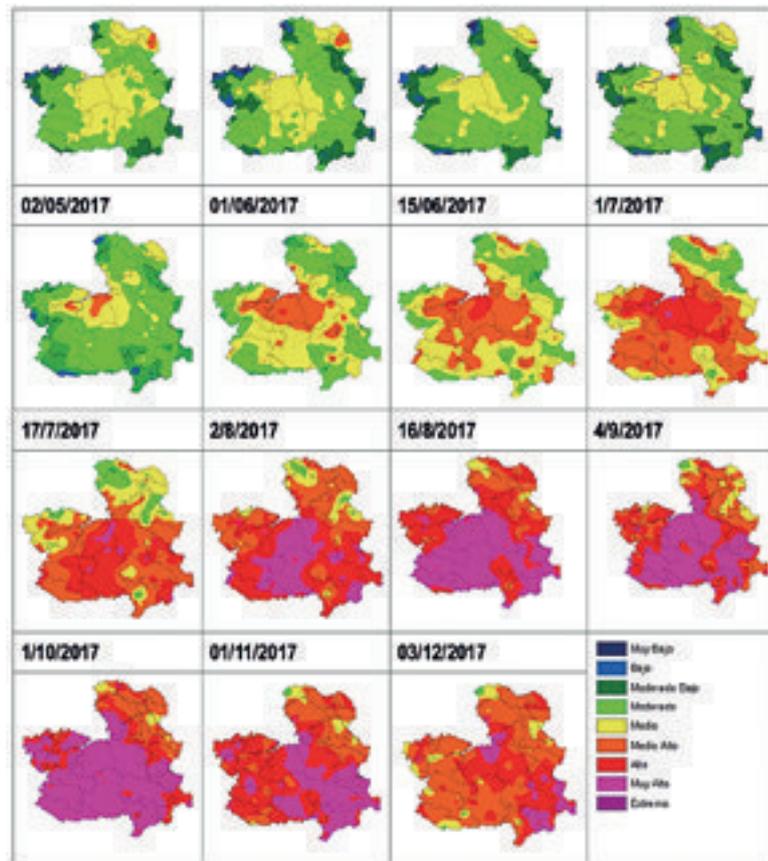


Tabla 3: Evolución del índice de Sequía durante el año 2017.

### Temperatura y olas de calor.

Las observaciones históricas climáticas indican claramente la tendencia de incremento en la temperatura media diaria 0.13°C por década según Brunet et al. En el período de 1901-2005. Y claramente las proyecciones climáticas para el futuro muestran un incremento de las temperaturas medias.

Desde el punto de vista de los incendios lo que realmente genera problemas es la ocurrencia continuada durante varios días de temperaturas por encima de determinados umbrales. Es lo que se denomina *ola de calor*. Aunque existen varias definiciones sobre el término ola de calor presentamos la última propuesta por la AEMET en el documento *Olas de calor en España desde 1975*, octubre de 2017. Aquí se define ola de calor como “un episodio de al menos tres días consecutivos, en que como mínimo el 10% de las estaciones consideradas registran máximas por encima del percentil del 95% de su serie de temperaturas máximas diarias de los meses de julio y agosto del periodo 1971-2000”.

La ocurrencia de una ola de calor supone lo que desde el punto de vista de los incendios forestales denominamos como una *situación sinóptica de riesgo*, que en la península ibérica ocurren fundamentalmente debido a la incursión de la masa de aire cálido procedente de África. La persistencia continuada de altas temperaturas y por tanto bajas humedades relativas supone para los vegetales una situación crítica.

Los vegetales vivos en su ciclo diario pierden humedad por transpiración en las horas centrales del día y recuperan humedad durante la noche. Para que este ciclo se mantenga equilibrado y no genere un déficit importante para la planta, los valores de temperatura y humedad relativa deben de mantenerse en unos umbrales mínimos durante la noche. Si esos mínimos no se alcanzan la planta va acumulando un déficit diario que acaba situándola en condiciones favorables para participar activamente en los procesos de combustión.

Episodios de ola de calor, número de días con ola de calor durante el verano y duración de la ola de calor más larga de cada verano, desde 1975

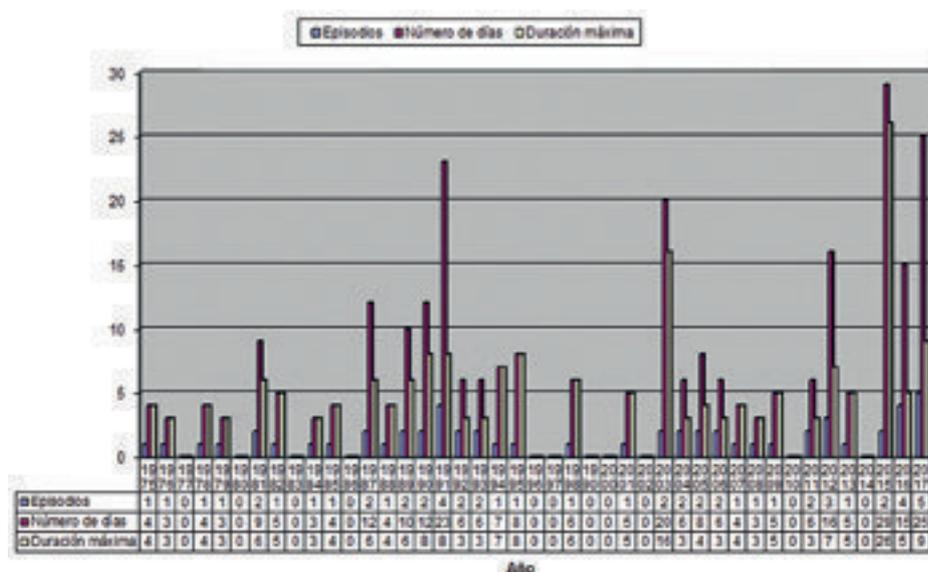


Figura 10: Olas de calor en España desde 1975 durante el verano y duración de las mismas, AEMET. Octubre de 2017.

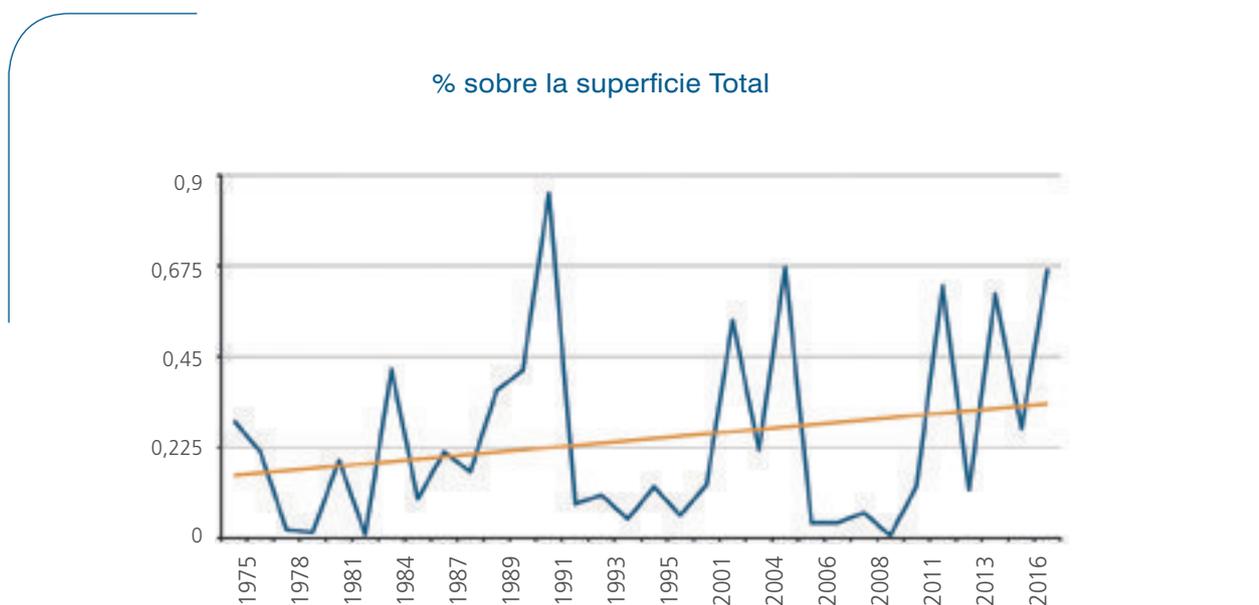
Por otra parte como ya se ha mencionado, hay otra parte de combustibles que intervienen en un incendio que son los combustibles muertos (herbáceas secas, hojas y acículas muertas, ramillos y ramas secas) que tienen un régimen de humectación propio, y que es extremadamente dependiente de la situación de la temperatura y humedad relativa del entorno que les rodea. Estos son los denominados combustibles muertos y que juegan un papel fundamental en el inicio y posterior propagación del fuego forestal.

Los combustibles muertos más finos son los elementos iniciadores y principales propagadores del fuego.

La incidencia de las olas de calor sobre la ocurrencia y posterior desarrollo de los incendios es clara, en Castilla –La Mancha en términos medios desde 1975 el 25% de los daños producidos por los incendios se producen en el transcurso de episodios de ola de calor. De acuerdo con los datos presentados por AEMET en el documento sobre olas de calor (octubre 2017) el número de episodios y la duración de los mismos tienen tendencia creciente en los últimos años. En los últimos 10 años hemos sufrido episodios significativos de ola de calor en los años 2012, 2015 y 2017.

Veamos cómo han influido durante los últimos años las olas de calor en los incendios forestales:

- Durante el verano de 2017 sufrimos 5 episodios de ola de calor con una duración total de 25 días, el episodio más prolongado fue el comprendido entre el 13 y el 21 de junio, con nueve días de duración. En ese mismo año la superficie forestal ardida en esos episodios supone el 81% de la superficie forestal siniestrada a lo largo de todo el año 2017.
- En el verano de 2015 padecimos dos olas de calor. El primer episodio duró 26 días, del 27 de junio al 22 de julio (la ola de calor más prolongada al menos desde que se tienen registros). El segundo episodio fue del 27 de julio al 29 de julio, total durante el verano 29 días de ola de calor. La superficie forestal afectada por incendios en episodios de ola de calor durante el verano de 2015 supone el 65% del total quemado durante todo el año.
- Durante el verano de 2012, se produjeron tres olas de calor con un total de 16 días sometidos a estas condiciones críticas. El nivel de daños producido por los incendios forestales en estos tres episodios supuso el 68% de la superficie forestal afectada durante todo el año. Además

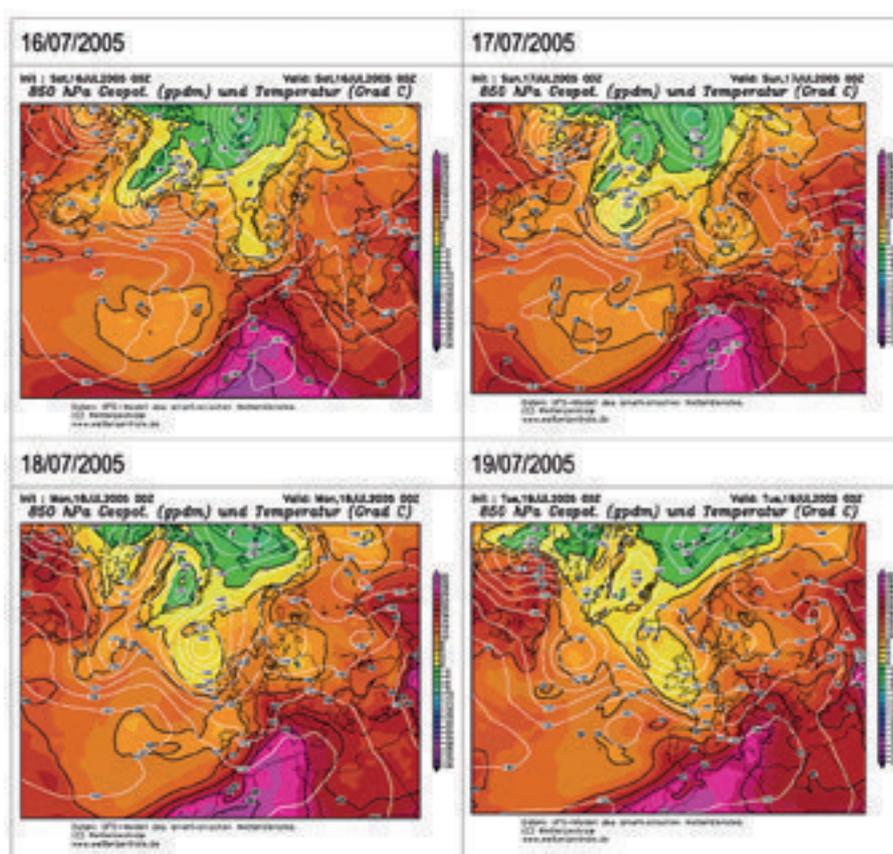


**Figura 11:** Porcentaje de la superficie forestal quemada en episodios de ola de calor en CLM desde 1975

2012 fue un año especialmente seco, con lo que ambos factores adversos se conjugaron para dar una superficie total afectada por los incendios de 15.694 Ha.

Además es frecuente que dentro de la dinámica de las masas de aire que afectan a la península ibérica que a estos episodios de alta temperatura le sigan episodios de viento, cuando las masas de aire cálido africanas son empujadas (comprimidas) por masas de aire más frío procedentes del NW (atlántico). Lo que puede dar lugar a episodios realmente graves como el producido durante el desarrollo del incendio de la Riba de Saelices en el año 2005 en Guadalajara en el murieron 13 intervinientes en las tareas de extinción. Si a esto se le suma los efectos de una sequía estacional prolongada tenemos todos los ingredientes para conseguir GIF con desarrollo energéticos muy potentes totalmente fuera de la capacidad de contención de los dispositivos de extinción de incendios forestales. En estas situaciones aunque la ola de calor en sí, haya desaparecido los combustibles han un conservar una gran inercia con respecto a los efectos de las altas temperaturas y bajas humedades relativas.

En las imágenes de abajo (tabla 4) se puede observar la situación sinóptica (mapa de 850 hPa, unos 1500 m de altura) ocurrida en el mencionado incendio, en el que la aproximación de una vaguada desde el atlántico (aire más frío, colores anaranjados) empuja hacia el este a la dorsal africana (masa de aire más cálido, colores rosados) generando una zona frontal con fuertes vientos en el área central de la península.



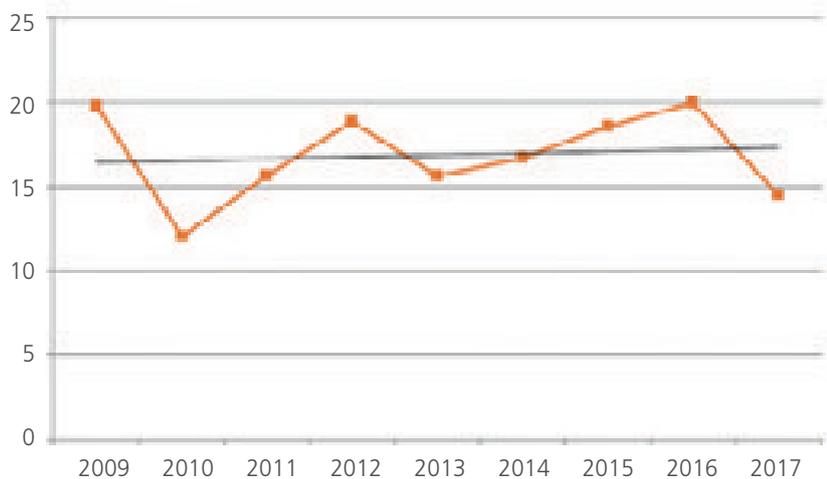
**Tabla 4:** Evolución sinóptica entre los días 16/07/2005 y 19/07/2005 durante los que se desarrolló el incendio de la Riba de Saelices en Guadalajara



**Figura 12:** Imagen del desarrollo de la columna convectiva del incendio de la Riba de Saelices el día de 16/07/2005 a las 18:26 h. El incendio se desarrolla con altas temperaturas, bajas humedades relativas y vientos de más de 30 km/h. Las velocidades de propagación sobre el eje principal de desarrollo del fuego superaron los 6 km/h, en determinadas fases, teniendo una velocidad de propagación media de 3,6 km/h.

### Episodios de viento.

Castilla-La Mancha a diferencia de otras regiones del país no presenta un régimen de vientos significativo en cuanto a intensidad se refiere. Este hecho facilita en gran medida las operaciones de extinción. Existe una dominancia clara de los vientos de componente SW, al menos en lo a incendios forestales pues la gran mayoría de los incendios son movidos por esta componente de viento.



**Figura 13:** Promedio de la velocidad de viento en incendios forestales mayores de 50 Ha. En Castilla-La Mancha.

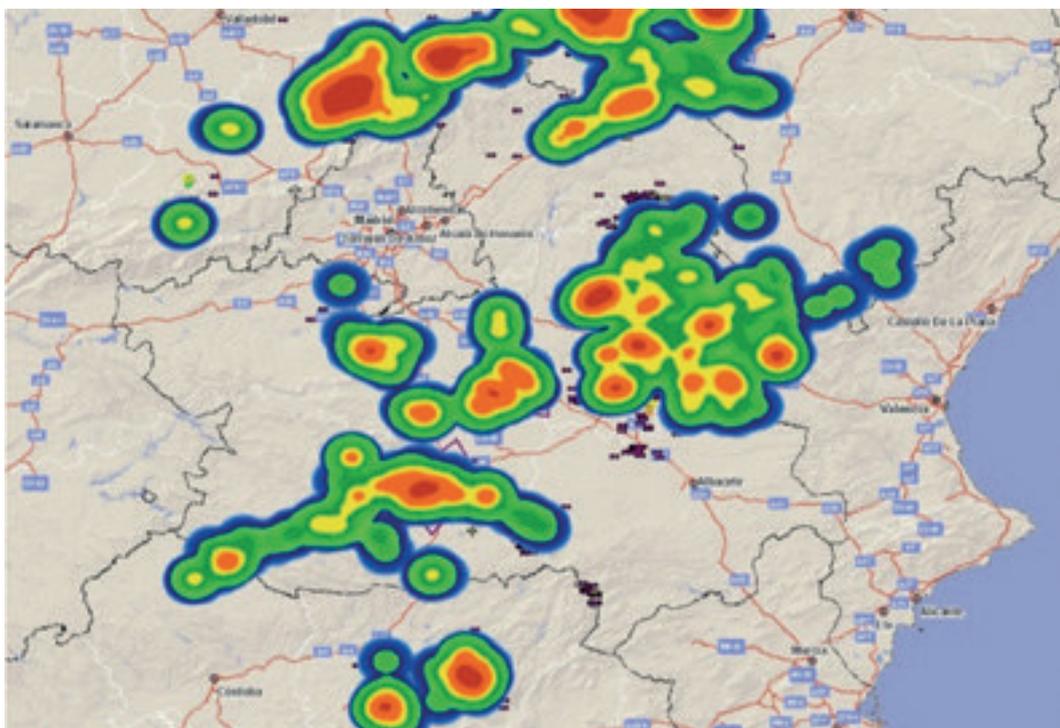
Aunque el factor viento es difícil de cuantificar por su variabilidad espacio-temporal en la figura 12, se representa la velocidad media del viento registrada en los incendios acaecidos entre los años 2009 y 2017. Los valores promedios se encuentran entre los intervalos de 15 a 20 km/h. La distribución de los datos en es en forma de dientes de sierra, con una muy pequeña tendencia creciente que no resulta desde el punto vista del análisis significativa.

### Incendios forestales producidos por tormentas.

En los primeros apartados se ha hablado como los incendios provocados por rayo como incendios por *causa natural*. Estos incendios de rayo suponen en términos medios en los últimos años un porcentaje del 15% sobre el total de incendios.

La ocurrencia de tormentas no solamente tiene incidencia en la ocurrencia de incendios, desde el punto de vista de la seguridad en la intervención dan lugar a escenarios con vientos cambiantes en dirección e intensidad que pueden complicar las operaciones de extinción.

Excepto en el 2017 que los episodios tormentosos han sido más numerosos (1,5 veces mayor que la media histórica), no se aprecian fluctuaciones significativas o tendencias en los últimos años achacables a los fenómenos de cambio climático.



**Figura 14:** Situación de desarrollo de núcleos tormentosos en la tarde del 15/06/2017. Incendio de Almoquera. Guadalajara que complicó enormemente las tareas de extinción, en primera instancia y que una lluvia torrencial finalmente ayudó a su control final.



**Figura 15:** Desarrollo del incendio de Almoguera (Gu) el 15/06/2017 en plena ola de calor y en el cual un núcleo tormentoso ayudó a aumentar su intensidad y que finalmente la lluvia de la propia tormenta ayudó a controlar. No obstante los incendios en escenarios tormentosos pueden resultar muy peligrosos por la variabilidad en los vientos producidos por la propia tormenta.

## Incendios forestales en clm: tipologías de incendios forestales y evolución de las condiciones de propagación de los incendios en los últimos años.

### Tipologías de incendios.

#### Clasificación de los incendios por patrón de propagación.

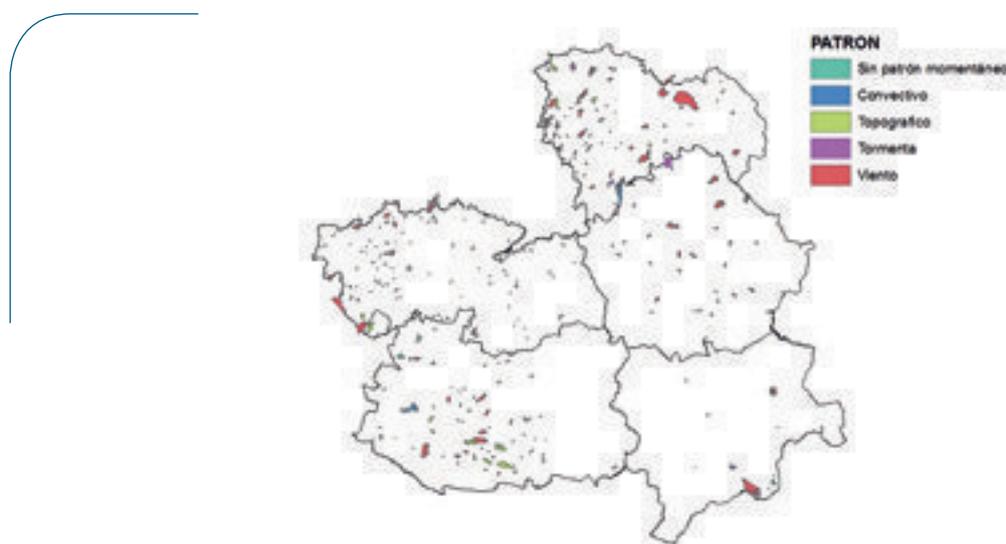
Clasificamos los incendios forestales en cuatro tipos, atendiendo al factor de propagación que más peso tiene en su dinámica de propagación. La identificación de la tipología de cada incendio puede tener importantes implicaciones operativas y de seguridad en la intervención, pues puede mejorar la identificación de objetivos, zonas de oportunidad donde poder contener el incendio y en definitiva mejorar la efectividad de las operaciones.

#### Topográficos.

En estos incendios el factor de más influencia es el desnivel del terreno provocado por la diferencia de cotas (pendiente), tienen asociados los vientos generados por las diferencias de calentamiento entre distintas laderas, valles u otros accidentes del terreno (vientos topográficos).

#### Viento.

Asociados a episodios de viento general de cierto nivel de intensidad (generalmente mayores de 15 km/h en velocidad media). Estos incendios se producen al paso de sistemas frontales (fríos o cálidos). Como se comentó en el apartado anterior los vientos dominantes en los incendios son de componente suroeste.



**Figura 16:** Mapa de distribución de incendios forestales (>40 ha) a nivel regional en función de su patrón de propagación.

### Tormenta.

Incendios movidos por vientos generados por núcleos tormentosos.

### Convectivos.

Este tipo de incendios es el más peligroso por la gran intensidad que pueden generar y por ser difícil la predicción de su evolución.

### Mapa distribución regional.

Se presenta a continuación un mapa con la distribución de los incendios forestales en función de su patrón de propagación en el período 2000-2016

### Tasa de propagación.

La tasa de propagación (Delta) mide el crecimiento en unidades de superficie en la unidad de tiempo (hectáreas por hora) del incendio y nos da una idea clara de cómo ha sido la evolución de los comportamientos medios del fuego en un año determinado.

De esta forma se puede analizar de forma objetiva la influencia de factores climáticos o episodios meteorológicos adversos han tenido en la evolución de los incendios de cada año.

A la vista de los valores representados en la figura 17, se observa claramente que el peor año en cuanto a comportamiento energético de los incendios fue el 2012. Esto fundamentalmente fue debido a dos razones, como ya se ha comentado anteriormente, los efectos de la sequía acumulada (año seco, con invierno y primavera con escasas precipitaciones) y los episodios de ola calor sufridos desde finales del mes de junio. El siguiente año en cuanto a complejidad de los incendios fue el 2015, debido en su mayor parte a los incendios ocurridos en la ola de calor más larga de la historia, que se prolongó desde finales de junio hasta casi finales del mes de julio. El año 2017 a pesar de haber sufrido 6 olas de calor, los efectos de las mismas fueron mitigados en gran parte por los episodios

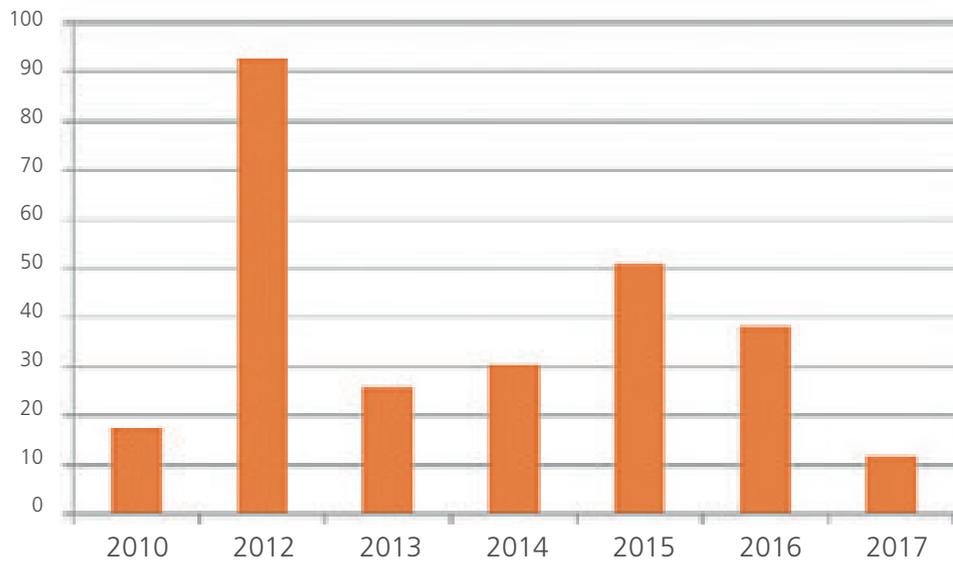


Figura 17: Evolución de la tasa de propagación en el periodo 2010-2017 (Ha./hora)

### Interpretación de los valores

Delta	Capacidad de extinción
< 6,5 ha/h	El incendio normalmente se contiene en el ataque inicial
6,5 - 21 ha/h	El incendio normalmente se contiene en el ataque ampliado
>21 ha/h	Incendio totalmente fuera de capacidad, será necesario esperar a oportunidades que favorezcan las tareas de extinción.

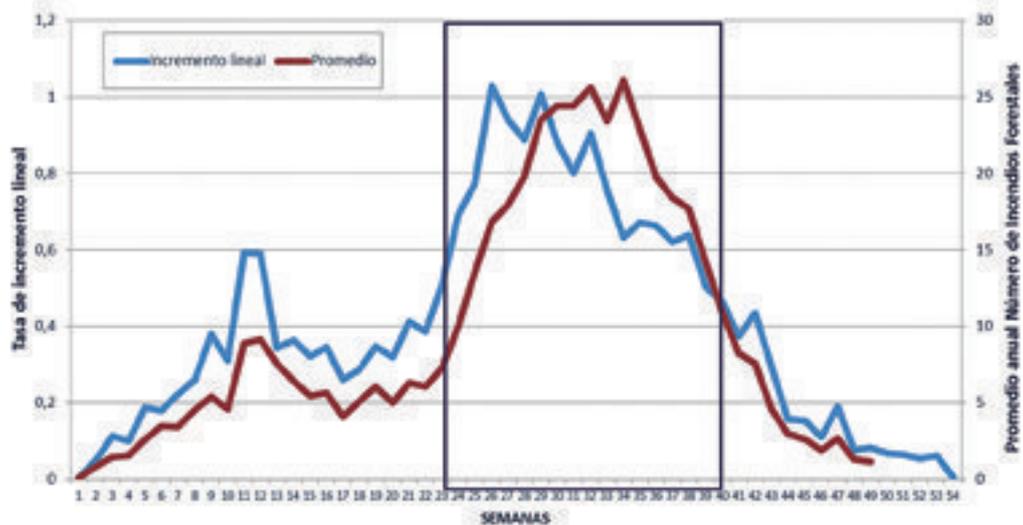
de lluvias torrenciales ocurridas a principios del mes de julio y finales del mes agosto, no obstante la época de peligro se prolongó hasta el mes de noviembre.

## Evolución de la época de peligro de incendios.

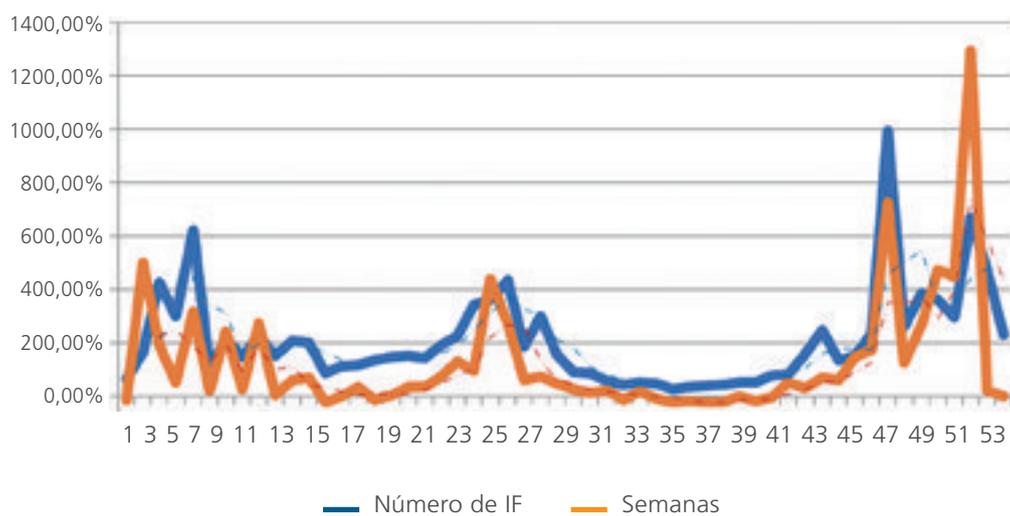
### Número de incendios.

Representando la distribución de número de incendios forestales por semanas se observa un máximo absoluto durante el periodo estival, con un máximo relativo durante el final del invierno. Una representación de la pendiente de la recta de regresión por ajuste lineal de la variable número de incendios ayudará a comprender si el incremento a lo largo de la serie temporal utilizada (1968-2017) para este análisis es positivo (creciente) o negativo (decreciente).

### Incremento lineal Número IF



### Valoración Número IF y superficie Total (%)



Si bien el mayor número de incendios forestales aparece entre las semanas 27 y 39, el mayor incremento se encuentra desplazado hacia el periodo comprendido entre las semanas 24 y 33; esto es, hacia el final de la primavera. Del mismo modo, aparece un máximo relativo en número de incendios forestales entre las semanas 10 y 13, correspondientes al final del invierno, coincidente con otro máximo relativo en incremento lineal de número de incendios forestales.

### Superficie forestal

Comparando los valores de número de incendios forestales y superficie total afectada de las serie 2000-2017 con la serie 1968-2000, se obtiene del gráfico de la página anterior.

La representación por semanas de la variación porcentual del número de incendios forestales indica un incremento a lo largo de todo el año. Sin embargo, este incremento alcanza sus máximos en tres periodos: mes de febrero, final de la primavera y otoño. Así, se observa un incremento alrededor del 500 % en los meses de otoño y del 400 % al final de la primavera.

En lo que a superficie total afectada por los incendios forestales se refiere, se detecta un incremento en la misma línea que el reflejado para el número de incendios forestales, pero en menor medida. El incremento de febrero es del 200 %, siendo prácticamente nulo en abril, superando el 200 % al final de la primavera, y superando el 600 % en diciembre. No obstante, debido a que el valor absoluto de la superficie forestal afectada es muy baja, el incremento porcentual de la misma no adquiere tanta relevancia como el incremento del número de incendios forestales.

### Conclusiones.

Desde el punto de vista estrictamente meteorológico se observa un empeoramiento de los factores que afectan de forma favorable al inicio y posterior desarrollo de los incendios forestales que se han presentado en este documento:

- Incremento de la temperatura media, máximas y mínimas-
- Incremento del número de olas de calor y su duración
- Tendencia a la disminución de la precipitación en algunas zonas de la región.
- Evolución de los periodos de sequía.

El número de incendios forestales muestra una clara tendencia creciente año a año, pero sin embargo las superficies afectadas por los mismos no presentan la misma evolución, fluctuando año a año en función de las características específicas del mismo. Bien es cierto que las series históricas de estudio son muy cortas y no permiten efectuar afirmaciones con rotundidad.

Desde el punto de vista de la gravedad de los incendios el factor climático de más peso son los periodos de sequía, pero no obstante para tener un escenario totalmente desfavorable deben coincidir los periodos de sequía y los episodios de altas temperaturas.

Por otro lado también se está produciendo una radicalización del clima pues se está pasando de episodios de altas temperaturas a otros de bajas o muy bajas en cuestión de días. De la misma manera los periodos de severas sequias se están alternando con periodos o estaciones de abundante precipitación, que de alguna manera por el momento equilibran la balanza y no dan lugar a empeoramientos dramáticos de los escenarios favorables para los incendios forestales.

Lo que si podemos afirmar con rotundidad es la ampliación de las épocas de peligro alto, que tradicionalmente han ido de junio a septiembre. Actualmente podemos encontrarnos un episodio favorable para el desarrollo de incendios forestales en cualquier época del año. Desde el punto de vista estructural y organizativo este hecho tiene una gran importancia a la hora de planificar y distribuir temporalmente y sobre el territorio los recursos para la prevención y extinción de incendios.

## Anexos:

Incendios mas significativos de los años 2016 y 2017

**Tabla 5:** Incendio Almoguera (GU) 15/06/2017.

INCENDIO ALMOGUERA			
Nº Fidas:	2017190175	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 502622 Y: 4455600
Provincia:	Guadalajara	Día/mes/año	15/06/2017
Término Municipal	Almoguera	Hora de inicio	16:58 h
Comarca	Campiña	Superficie (ha)	Forestal: 190,75 ha No Forestal: 4,09 ha Total: 194,84 ha
Paraje		Nivel de Gravedad	NIVEL 0
Tipología de incendio	Conducido por viento y tormenta		
Datos Meteorológicos	Fase 1, día 15 (llana): Tº: 40,03° C HR: 12,44 % Viento general: 8 km/h W, (racha máx. 46 km/h) Ppt: 6,87 mm (Tormenta)		
Combustible	El incendio afectó a zonas de arbolado disperso de encina ( <i>Quercus ilex</i> ), pino carrasco ( <i>Pinus halepensis</i> ), y zonas desarboladas cubiertas principalmente por esparto ( <i>Stipa tenacissima</i> ) y romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ). Modelos ppales: 2, 4 y 10.		
Comportamiento	Velocidad de propagación: 15 m/min (0,9 km/h) según eje de máxima propagación. Long. de llama máximas estimadas: 3-5 m de, con focos secundarios a corta distancia, y, posteriormente, zonas de mayor longitud de llama en carreras a favor de pendiente (>5m), con focos secundarios a mayor distancia, 50-100 m, propagando de copas por la encina. En fase más crítica de descarga de viento de la tormenta, velocidades e intensidades superiores.		
Evolución Incendio	En su inicio, propaga en zona llana siguiendo el viento general del W hasta llegar a zona forestal, primer punto crítico en zona de nudo de barranco, donde realiza una primera carrera a favor de viento, pendiente y exposición. Una vez en zona alta, el fuego tiende a seguir, como eje de propagación, la cresta principal, de W a E, en su acción sobre viento de componente principal W. Posteriormente, empiezan a crecer núcleos tormentosos cercanos al incendio, que empiezan a afectar a la propagación del incendio, al cambiar el régimen de vientos, del general, al producido por la tormenta. Acto seguido a esta fase de descarga de viento de la tormenta, se producen precipitaciones, lo que conlleva la estabilización del fuego		

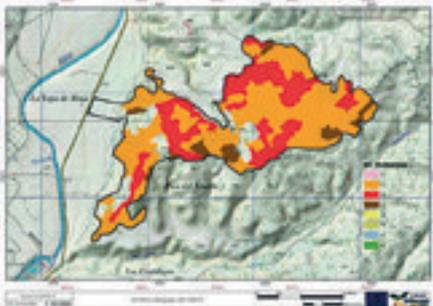
**INCENDIO ALMOGUERA**



Perímetro final y croquis de propagación. Fuente UNAP.



Fase inicial del incendio desde flanco izdo., (17:49 h) a la llegada 1ª HT.



Distribución de los combustibles en la superficie afectada. La mayor superficie le corresponde al modelo 2 (Rothermel)



Reproducción (día 17) en la zona de flanco derecho/cola. (20:42 h).

**Tabla 6:** Incendio Ciudad Real (CR) 13/07/2017.

INCENDIO CIUDAD REAL			
Nº Fidas:	2017130218	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 414152 Y: 4323404
Provincia:	Ciudad Real	Día/mes/año	13/07/2017
Término Municipal	Ciudad Real	Hora de inicio	19:17 h
Comarca	Campo de Calatrava	Superficie (ha)	Forestal: 40,89 ha No Forestal: 23,48 ha Total: 64,37 ha
Paraje	Pantano El Vicario	Nivel de Gravedad	NIVEL 1
Tipología de incendio	Conducido por viento (tormenta cercana).		
Datos Meteorológicos	Estación de La Entresierra (red SIAR): Tª: 36°; HR: 12%; Viento: Módulo: 7 km/h; Dir: NW.		

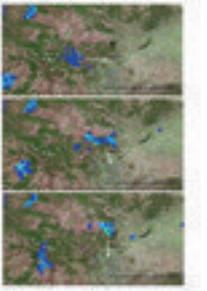
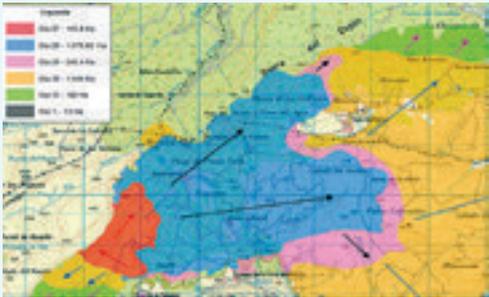
INCENDIO CIUDAD REAL	
Combustible	El incendio afectó principalmente a zonas de pasto y matorral con diferentes concentraciones de coscoja ( <i>Quercus coccifera</i> ), y retama ( <i>Retama sp.</i> ), con presencia de arbolado disperso de encina ( <i>Quercus ilex</i> ), y zonas de vegetación de ribera. Modelos principales: 2, 4 y 5.
Comportamiento	Velocidad de propagación: Rápida en el inicio, por la afección de los vientos fuertes de la tormenta. Cuando pasó esta fase la velocidad disminuyó considerablemente, pasando a propagación lenta. Long. de llama máxima estimada: 3-5 m, coincidiendo con las carreras con alineación de viento y la entrada en las manchas de combustibles más pesados. El resto del incendio no alcanzó longitudes de llama superiores a 1,5 m., excepto cuando alcanzaba concentraciones de combustible en estas manchas o en barrancos.
Evolución Incendio	En su inicio es conducido por los vientos de W generados por la tormenta cercana, que hacen que el incendio alcance el único cerro afectado donde además coincide con las mayores concentraciones de combustible pesado, alcanzándose las mayores intensidades. En su evolución se dirige hacia unas instalaciones recreativas cercanas, y hacen que se produzca una emergencia por alarma social y riesgo a la población. Al desplazarse la célula tormentosa hacia el NE y perder intensidad, el viento cambia de dirección, con una variación superior a 90°, disminuyendo en módulo y dirigiendo el incendio a zonas de combustible más favorables para la extinción.
 	
Perímetro final, e imágenes del paso de la tormenta según el radar de AEMET.	 <p>Fase inicial del incendio desde las piscinas hacia las que se dirigía en primera instancia (aprox. 19:00 h). Momento de mayor intensidad en comportamiento.</p>
 <p>Fase final del incendio (19:46 h), en la que se aprecia el giro de viento.</p>	 <p>Vista de general de la fase final (20:19 h). Variabilidad de combustibles.</p>

Tabla 7: Incendio Yeste (AB) 27/07/2017.

INCENDIO YESTE			
Nº Fidias:	2017020250	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 555083 Y: 4253423
Provincia:	Albacete	Día/mes/año	27/07/2017
Término Municipal	Yeste	Hora de inicio	11:18 h
Comarca	Sierra del Segura	Superficie (ha)	Forestal: 3074,43 ha No Forestal: 142,65 ha Total: 3217,08 ha
Paraje	La Parrilla	Nivel de Gravedad	NIVEL 2
Tipología de incendio	Conducido por viento		
Datos Meteorológicos	Tª máx.: 40° C HR: 10-15 % Viento general: 10-20 km/h componente W (rachas 40-50 km/h madrugada del 28/07)		
Combustible	Parte del desarrollo del incendio discurre sobre terreno incendiado el año 1994, con masa forestal en estado de latizal de especies de pinus sp. principalmente, que constituye un modelo de combustible tipo 4+. Modelos 2, 9 y 10 (según Rothermel).		
Comportamiento	Vel. de prop. máx: 30/07, 35 m/min (2,1 km/h) cabeza/flanco izdo; 28 y 30/07, 15-20 m/min (0,9-1,2 km/h) cabeza/flanco dcho. Long. de llama máx. estimadas: 20 m en cabeza y 3 m en flancos. Emisión de focos secundarios: puntuales a 200 m y masivos a 50 m.		
Evolución Incendio	El incendio presenta una propagación dominada por el viento y condicionada por la topografía. La fase inicial presenta una propagación topográfica, realizando la carrera principal en línea de máxima pendiente, sin abrirse de flanco, hasta llegar a la cuerda desprovista de vegetación (calar del río Mundo) donde se detiene la cabeza. Posteriormente, el incendio comienza a abrirse de flanco, siendo más activo el NE, como consecuencia del viento general de componente W, y el efecto rotor generado en la cresta por éste. El eje de máxima propagación, se mantuvo hacia el sector E, hasta la estabilización del incendio (a partir del día 1 de agosto). El episodio más energético y con mayor superficie quemada, coincidió con los días 28 y 30 de julio.		

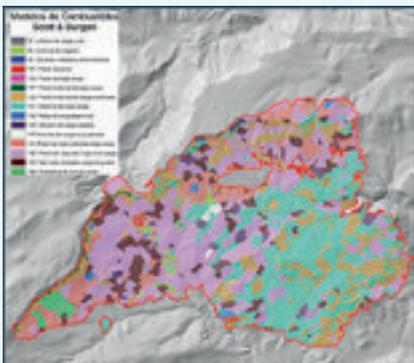
### INCENDIO YESTE



Perímetro final y croquis de propagación. Fuente UNAP.



Fase inicial del incendio (11:39 h) a la llegada 1ª HT.



Distribución de los combustibles en la superficie afectada. La mayor superficie le corresponde al modelo 4+ (Rothermel)



Evolución del incendio a las 16:12 h del día 28 julio.

**Tabla 8:** Incendio Campillo de Alto Buey (CU) 31/07/2017.

INCENDIO CAMPILLO DE ALTO BUEY			
Nº Fidas:	2017160294	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 606852 Y: 4383863
Provincia:	Cuenca	Día/mes/año	31/07/2017
Término Municipal	Campillo de Alto Buey	Hora de inicio	15:31 h
Comarca	Manchuela	Superficie (ha)	Forestal: 1057 ha Total: 1057 ha
Paraje		Nivel de Gravedad	NIVEL 1
Tipología de incendio	Conducido por viento		

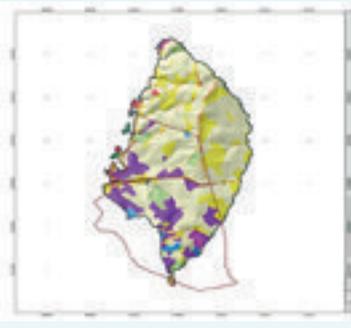
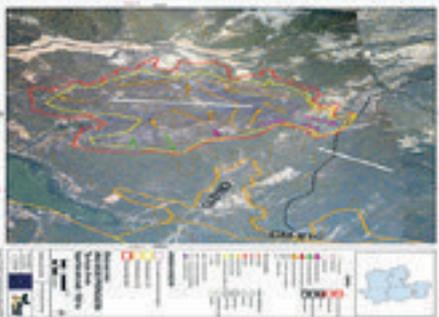
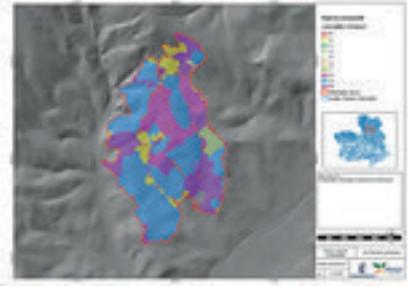
INCENDIO CAMPILLO DE ALTO BUEY	
Datos Meteorológicos	Al inicio: Tª máx.: 35° C HR: 10-15 % Viento general: 15-20 km/h componente S-SW (rachas 30 km/h )
Combustible	El incendio ha afectado a zonas de matorral de encina y arbolado disperso ocasionalmente agrupado en rodales en rodales de Pinus pinaster, P. halepensis y P. nigra, también ejemplares de encina (Quercus ilex), sabina albar (Juniperus thurifera), sabina mora (Juniperus phoenicia), enebro, (Juniperus oxicedrus) y romero (Rosmarinus officinalis). Modelos 2, 5 y 10 (Rothermel)
Comportamiento	Vel. de prop. máx: 20 m/min (1,2 km/h) en el eje principal de propagación Long. de llama máx. estimadas: 25 m en cabeza y 3 m en flancos. Emisión de focos secundarios: puntuales a 150 m y masivos a 50 m.
Evolución Incendio	Iniciado a consecuencia de un accidente de tráfico, el fuego pasa a afectar a la vegetación circundante, y desde el inicio presenta un comportamiento de elevada intensidad con fuego de copas pasivo en la masa de pinar y emisión de focos secundarios a corta y media distancia. Desde las 18:00h hasta las 19:00h el incendio continúa impulsado por el viento a lo largo del eje de crestas. A partir de las 19.00 h alcanza una masa de encinar de alta densidad y alta disponibilidad. Desde las 20:20 h, el viento se mantiene en componente SE y disminuye en módulo, el flanco izquierdo se convierte en cabeza, progresando hasta la línea de cultivos. Entre las 22:00-23:00 h mejora las condiciones de HR y viento, produciéndose la estabilización y detención del avance del frente.
 <p style="padding: 5px;">Perímetro final y croquis de propagación. Fuente UNAP.</p>	 <p style="padding: 5px;">Evolución del incendio a las 17:52 h del día 31 julio.</p>
 <p style="padding: 5px;">Distribución de los combustibles en la superficie afectada. La mayor superficie le corresponde al modelo 5 (Rothermel)</p>	 <p style="padding: 5px;">Evolución del incendio a las 19:37 h del día 31 julio.</p>

Tabla 9: Incendio Cañamares (CU) 09/08/2017.

INCENDIO CAÑAMARES			
Nº Fidas:	2017160304	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 564717 Y: 4480636
Provincia:	Cuenca	Día/mes/año	09/08/2017
Término Municipal	Cañamares	Hora de inicio	21:32 h
Comarca	Serrania Media	Superficie (ha)	Forestal: 158,9 ha Total: 158,9 ha
Paraje	Puerto del Monsaete	Nivel de Gravedad	NIVEL 2
Tipología de incendio	Conducido por viento		
Datos Meteorológicos	Tª máx.: 15° C HR: 40-50 % Viento general: 20-25 km/h componente NE		
Combustible	El incendio ha afectado en su mayor parte a monte arbolado con Pinus pinaster como especie principal, con densidades de 800- 1000 pies/ha y con FCC de 90-100%. Al tratarse de montes particulares, éstos presentaban un sotobosque denso, compuesto fundamentalmente de Quercus ilex, Juniperus oxicedrus, Rosmarinus officinalis etc. Modelo 8 y 9 (Rothermel).		
Comportamiento	Vel. de prop. máx: 10 m/min (0,6 km/h) en el eje principal de propagación Emisión de focos secundarios a media y larga distancia		
Evolución Incendio	Comienza el incendio con carreras ascendentes buscando el eje de cresta, y carreras a contraviento ascendentes hasta la cuerda del "Monsaete". En el inicio y en cresta registra el comportamiento más energético. Desde las 23:30 h a las 3:30 h, el viento mantiene la componente NE, pero desciende progresivamente en modulo hasta los 5 km/h. Desde las 3:30 h hasta las 9:30 h, ralentiza considerablemente su propagación, tanto en la zona de cabeza como el flanco dcho. que avanza de recula; únicamente en flanco izdo. avanza mediante carreras topográficas ascendentes. A partir de ese momento, propaga únicamente por superficie, lo que permite la estabilización y contención con ayuda de los medios aéreos incorporados al orto.		
			
Perímetro final y croquis de propagación. Fuente UNAP.		Incendio a las 21:45 h, se observa el fuego en sus primeros momentos de evolución.	

**INCENDIO CAÑAMARES**



Distribución de los combustibles en la superficie afectada. La mayor superficie corresponde a los modelos 8 y 9 (Rothermel)



Incendio a las 12:10 h del 10/08 (ACO 2). Tan sólo se observa actividad en zona de cabeza y flanco izdo- cabeza, dentro de las líneas de contención.

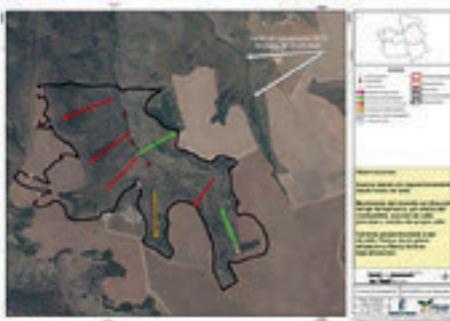
Tabla 10: Incendio Las Herencias (TO) 17/08/2017.

**INCENDIO LAS HERENCIAS**

Nº Fidas:	2017450520	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 349585 Y: 4421232
Provincia:	Toledo	Día/mes/año	17/08/2017
Término Municipal	Las Herencias	Hora de inicio	09:34 h
Comarca	Talavera	Superficie (ha)	Forestal: 42 ha Forestal: 4 ha Total: 46 ha
Paraje	Finca El Chorrillo	Nivel de Gravedad	NIVEL 0
Tipología de incendio	Conducido por viento con influencia topográfica		
Datos Meteorológicos	Tª máx.: 39° C HR: 14,5 % Viento general: 5-10 km/h componente ESE (rachas 20 km/h )		
Combustible	Los modelos mayoritarios según rothermel son: 2, 4 y 5. El pasto ha sido el principal propagador del fuego. Disperso por la zona se pueden observar arbustos de retamas ( <i>Retama sphaerocarpa</i> ). En los barrancos es donde hay una mayor carga de combustible, coincidiendo con regenerado de encina ( <i>Quercus rotundifolia</i> ).		

## INCENDIO LAS HERENCIAS

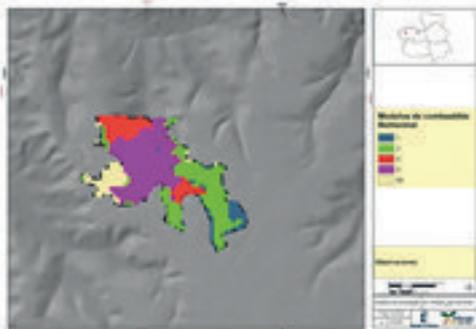
Comportamiento	El comportamiento ha sido de viento con influencia topográfica, quemando en alta intensidad. Con una longitud de llama en cabeza de 5-10 m y en flanco de 0,5 a 1,5m, focos secundarios puntuales en carreras más intensas 20-30 m. Velocidad de propagación en última carrera en plena alineación de 24 m/min. Como curiosidad, se disponía de una huella del año 87 (30 años atrás) con mismo patrón y misma situación sinóptica. Con un comportamiento similar a este incendio.
Evolución Incendio	El incendio se mueve con viento del E. Las laderas orientadas al E y a favor de viento tienen comportamientos más intensos y rápidos debido a la plena alineación, realizando carreras laterales después de aperturas de flanco desde el fondo del barranco. Además de esto, el incendio también se mueve a través del eje del barranco con apertura lateral del flanco drcho. por efecto del viento de la succión del valle principal del Tajo y la continuidad de combustible.



Perímetro final y croquis de propagación. Fuente UNAP.



Evolución del incendio a las 11:46 h del día 17 de agosto.



Distribución de los combustibles en la superficie afectada. La mayor superficie le corresponde al modelo 5 (Rothermel)



Comparativa de huellas (perímetros) en la zona. En rojo incendio del 20/08/1987 (80 ha)

Tabla 11: Incendio San Pablo de los Montes (TO) 23/08/2017.

INCENDIO SAN PABLO DE LOS MONTES			
Nº Fidas:	2017450539	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 385660 Y: 4376290
Provincia:	Toledo	Día/mes/año	23/08/2017
Término Municipal	S. Pablo de los Montes	Hora de inicio	16:52 h
Comarca	Montes de Navahermosa	Superficie (ha)	Forestal: 51,21 ha Total: 51,21 ha
Paraje	El Rebollar	Nivel de Gravedad	NIVEL 0
Tipología de incendio	Conducido por viento con relieve		
Datos Meteorológicos	Tª máx.: 34° C HR: 15 % Viento general: 15 km/h componente SW (rachas 30 km/h)		
Combustible	El incendio ha afectado a un mosaico de combustibles bastante heterogéneo; zonas de arbolado con distribución en bosquetes de pino ( <i>Pinus pinaster</i> ) y Rebollos ( <i>Quercus pyrenaica</i> ), zonas desarboladas cubiertas principalmente por <i>Cytisus</i> ( <i>Cytisus Scoparius</i> ), labiadas ( <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>lavanda stoechas</i> y <i>tymus sp</i> ), y zonas de pastizal.		
Comportamiento	Velelidad de propagación máxima de 8m/mim en el eje principal en la primera parte del incendio y de 12,5 m/min en un segundo periodo de propagación. Longitud de llama máxima de más de 10 m en cabeza y de 3 m en el segundo periodo. Emisión de focos secundarios puntuales a 150 m a corta distancia.		
Evolución Incendio	El incendio comenzó en una zona a mitad de ladera, el desarrollo fue en plena alineación con viento de componente W, en los primeros 30 minutos, en el tramo final la cabeza pasó de fuego de superficie en alta intensidad a fuego de copas. A partir de la primera carrera en plena alineación, la cabeza succionó por convección, con un cambio de combustible a una zona más abierta, propagación con fuego de superficie alternando antorcheos de bosquetes o pies aislados. Al final de este tramo la cabeza, perdió la mitad de su anchura al chocar con una zona de menor carga (pastizal), líneas de control (pista) y zona sin combustible (cultivo roturado y edificación); y precedida de zona de rebollar con pendiente fuerte en contra, aun así, la inercia de la cabeza consiguió saltar una línea de control, dejando una lengua en el NE. En el último tramo la propagación siguió una dirección W-E. La cabeza en el tramo final fue contenida por la acción de medios aéreos, y zonas con discontinuidad de combustibles (pedrizas o canchales).		



Tabla 12: Incendio Hellín (AB) 13/10/2017

INCENDIO HELLÍN			
Nº Fidas:	2017020368	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 627540 Y: 4259863
Provincia:	Albacete	Día/mes/año	13/10/2017
Término Municipal	Hellín	Hora de inicio	14:08 h
Comarca	Hellín	Superficie (ha)	Forestal: 24,76 ha Total: 24,76 ha
Paraje	Los Gavilanes	Nivel de Gravedad	NIVEL 0
Tipología de incendio	Conducido por viento		
Datos Meteorológicos	Tº máx.: 28º C HR: 29 % Viento general: 10-15 km/h componente S (SE) (rachas 20-25 km/h)		

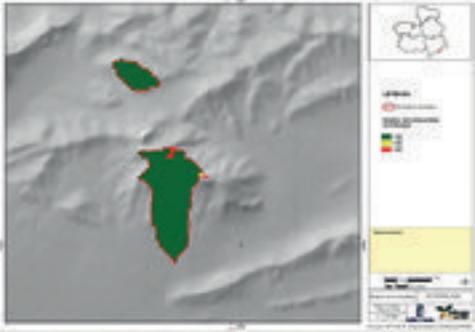
INCENDIO HELLÍN	
Combustible	El modelo mayoritario según Scott-Burgan ha sido el 122 (GS2), correspondiente a pasto y matorral de carga moderada. Poco significativos en cuanto a superficie se refiere, el 145 (SH5) y 165 (TU5). El pasto ha sido el principal propagador del fuego. La especie principal es el esparto y en menor medida el pino carrasco repartido de forma dispersa en las umbrias y barrancos.
Comportamiento	Velocidad de propagación media de 25m/min en el eje principal. Longitud de llama máxima de 3 m en cabeza y de 0,5 m en flancos. Emisión de focos secundarios desde el eje de cresta del foco principal a 600 m, originándose una segunda ignición hacia el NW, quemando una superficie aproximada de 4 ha .
Evolución Incendio	El incendio comienza en unas casas de labor cercanas a terrenos de cultivo, ascendiendo en ladera con plena alineación, y accediendo a las microcuencas contiguas según va progresando y saltando los puntos críticos adyacentes. El incendio propaga fuera de capacidad de extinción y contención, hasta coronar el eje de cresta perpendicular al eje de máxima propagación, lanzando focos secundarios propiciando una segunda ignición situada al NW del foco principal, a una distancia estimada de 600m. Una vez alcanza la cumbre, comienza a descender perdiendo alineación en ladera opuesta, estabilizándose la cabeza finalmente en la siguiente cuerda.
	
<p>Perímetro final y croquis de propagación. Fuente UNAP.</p>	<p>Evolución del incendio a las 15:03 h, carrera en plena alineación.</p>
	
<p>Distribución de los combustibles en la superficie afectada. La mayor superficie le corresponde al modelo 122 (Scott-Burgan)</p>	<p>Detalle de la propagación del foco secundario a las 16:31 h</p>

Tabla 13.: Incendio Belmontejo (CU) 28/06/2016.

INCENDIO BELMONTEJO			
Nº Fidias:	2016160150	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 560431 Y: 4408031
Provincia:	Cuenca	Día/mes/año	28/06/2016
Término Municipal	Belmontejo	Hora de inicio	11:39
Comarca	Mancha Alta	Superficie (ha)	Forestal: 93 ha No Forestal: 57 ha Total: 150 ha
Paraje	Arroyo Cantarero	Nivel de Gravedad	NIVEL 0
Tipología de incendio	Conducido por viento.		
Datos Meteorológicos	Tº 32° C HR: 24 % Viento: 5 km/h SE, (racha máx. 27 km/h)		
Combustible	Especies principales que participaron en el incendio son encina ( <i>Quercus rotundifolia</i> ), pino carrasco ( <i>P. halepensis</i> ), coscoja ( <i>Q. coccifera</i> ) y romero ( <i>R. officinalis</i> ). Modelos de combustible 6 y 5.		
Comportamiento	Velocidad de propagación: 20 m/min (1,2 km/h) según eje de máxima propagación. Long. de llama máximas estimadas: Hasta 3-5 m en plena alineación, 1,5 m en flancos puntualmente. No se tiene constancia de la emisión de focos secundarios.		
Evolución Incendio	Incendio con patrón de propagación principal de viento. Mayor intensidad según lo observado en las zonas de exposición SE, al iniciarse el incendio antes del mediodía. El perímetro alargado, y el eje de propagación siguiendo la zona de cresta hasta el final de esta, confirma el patrón de propagación.		
Perímetro aproximado y eje principal de propagación. Fuente UNAP.		Incendio a la llegada de la Bifor de Campillos, 12:17 h aproximada.	

**INCENDIO BELMONTEJO**



Quema de cereal sin cosechar en alineación plena (3/3). Foto ACO.



Foto del perímetro final. Foto ACO.

Tabla 14.: Incendio Liétor (AB) 30/06/2016.

INCENDIO LIÉTOR			
Nº Fidas:	2016020169	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 600306 Y: 4265183
Provincia:	Albacete	Día/mes/año	30/06/2016
Término Municipal	Liétor	Hora de inicio	15:02
Comarca	Hellín	Superficie (ha)	Forestal: 871 ha No forestal: 0 ha Total: 871 ha
Paraje	Quebradas-Solana Talave	Nivel de Gravedad	NIVEL 1.: 16:00 h
Tipología de incendio	Tormeta.		
Datos Meteorológicos	Tª 25,1 °C HR: 59 % V. general: 13 km/h, con rachas de 37 km/h. Dirección SE.		

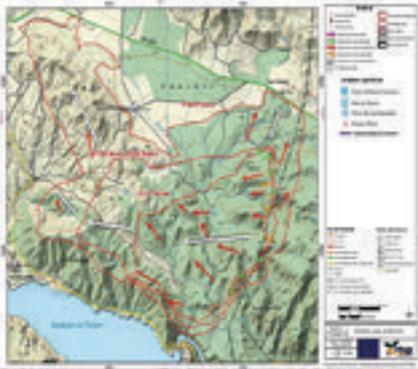
INCENDIO LIÉTOR	
Combustible	Especies principales que participaron en el incendio son el esparto ( <i>Stipa tenacissima</i> ), pino carrasco ( <i>Pinus halepensis</i> ) y presencia de coscoja ( <i>Quercus coccifera</i> ) y romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ). Modelo de combustible 5.
Comportamiento	Incendio fuera de capacidad de extinción en alineación plena, con longitud de llama 5-7 m, en alineación (2/3) inferior a 2 m. Fuego de copas pasivo (antorcheos) en plena y media alineación. Focos secundarios a distancia corta (<25m). Velocidad de propagación inicial de 10 m/min (0,6 km/h) y de 27 m/min (1,62 km/h) en la fase de cambio de viento.
Evolución Incendio	Pendiente informe.
 <p style="margin-top: 5px;">Mapa de isócronas y propagaciones. Fuente UNAP.</p>	 <p style="margin-top: 5px;">Cabeza flanco derecho a la llegada de la helitransportada de Molinicos, 15:38 h aproximada.</p>
 <p style="margin-top: 5px;">Flanco derecho - cola a las 15:56 h aproximada. Foto ACO.</p>	 <p style="margin-top: 5px;">Foto del perímetro (Día 01/07/16). Foto ACO.</p>

Tabla 15.: Incendio Uceda (GU) 20/07/2016.

INCENDIO UCEDA			
Nº Fidas:	2016190193	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 461873 Y: 4513722
Provincia:	Guadalajara	Día/mes/año	20/07/2016
Término Municipal	Uceda	Hora de inicio	15:16
Comarca	Campiña	Superficie (ha)	Forestal: 217,34 ha No forestal: 159,68 ha Total: 377,02 ha
Paraje	Finca Vayunquera	Nivel de Gravedad	NIVEL 0
Tipología de incendio	Conducido por viento.		
Datos Meteorológicos	Tª 35 °C HR: 20-30 % V. general: 15-20 km/h, con rachas de 30-40 km/h. Dirección SW.		
Combustible	Especies principales que participaron en el incendio son la encina ( <i>Quercus rotundifolia</i> ) y el enebro ( <i>Juniperus</i> sp). Modelos de combustibles 1 y 5.		
Comportamiento	Velocidad de propagación media: 40 m/min (2,4 km/h) según eje de máxima propagación. Long. de llama máximas estimadas: - Hasta 5 m en plena alineación. Focos secundarios 20-25 m.		
Evolución Incendio	El incendio responde a la tipología de conducido por viento de SW. Su eje de propagación sigue el del viento, con mayores intensidades y velocidades cuando al viento se añaden como factores a favor, la pendiente y exposición, y disminuyendo, en algunas zonas de topografía más acentuada, cuando se pierden pendiente y exposición, en las zonas de umbría.		

INCENDIO UCEDA	
 <p>Perímetro aproximado y eje principal de propagación. Fuente UNAP.</p>	 <p>Flanco Derecho entrando en los barrancos. Foto ACO.</p>
 <p>Reproducción Cabeza-Flanco Izquierdo (día 21-07-2016).</p>	 <p>Foto del perímetro. Foto ACO.</p>

Tabla 16.: Incendio Villar de La Encina (CU) 30/07/2016.

INCENDIO VILLAR DE LA ENCINA			
Nº Fidas:	2016160254	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 543619 Y: 4388431
Provincia:	Cuenca	Día/mes/año	30/07/2016
Término Municipal	Villar de La Encina	Hora de inicio	15:23
Comarca	Mancha Baja	Superficie (ha)	Forestal: 345 ha No forestal: 136 ha Total: 481 ha
Paraje	Consortio Castillo de Garcimuñoz	Nivel de Gravedad	NIVEL 0
Tipología de incendio	Conducido por viento.		
Datos Meteorológicos	Tª 35,8 °C HR: 9,1 % V. general: 18 km/h. Dirección SW. Datos estación El Pedernoso (15:30 h).		

INCENDIO VILLAR DE LA ENCINA	
Combustible	Especies principales que participaron en el incendio son la encina ( <i>Quercus rotundifolia</i> ), el pino carrasco ( <i>Pinus halepensis</i> ) y enebro ( <i>Juniperus oxicedrus</i> ). Modelo de combustible 8, 5 y 1.
Comportamiento	<p>Intensidad: Pendientes de establecer una clasificación.</p> <p>Longitud de llama: en zonas más energéticas 20-25 m.</p> <p>Velocidad de propagación de la carrera principal: 30 m/min de propagación media estimada al inicio en zonas de rastrojo, 20 m/min en la parte de monte.</p> <p>En zonas de mayor energía por alineación y acumulación de combustible el fuego, tuvo comportamiento activo de copas y lanzamiento masivo de focos secundarios.</p>
Evolución Incendio	Incendio con patrón de propagación principal de viento. Mayor intensidad según lo observado en las zonas de exposición Oeste y zonas de barranco, al iniciarse el incendio después del mediodía y con fuerte viento de esta componente. La disposición de la columna, el ángulo de apertura del perímetro, y quizás el ligero desplazamiento del eje de propagación hacia el Noreste siguiendo la divisoria, confirman el patrón de propagación.
 <p>Perímetro aproximado y eje principal de propagación. Fuente UNAP.</p>	
 <p>Incendio a la llegada de la helitransportada de Albendea, 16:21 h aproximada.</p>	
 <p>Columna tumbada. Foto ACO 16:40 h aproximada.</p>	
 <p>Evolución de los flancos al perder el incendio la cabeza. Foto ACO 17:34 h aproximada.</p>	

Tabla 17.: Incendio Talavera de La Reina (TO) 02/08/2016.

INCENDIO TALAVERA DE LA REINA			
Nº Fidas:	2016450403	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 342030 Y: 4419070
Provincia:	Toledo	Día/mes/año	02/08/2016
Término Municipal	Talavera de La Reina	Hora de inicio	16:29
Comarca	Talavera	Superficie (ha)	Forestal: 46,27 ha No forestal: 3,68 ha Total: 49,95 ha
Paraje	Prados del Rey	Nivel de Gravedad	NIVEL 0
Tipología de incendio	Topográfico (con viento lateral).		
Datos Meteorológicos	Tª 38 °C HR: 10 % V. general: 5-10 km/h, con rachas de 15 km/h. Dirección WNW.		
Combustible	Especies principales que participaron en el incendio son la encina ( <i>Quercus rotundifolia</i> ), coscoja ( <i>Quercus coccifera</i> ) y el enebro ( <i>Juniperus</i> sp). Modelo de combustible 4 .		
Comportamiento	Velocidad de propagación: Media 13,3 m/min; en carrera inicial 16,5 m/min (1 km/h). Long. de llama máximas: -Cabeza > 10 m		
Evolución Incendio	Propagación inicial perpendicular a eje de barranco, conducido por viento local de valle principal. Posteriormente, influenciado por el viento topográfico, la carga y la continuidad de combustible, se produce la apertura del flanco derecho, que se convierte en cabeza con propagación en dirección paralela a eje principal de barranco.		

**INCENDIO TALAVERA DE LA REINA**



Perímetro y carreras en máxima y media alineación. Fuente UNAP.



Carrera inicial a la llegada de la Bifor de Talavera, 16:48 h aproximada.



Cabeza-Flanco Derecho, 17:53 h aproximada. Foto ACO.



Consumos en carreras en máxima y media alineación.

Tabla 18.: Incendio Piedrabuena (CR) 28/08/2016.

INCENDIO PIEDRABUENA (CR)			
Nº Fidias:	2016130258	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 401877 Y: 4321287 (2 focos de inicio)
Provincia:	Ciudad Real	Día/mes/año	28/08/2016
Término Municipal	Piedrabuena	Hora de inicio	13:29
Comarca	Montes Norte	Superficie (ha)	Forestal: 109 ha No forestal: 0,8 ha Total: 109,08 ha .
Paraje	La Dehesilla	Nivel de Gravedad	NIVEL 0
Tipología de incendio	Conducido por viento (con influencia topográfica).		

INCENDIO PIEDRABUENA (CR)	
Datos Meteorológicos	Tª 25,1 °C HR: 59 % V. general: 9,7 km/h, con rachas de 16 km/h. Dirección SW. Estación Ciudad Real (13:30 h).
Combustible	Monte mediterráneo formado por encinas ( <i>Quercus rotundifolia</i> ), madroños ( <i>Arbutus unedo</i> ), jara ( <i>Cistus ladanifer</i> ) y brezo ( <i>Erica sp.</i> ). Modelo de combustible 4.
Comportamiento	Velocidad máx. de propagación: 40 m/min. en carrera inicial por eje principal, en flancos máx. entre 10-15 m/min. Long. de llama estimadas: 10-15 m Sin lanzamiento de focos secundarios o a muy poca distancia
Evolución Incendio	Incendio de viento sobre relieve abrupto. En su fase inicial el incendio evoluciona con viento y pendiente a favor. Las pérdidas de alineación del factor topográfico son oportunidades que son aprovechadas para el control del incendio.
 <p>Perímetro y carreras en máxima y media alineación. Fuente UNAP.</p>	
 <p>Carrera inicial a la llegada de la Bifor de Alcoba, 14:00 h aproximada.</p>	
 <p>Apertura de los flancos, 15:15 h aproximada. Foto ACO.</p>	
 <p>Foto del perímetro, 18:24 h aproximada. Foto ACO.</p>	

Tabla 19.: Incendio Nerpio (AB) 07/09/2016.

INCENDIO NERPIO			
Nº Fidas:	2016020276	Coordenadas: UTM (ETRS89) H30	X: 552434 Y: 4216297
Provincia:	Albacete	Día/mes/año	07/09/2016
Término Municipal	Nerpio	Hora de inicio	13:30
Comarca	Sierra Segura	Superficie (ha)	Forestal: 15,6 ha No forestal: 0 ha Total: 15,6 ha
Paraje	Cruz de los caminos (Cañadas)	Nivel de Gravedad	NIVEL 0
Tipología de incendio	Topográfico		
Datos Meteorológicos	Tª 31,1 °C HR: 16 % V. general: 6-10 km/h, con rachas de 20-30 km/h. Dirección WSW (Datos estación Nerpio).		
Combustible	Afección sobre pinar de pino rodeno ( <i>Pinus pinaster</i> ) con estrato sub-arbustivo de romero ( <i>Rosmarinus officinalis</i> ) y aulaga ( <i>Genista scorpius</i> ). Modelo de combustible 7.		
Comportamiento	Velocidad de propagación: 12 m/min (en eje propagación). Longitud de llama: 10-12 m (máx.). Incendio de copas pasivo. Probable foco secundario a 900 m.		
Evolución Incendio	Propagación: NE durante una primera fase; W durante la segunda fase alineando viento, pendiente y exposición. Propagación determinada por la continuidad de combustible y pérdida de alineación en cabeza.		

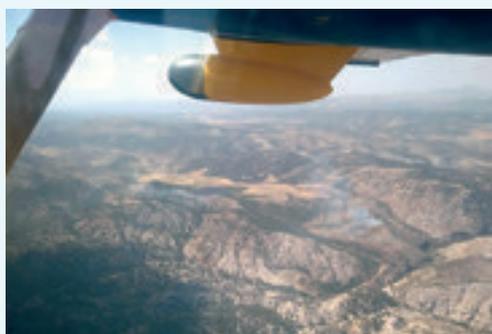
## INCENDIO NERPIO



Perímetro, foco secundario y eje de propagación. Fuente UNAP.



Carrera inicial a la llegada de la Bifor de Molinicos, 14:01 h aproximada.



Foco secundario, 15:10 h aproximada. Foto ACO.



Perímetro final, 20:11 h aproximada. Foto Bifor de Molinicos.



*mundo*  
*desertificación* *Castil* *cam* **Impacto** *calent* *efecto*  
*temperatura* *clima* *nubosidad*  
*deshielo* *futuro* *forestal*  
*informe preliminar*



## Polen atmosférico y cambio climático en Castilla-La Mancha

Rosa Pérez Badia, Jesús Rojo Úbeda

Universidad de Castilla-La Mancha. Instituto de Ciencias Ambientales (Botánica). Avda. Carlos III s/n. 45071 Toledo.

### Introducción

El control y seguimiento de las cantidades de polen en el aire proporciona un registro objetivo de los distintos estadios fenológicos de la floración de las especies polinizadas por el viento. La monitorización continua de los granos de polen es uno de los indicadores más precisos y valiosos sobre las consecuencias que las variaciones en el clima y por tanto, el cambio climático, tienen sobre la intensidad de la floración, la fenología, y distribución de las plantas.

En 2003 en la Universidad de Castilla-La Mancha se establecen las bases para el desarrollo de la línea de investigación de aerobiología, centrada en el estudio de las cantidades de polen y esporas en el aire. Posteriormente en 2007, gracias a un convenio firmado con la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, se articula la Red de Aerobiología de Castilla-La Mancha (AEROCAM), con el objetivo de analizar a diario la concentración de más de 30 tipos de polen y esporas presentes en la atmósfera de Castilla-La Mancha y elaborar informes sobre el estado actual y la previsión de los niveles de polen, teniendo la principal relevancia el polen alergénico. Se dispone de captadores de polen y esporas en las cinco capitales de la región (Albacete, Cuenca, Ciudad Real, Guadalajara y Toledo) y en Talavera de la Reina. Sin embargo, la falta de financiación desde el año 2010, ha llevado a una situación de dificultad para la continuidad de la base de datos aerobiológica de la Red de Aerobiología de Castilla-La Mancha (AEROCAM).

Las series de datos aerobiológicos de la comunidad autónoma son todavía cortas y solamente se pueden apuntar las tendencias de los años de los que se disponen datos. En la actualidad solamente se mantienen en activo los registros de las estaciones polínicas de Toledo, Guadalajara y Cuenca y no está asegurada su continuidad. No se disponen series de datos suficientemente extensas para Albacete, Ciudad Real y Talavera de la Reina.

### Metodología

La metodología de muestreo aerobiológico se encuentra internacionalmente estandarizada, siguiendo un protocolo común que permite la reproducibilidad y comparación de los análisis aerobiológicos (Jäger, 1995; Galán et al., 2014). El captador empleado en el muestreo aerobiológico de polen y esporas es de tipo Hirst, el cual es volumétrico con un flujo de succión constante de 10 l/min. Las muestras son analizadas con un microscopio óptico a 400 aumentos contabilizando el número de partículas biológicas (polen y esporas) presentes en la atmósfera agrupadas por características morfológicas, en lo que se denominan tipos polínicos. Estos tipos polínicos, agrupan granos de polen que poseen las mismas características y que dependiendo del caso puede agrupar diversos rangos taxonómicos. En algunos casos, un mismo tipo polínico agrupa los granos de polen procedentes de especies de una misma familia taxonómica (ejemplo: Poaceae), un género (ejemplo: *Quercus*), o una única especie (*Olea europaea* L. en el caso del tipo *Olea*). Los resultados aerobiológicos son expresados en concentraciones de partículas biológicas como granos de polen/m<sup>3</sup> de aire o número de esporas/m<sup>3</sup> de aire. El sumatorio de las cantidades diarias de polen a lo largo del año, se conoce como Índice Polínico (IP). Se dispone de una serie de 15 años (2003-2016) para la estación polínica de Toledo y de 9 años (2008-2016) en el caso de las

estaciones de Cuenca y Guadalajara. Los valores referidos a concentraciones de polen (Índices Polínicos y diferentes tipos polínicos) que se presentan en esta memoria proceden de los trabajos de Pérez-Badia et al. (2010, 2011, 2013) y de Rojo et al. (2016).

El efecto del cambio climático en las concentraciones de polen registrado en la atmósfera puede ser evaluado mediante un análisis de las tendencias de la serie de datos aerobiológicos. Para este análisis se han seleccionado los tipos de polen más comunes presentes en la atmósfera de Castilla-La Mancha y con mayor interés desde diversos puntos de vista como el ecológico, agronómico o sanitario. Por otra parte, estos tipos polínicos se han agrupado atendiendo al biotipo de las especies de las que proceden (arbóreas o herbáceas). Los datos aerobiológicos se corresponden con series temporales y por lo tanto, se ha aplicado un método de descomposición típico de este tipo de datos, basado en el algoritmo LOESS (Cleveland et al., 1990). Esta metodología permite el aislamiento de diferentes componentes de la serie temporal como son la estacionalidad, la tendencia o el residuo. De esta manera, la tendencia puede ser estudiada por separado mediante un análisis de regresión lineal que permite interpretar el comportamiento general de las concentraciones polínicas a lo largo del periodo de muestreo. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) derivado de este análisis de regresión indica la dispersión de los datos respecto a la evolución general de la serie (tendencia) y el test F-Snedecor (estadístico  $F$ ) indica si la tendencia es significativa o no desde el punto de vista estadístico ( $p < 0.05$  como umbral de significación).

Para el análisis de tendencias se han considerado el Polen Total y los tipos polínicos procedentes de especies arbóreas: *Quercus*, *Pinus* y *Olea*; así como los procedentes de especies herbáceas: Poaceae, *Plantago* y Urticaceae.

## Resultados:

### Polen total

de las tres estaciones analizadas, Toledo es la que mayor Índice Polínico presenta (IP: 44602 granos de polen) y por tanto mayor cantidad de polen registra a lo largo del año, seguida de Guadalajara (IP: 34823 granos de polen) y Cuenca (IP: 38537 granos de polen). Los meses con más presencia de polen en la atmósfera son mayo y junio en Cuenca, y marzo, mayo y junio en Toledo y en Guadalajara.

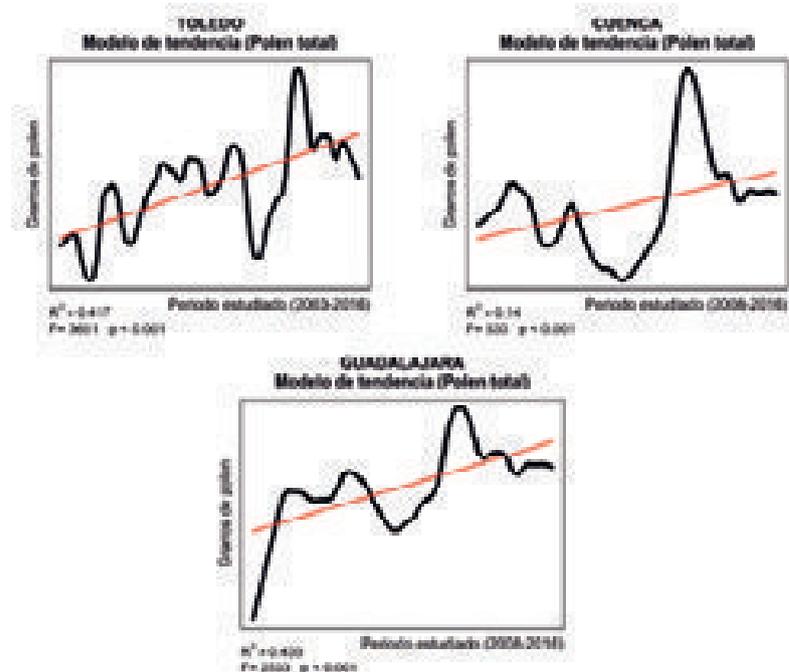
Los resultados del análisis de tendencias (Figura 1) revela que en las tres estaciones estudiadas existe **una tendencia positiva respecto al aumento en las cantidades totales anuales de polen**, o Índice Polínico, y por tanto del total de polen. Desde el punto de vista estadístico esta tendencia es significativa ( $p < 0.001$ ).

### Tipos polínicos procedentes de especies arbóreas:

#### Quercus

El tipo polínico *Quercus* es uno de los predominantes en la atmósfera de Castilla-La Mancha. Este polen procede mayoritariamente de la especie *Quercus rotundifolia* Lam. En Toledo se registran las mayores concentraciones al año representando aproximadamente el 21% del polen total, en tanto que en Guadalajara representa el 15% y aproximadamente el 20% del polen total en Cuenca. El polen comienza a detectarse en abril y está presente en el aire durante los meses de abril, mayo y junio, presentando en general, una estación polínica que dura en torno a dos meses.

Los registros presentan variaciones dependiendo de los años, se suceden de manera más o menos alternativa años de mayores con otros años de menores concentraciones (Fig. 2). Este comportamiento se observa muy bien en Toledo y ha sido puesto ya de manifiesto por otros autores (Rodríguez-Rajo et al., 2000) y también señalado para otras especies arbóreas como el olivo (Fabbri et al., 2004) o el abedul (Spieksma et al., 1995). Se explicaría por la alternancia en la movilización de las reservas de nutrientes hacia el crecimiento vegetativo o hacia las estructuras reproductoras (Rodríguez-Rajo et al., 2000).



**Figura 1.:** Evolución de las concentraciones diarias de polen total en las estaciones de Toledo, Cuenca y Guadalajara a lo largo del periodo estudiado y línea de tendencia (en rojo). La tendencia es significativa cuando  $p < 0.05$ .

Los resultados del análisis de tendencias (Figura 2) revelan que en las tres estaciones estudiadas, Toledo, Cuenca y Guadalajara existe **una tendencia positiva y significativa ( $p < 0.001$ ) respecto al aumento en las concentraciones atmosféricas de polen de *Quercus***.

### Pinus

Las concentraciones atmosféricas de polen de *Pinus* representan en Cuenca el 10% del polen total. Este polen tiene su procedencia en los pinares que existen cerca de la ciudad y en la Serranía de Cuenca. Estas cantidades son muy superiores a las que se registran en Guadalajara donde suponen el 5% del polen y cuya procedencia también se corresponde con las zonas de vegetación natural. En Toledo, las concentraciones de polen de *Pinus* son bastante más bajas (3% del total) y el polen procede mayoritariamente de plantaciones. Al igual que el polen de *Quercus*, este polen aparece en abril y está presente además, durante los meses de mayo y junio.

Los resultados del análisis de tendencias (Figura 3) revelan que en las tres estaciones estudiadas existe **una tendencia positiva respecto al aumento en las concentraciones atmosféricas de polen de *Pinus*** y, desde el punto de vista estadístico, la tendencia es significativa ( $p < 0.001$ ). La pendiente de la recta que explica la tendencia es mucho más pronunciada en la estación de Guadalajara y por tanto el aumento es mayor.

### Olea

El polen de *Olea* es uno de los más importantes en la atmósfera de Castilla-La Mancha, se caracteriza por presentar un periodo de polinización relativamente corto que suele durar un mes o mes y

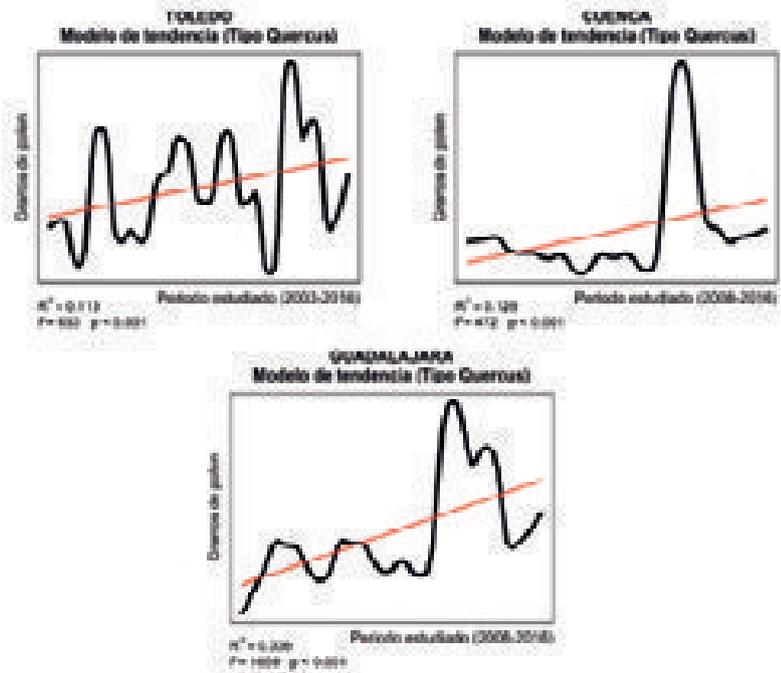


Figura 2.: Evolución de las concentraciones diarias del tipo polínico *Quercus* en las estaciones de Toledo, Cuenca y Guadalajara a lo largo del periodo estudiado y línea de tendencia (en rojo). La tendencia es significativa cuando  $p < 0.05$ .

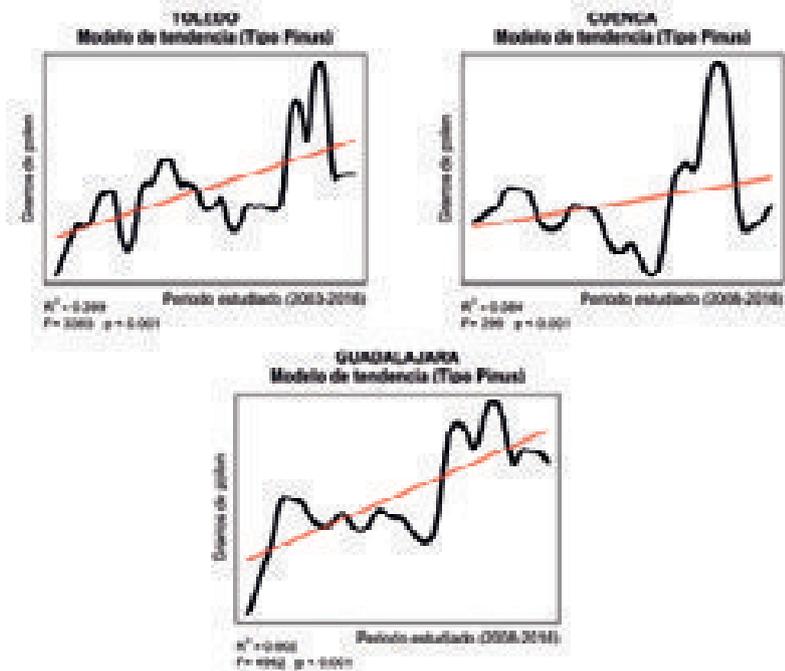


Figura 3.: Evolución de las concentraciones diarias del tipo polínico *Pinus* en las estaciones de Toledo, Cuenca y Guadalajara a lo largo del periodo estudiado y línea de tendencia (en rojo). La tendencia es significativa cuando  $p < 0.05$ .

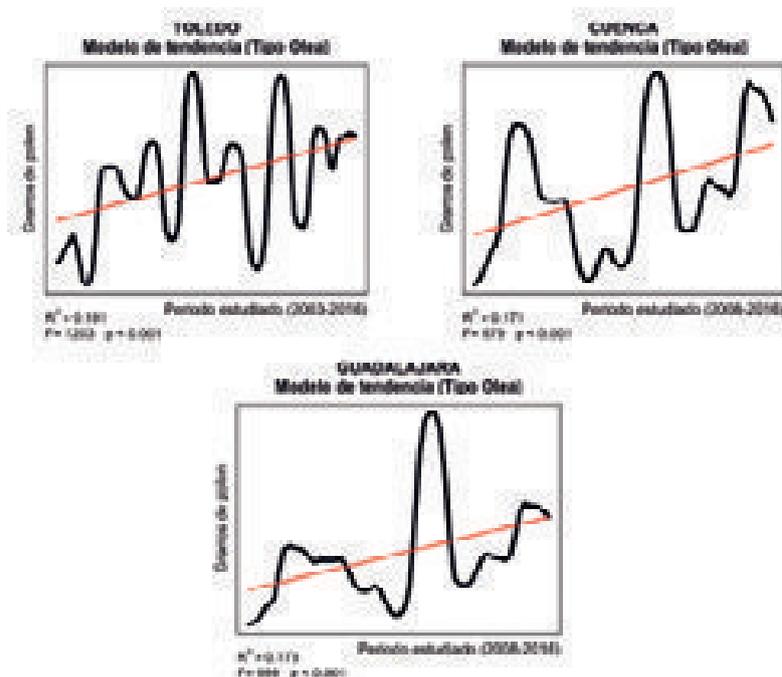
medio. Mayoritariamente este polen procede de los cultivos, es decir de la especie *Olea europaea* L. var. *europaea* y muy minoritariamente del olivo silvestre, *Olea europaea* L. var. *sylvestris* Brot. En la atmósfera de Toledo representa aproximadamente un 11% del polen total, y el 7% y 8% en Cuenca y Guadalajara respectivamente.

En olivo, existe una gran variabilidad interanual de producción polínica debido al carácter vecero de la especie que alterna años de elevada producción con años con baja producción polínica (Galán et al. 2004,)), hecho que se ve reflejado en la cosecha de aceituna (García-Mozo et al. 2008, Lavee 2007, Ribeiro et al. 2007). Esta vecería se observa muy bien en el caso de la estación de Toledo (Figura 4).

La Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha posee el segundo lugar en extensión de cultivo de olivares y en producción de aceite de oliva, respecto al total nacional, tan sólo superada por Andalucía, de ahí su gran importancia desde el punto de vista agrícola.

Además de la gran importancia económica del olivo, la alta concentración atmosférica de polen de olivo durante la floración tiene un gran interés desde el punto de vista sanitario, ya que este polen es una de las principales causas de alergia, junto con las gramíneas, en Castilla-La Mancha y en general en todos los países del sur de Europa.

Los resultados del análisis de tendencias (Figura 4) también revelan que en las tres estaciones estudiadas, existe una tendencia positiva y significativa ( $p < 0.001$ ) respecto al aumento en las concentraciones atmosféricas de polen de *Olea*.



**Figura 4.:** Evolución de las concentraciones diarias del tipo polínico *Olea* en las estaciones de Toledo, Cuenca y Guadalajara a lo largo del periodo estudiado y línea de tendencia (en rojo). La tendencia es significativa cuando  $p < 0.05$ .

## Tipos polínicos procedentes de especies herbáceas:

### Poaceae

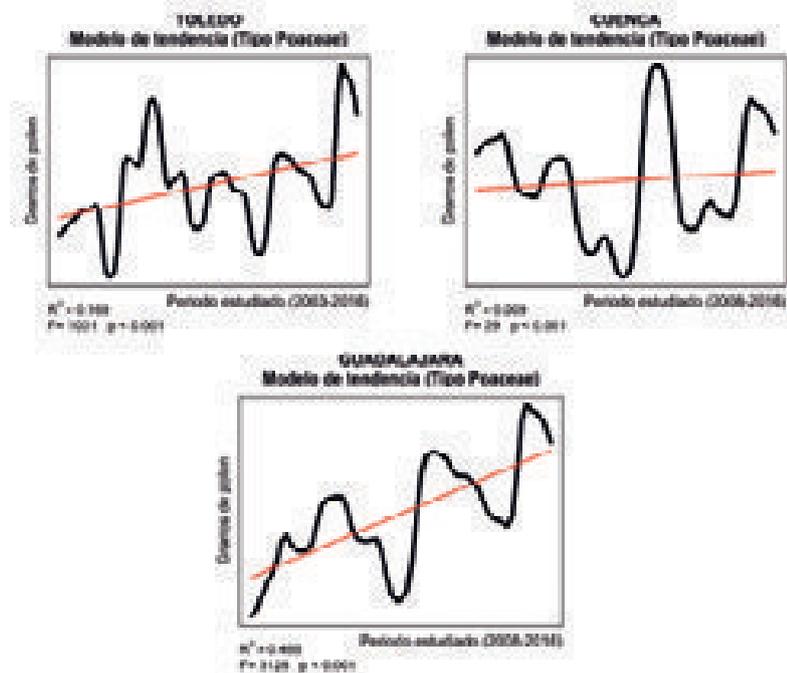
El polen del tipo Poaceae es la principal causa de polinosis en Europa, y en general, en todo el mundo (D'Amato et al. 2007), debido a la alta capacidad alergénica del polen de gramíneas cuya sensibilización es en torno al 80% de la población alérgica del centro de España (Subiza et al. 2007). En Castilla-La Mancha, el polen de gramíneas es el más abundante de los tipos polínicos de procedencia herbácea, representando aproximadamente el 11%, 7% y 6% del polen total en Toledo, Guadalajara y Cuenca respectivamente.

El espectro de especies del cual procede el polen de Poaceae es muy amplio y está relacionado con multitud de hábitats, desde comunidades vegetales de tipo natural, hasta ambientes ruderalizados eminentemente antrópicos. A consecuencia del amplio rango de fuentes de emisión de polen de Poaceae, la estación polínica es muy larga, dura varios meses y los días de riesgo de alergias (con más de 25 granos de polen/m<sup>3</sup>), se producen entre los meses de mayo y junio.

Los resultados del análisis de tendencias (Figura 5) revelan que claramente en Guadalajara existe **una tendencia positiva respecto al aumento en las concentraciones atmosféricas de polen de Poaceae**, y desde el punto de vista estadístico, la tendencia es significativa ( $p < 0.001$ ). Esta tendencia es mucho menor en Toledo y prácticamente no existe en Cuenca.

### Plantago

El polen de *Plantago* aparece en la atmósfera durante el mes de abril y su polinización se mantiene hasta los meses de mayo y junio. Se trata de un polen alergénico cuya floración coincide con la de las



**Figura 5.:** Evolución de las concentraciones diarias del tipo polínico *Poaceae* en las estaciones de Toledo, Cuenca y Guadalajara a lo largo del periodo estudiado y línea de tendencia (en rojo). La tendencia es significativa cuando  $p < 0.05$ .

gramíneas, de ahí que sea muy difícil determinar pacientes monosensibles a *Plantago*. Las cantidades que se registran en la atmósfera son bajas, representando aproximadamente el 1% del polen total en las tres estaciones estudiadas.

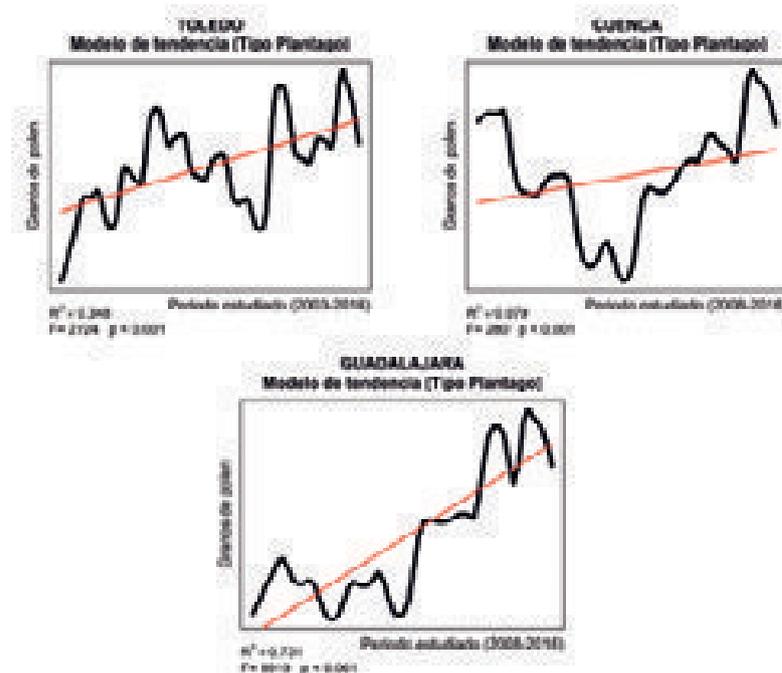
Los resultados del análisis de tendencias (Figura 6) revelan que claramente en Guadalajara y Toledo existe una **tendencia positiva respecto al aumento en las concentraciones atmosféricas de polen de *Plantago*** y, desde el punto de vista estadístico, la tendencia es significativa ( $p < 0.001$ ). Esta tendencia no existe prácticamente en Cuenca.

## Urticaceae

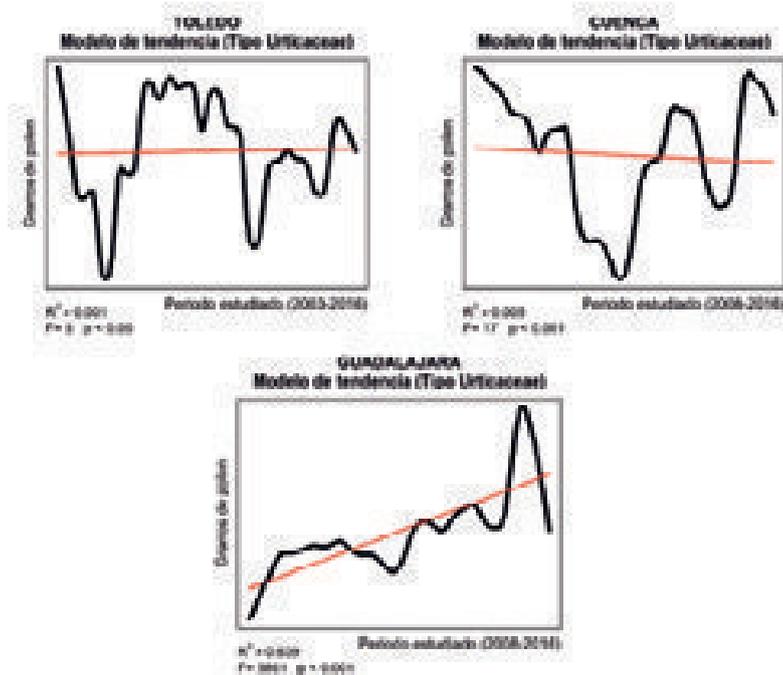
### Urticaceae

el polen de Urticaceae está presente en la atmósfera buena parte del año, presentando una estación polínica muy larga, de varios meses de duración, aunque los máximos se alcanzan generalmente durante los meses de abril y mayo. En este tipo polínico se incluyen todas las especies de los géneros *Urtica* y *Parietaria*, pues el polen presenta idénticas características morfológicas. Las concentraciones de este tipo polínico son más abundantes en la atmósfera de Cuenca, donde ha llegado a representar el 17% del polen total, en tanto que en Toledo solo es el 5% y en Guadalajara, el 1,5%.

Los resultados del análisis de tendencias (Figura 7) revelan que claramente en Guadalajara existe una **tendencia positiva respecto al aumento en las concentraciones atmosféricas de polen de Urticaceae** y, desde el punto de vista estadístico, la tendencia es significativa ( $p < 0.001$ ). Esta tendencia no existe en Toledo y apunta al descenso en Cuenca.



**Figura 6.:** Evolución de las concentraciones diarias del tipo polínico *Plantago* en las estaciones de Toledo, Cuenca y Guadalajara a lo largo del periodo estudiado y línea de tendencia (en rojo). La tendencia es significativa cuando  $p < 0.05$ .



**Figura 7.:** Evolución de las concentraciones diarias del tipo polínico Urticaceae en las estaciones de Toledo, Cuenca y Guadalajara a lo largo del periodo estudiado y línea de tendencia (en rojo). La tendencia es significativa cuando  $p < 0.05$ .

### Discusión

Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con diversos trabajos realizados en los últimos años que revelan una tendencia hacia el aumento de las concentraciones de polen en el aire (Ziello et al., 2012; Fernández-Llamazares et al., 2014), especialmente para las especies arbóreas. Estos incrementos se relacionan con la intensidad de la floración, atribuyendo estas tendencias a un incremento de las cantidades antropogénicas de  $CO_2$  (Rogers et al., 2006). En esta misma línea, en la península Ibérica, el trabajo de Galán et al. (2016) concluye que las cantidades de polen anuales han aumentado en los últimos años, aunque el aumento es más evidente para los árboles que para las especies herbáceas, probablemente reflejando una mayor dependencia de estas a la disponibilidad de agua.

En muchos tipos polínicos se observan tendencias en los modelos de regresión que aunque tienen un bajo coeficiente de determinación ( $R^2$ ), puede destacarse una tendencia significativa hacia un incremento de la emisión polínica. Los bajos coeficientes de determinación en muchos casos son debidos a la variabilidad interanual de los datos que presentan oscilaciones, aunque en otras ocasiones se observa una tendencia clara al incremento de los máximos valores absolutos, así como un incremento también de los valores mínimos absolutos, los que determinan la existencia de una pendiente positiva en la curva de regresión.

### Conclusiones

En general existe una tendencia positiva respecto al aumento en las cantidades anuales de polen en las tres estaciones analizadas de Castilla-La Mancha, es decir del polen total. Además, se observan tendencias positivas de la mayor parte de los tipos polínicos analizados, principalmente en Toledo y en Guadalajara.

Son de destacar casos de aumento de polen de *Pinus*, Poaceae, *Plantago* y Urticaceae en Guadalajara, con elevados coeficientes de determinación. También es relevante la tendencia de *Pinus* y *Olea* en Toledo.

La información biológica proporcionada por las series de datos aerobiológicos presenta un gran interés para la monitorización del cambio climático. Sin embargo, es necesario disponer de series de datos suficientemente extensas para obtener resultados estadísticamente relevantes. Para ello, resulta fundamental el muestreo continuo de polen y esporas en la atmósfera de Castilla-La Mancha para lo cual es necesario una fuente de financiación constante que asegure la continuidad en el tiempo de una adecuada Red Aerobiológica en Castilla-La Mancha.

## Referencias

- CLEVELAND, R.B., CLEVELAND, W.S. AND TERPENNING, I., 1990. STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess. *Journal of Official Statistics*, 6(1), p.3.
- D'AMATO, G., CECCHI, L., BONINI, S., NUNES, C., ANNESI-MAESANO, I., BEHRENDT, H., LICCARDI, G., POPOV, T. AND VAN CAUWENBERGE, P., 2007. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy*, 62(9), pp.976-990.
- FABBRI, A., BARTOLINI, G., LAMBARDI, M. AND KAILIS, S., 2004. *Olive propagation manual*. Landlinks Press.
- FERNÁNDEZ-LLAMAZARES, Á., BELMONTE, J., DELGADO, R. AND DE LINARES, C., 2014. A statistical approach to bioclimatic trend detection in the airborne pollen records of Catalonia (NE Spain). *International Journal of Biometeorology*, 58(3), pp.371-382.
- GALÁN, C., ALCÁZAR, P., OTEROS, J., GARCÍA-MOZO, H., AIRA, M.J., BELMONTE, J., DE LA GUARDIA, C.D., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, D., GUTIERREZ-BUSTILLO, M., MORENO-GRAU, S. AND PÉREZ-BADÍA, R., 2016. Airborne pollen trends in the Iberian Peninsula. *Science of the Total Environment*, 550, pp.53-59.
- GALÁN, C., SMITH, M., THIBAUDON, M., FRENGUELLI, G., OTEROS, J., GEHRIG, R., BERGER, U., CLOT, B., BRANDAO, R. AND EAS QC WORKING GROUP, 2014. Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis. *Aerobiologia*, 30(4), pp.385-395.
- GALÁN, C., VÁZQUEZ, L., GARCÍA-MOZO, H. AND DOMÍNGUEZ, E., 2004. Forecasting olive (*Olea europaea*) crop yield based on pollen emission. *Field Crops Research*, 86(1), pp.43-51.
- GARCÍA-MOZO, H., PEREZ-BADÍA, R. AND GALÁN, C., 2008. Aerobiological and meteorological factors' influence on olive (*Olea europaea* L.) crop yield in Castilla-La Mancha (Central Spain). *Aerobiologia*, 24(1), pp.13-18.
- JÄGER, S. (1995). Recommendations for methodology for routinely performed monitoring of airborne pollen. In A. Basomba & J. Sastre (Eds.), *Syllabus. XVI ECACI'95* (pp. 329–330). Madrid: Spain.
- LAVEE, S., 2007, January. Biennial bearing in olive (*Olea europaea* L.). In *Annales Ser His Nat* (Vol. 17, pp. 101-112).
- PEREZ-BADIA, R., RAPP, A., VAQUERO, C. AND FERNANDEZ-GONZALEZ, F., 2011. Aerobiological study in east-central Iberian Peninsula: pollen diversity and dynamics for major taxa. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 18(1), pp. 99-111.
- PÉREZ-BADIA, R., RAPP, A., MORALES, C., SARDINERO, S., GALÁN, C. AND GARCÍA-MOZO, H., 2010. Pollen spectrum and risk of pollen allergy in central Spain. *Ann Agric Environ Med*, 17(1), pp. 139-151.
- RIBEIRO, H., CUNHA, M. AND ABREU, I., 2007. Improving early-season estimates of olive production using airborne pollen multi-sampling sites. *Aerobiologia*, 23(1), pp.71-78.

- RODRÍGUEZ-RAJO, F.J., MÉNDEZ, J. AND JATO, M.V., 2000. Influence of temperature on the flowering of *Quercus* in the South of Galicia (Ourense and Vigo, 1994-98). *Acta botánica malacitana*, 25, pp.153-163.
- ROGERS, C.A., WAYNE, P.M., MACKLIN, E.A., MUILENBERG, M.L., WAGNER, C.J., EPSTEIN, P.R. AND BAZZAZ, F.A., 2006. Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production. *Environmental health perspectives*, 114(6), p.865.
- ROJO, J., RAPP, A., LARA, B., SABARIEGO, S., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, F. AND PÉREZ-BADIA, R., 2016. Characterisation of the airborne pollen spectrum in Guadalajara (central Spain) and estimation of the potential allergy risk. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(3), p.130.
- SPIEKSMAN, F.T.M., EMBERLIN, J.C., HJELMROOS, M., JÄGER, S. AND LEUSCHNER, R.M., 1995. Atmospheric birch (*Betula*) pollen in Europe: trends and fluctuations in annual quantities and the starting dates of the seasons. *Grana*, 34(1), pp.51-57.
- SUBIZA, F.J., POLA, J., FEO, F. AND MORAL, A.J., 2007. Pólenes de interés en alergología en nuestro medio. *Tratado de alergología*, pp.425-446.
- ZIELLO, C., SPARKS, T.H., ESTRELLA, N., BELMONTE, J., BERGMANN, K.C., BUCHER, E., BRIGHETTI, M.A., DAMIALIS, A., DETANDT, M., GALÁN, C. AND GEHRIG, R., 2012. Changes to airborne pollen counts across Europe. *PloS one*, 7(4), p.e34076.



## Usos y pérdida de suelo

Nerea Herrera Herrero<sup>1</sup>; Carolina Morán Martínez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Investigadora en Ciencias Ambientales

<sup>2</sup> Geógrafa, investigadora y técnico en meteorología

### Introducción

Es uno de los principales problemas ambientales de nuestro país, en concreto en la zona mediterránea. Está vinculada en gran parte a las actividades agropecuarias, aunque también puede deberse a otro tipo de causas antrópicas. Las principales son: (1) actividades agrarias, ganaderas y forestales como la roturación, el cultivo, la tala de cubierta vegetal o el pastoreo que favorecen la erosión de la cubierta terrestre; (2) la expansión urbana sustituye el suelo por superficies impermeables, además, el impacto asociado a este tipo de entornos reduce la calidad del suelo; (3) actividades extractivas como minería y la extracción de combustibles fósiles producen un grave impacto sobre el suelo y el paisaje y (4) las actividades de ocio en entornos naturales como el senderismo conlleva riesgos de contaminación y erosión.

Esta degradación conlleva a una preocupante desertización dentro de nuestra comunidad y que, en la siguiente tabla, pueden observarse el número de hectáreas afectadas y el porcentaje total que suponen. A destacar el casi 80% de superficie afectada por la desertificación en Albacete, siendo, en comparación al resto de provincias, la indudablemente más afectada. Por su parte, la UNEP (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) desarrolló el Atlas Mundial de Desertificación en 1992, y en él ya se adelantaban estos datos, pues catalogaba al 80% del territorio castellanomanchego con un suelo moderado dentro del nivel de total de degradación, un 15% alto y un 5% muy alto, y cuya provincia más afectada seguía siendo Albacete.

La degradación, afecta de manera prioritaria a las áreas agrícolas, disminuyendo su capacidad productiva y anulando las mejoras en el rendimiento de los cultivos, dificultando, así, el desarrollo económico. De igual manera, la degradación del suelo está asociada con la pérdida de productividad, y, sus efectos, pueden llegar a tener impactos significativos sobre los cursos de agua (ríos, humedales y/o lagos). Impactos que están relacionados con los nutrientes y contaminantes que se encuentran en el suelo y que son arrastrados, pudiendo ser entregados en grandes cantidades a otros ambientes respondiendo, además, de forma negativa a su entrada.

Provincia	Hectáreas afectadas	%
Albacete	1.192.179	79,9
Toledo	671.266	43,7
Cuenca	611.954	35,7
Ciudad Real	644.603	32,5
Guadalajara	351.293	28,8

**Tabla 1:** Porcentaje de suelo con procesos de desertificación. Fuente: Observatorio Medioambiental, núm. 8, 55-71.

Las amenazas naturales son excluidas habitualmente como causas de la degradación del suelo, sin embargo, las actividades humanas pueden afectar indirectamente a determinados fenómenos, tales como inundaciones o incendios forestales.

### Degradación del suelo en Castilla-La Mancha

Para analizar la pérdida de suelo en Castilla-La Mancha, se deben analizar previamente diversos factores que influyen en esta degradación, como son la pendiente, los diferentes usos del suelo, la extensión de frondosas y coníferas o la evolución de los diferentes cultivos.

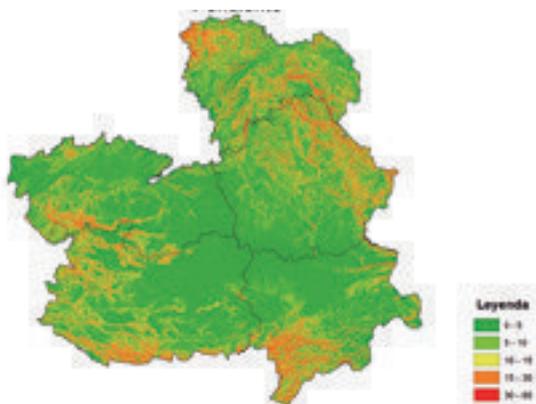
En términos generales, la región ocupa, en su práctica totalidad, la submeseta sur peninsular, con una extensión que alcanza los 79.226 km<sup>2</sup>, lo que supone el 15.7% del territorio nacional.

Esta comunidad es en su mayoría llana, donde tan solo el 1,01% del terreno supera el 30% de pendiente, dejando por debajo del 10% a más de sus tres cuartas partes. Las zonas de mayor pendiente se encuentran en el oeste (como es el caso del Parque Nacional de Cabañeros) y sur de la comunidad (con el Parque Natural de la Sierra de Andújar y el Parque Natural Sierras de Cazorla, Segura y las Villas), la zona noroeste de Guadalajara y la zona este de Guadalajara y Cuenca (con la Serranía de Cuenca).

Para realizar un estudio sobre la evolución de los usos del suelo se ha obtenido información de dos fuentes diferentes: por un lado, del "CORINE LAND COVER" para los años 2006 y 2012, el cual desarrolla la creación de una base de datos sobre la cobertura y uso del territorio en la Unión Europea, mediante la interpretación a través de imágenes recogidas por la serie de satélites LandSaty SPOT; y, por otro, el Mapa Forestal de España a escala 1:50.000 (MFE50), desarrollado por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (Área Inventario y Estadística Forestal) entre 1997 y 2006, y cuya última modificación se realizó en 2013, la cual muestra la cartografía de la situación de las masas forestales de la península ibérica, siguiendo un modelo conceptual de usos del suelo jerarquizados y desarrollados en clases forestales.

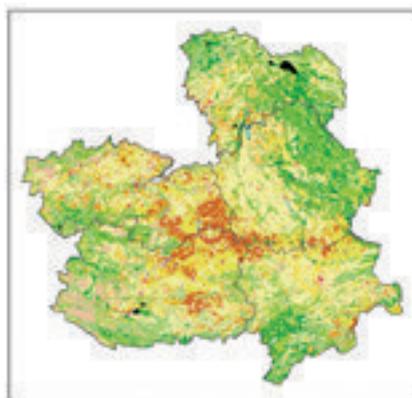
Si se realiza un análisis visual comparando los mapas del CORINE para ambas fechas, se puede observar una pérdida de superficie agrícola (mosaico de cultivos) aumentando la superficie forestal (bosque mixto y pastizales naturales) presente en el territorio.

#### Pendiente

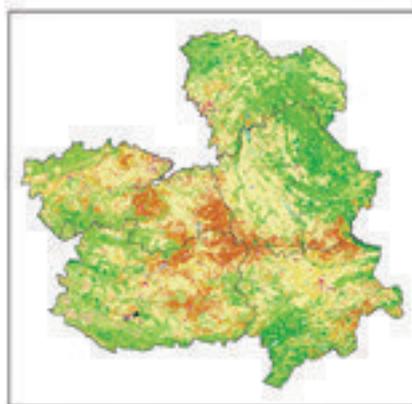


Pendiente	Ha	%
0 - 5	4.657.609,81	58,66
5 - 10	1.451.654,81	18,28
10 - 15	802.522,75	10,11
15 - 30	947.807,45	11,94
30 - 80	80.154,06	1,01

Corine Land Cover 2006



Corine Land Cover 2012



**Leyenda**

Tejido urbano continuo
Tejido urbano discontinuo
Zonas industriales o comerciales
Redes viarias y ferroviarias
Aeropuertos
Zonas de extracción minera
Escuadrones y vertederos
Zonas en construcción
Zonas verdes urbanas
Instalaciones deportivas y recreativas
Tierras de labor de secano
Tierras regadas permanentemente
Arboledas
Viveros
Prados
Oliveras
Prados y praderas
Cultivos anuales
Mixto de cultivos
Tierras principalmente agrícolas
Sistemas agroforestales
Bosque de frutales
Bosque de coníferas
Bosque mixto
Pastizales naturales
Landas y matorrales marítimos
Matorrales esclerófilos
Matorrales boscosos de transición
Prajas, dunas y arenas
Roceros
Espacios con vegetación escasa
Zonas quemadas
Humedales y zonas pantanosas
Salinas
Cursos de agua
Láminas de agua

Esto se corrobora al analizar la superficie ocupada por los diferentes grupos del Nivel 1 del CORINE, ya que la evolución es de 4,6 millones de ha y se corresponde con el 59,12% del territorio como superficie agrícola en 2006, a un 53,33% en 2012 (4,2 millones de ha). Analizando estos valores, también se observa el aumento de superficie artificial, la cual pasa de un 0,96% (76 mil ha) a 1,25% (99 mil ha) de extensión. Hay que destacar la disminución observada de las zonas húmedas (de 0,11% a 0,08%) y superficies de agua (de 0,54% a 0,44%).

Si analizamos los datos de superficie obtenida en el nivel 3 del CORINE, se observa que dentro de la categoría de superficie artificial ha aumentado la superficie correspondiente a zonas industriales y comerciales (de 8 mil a 18 mil ha) y territorio urbano discontinuo, mientras que el tejido urbano continuo ha disminuido su extensión (28 mil ha a 17 mil ha). Esto se debe, principalmente, al desarrollo de las ciudades y zonas de urbanizaciones cerca de las poblaciones, y, sobre todo, a la necesidad de tener un acceso rápido a grandes zonas comerciales.

Si nos referimos a la zona agrícola, se aprecia un aumento de la extensión de arrozales que aumenta su superficie de 381 a 1.310 ha, aunque también se debe de destacar la disminución de la extensión de cultivos anuales en la comunidad, ya que pasa de tener una extensión de 2 mil a 899 ha.

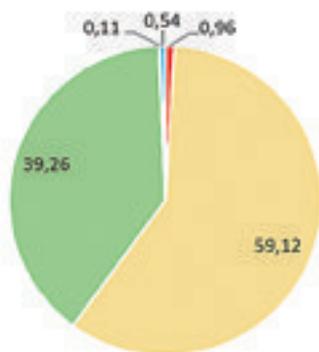
En cuanto a la superficie forestal, se aprecia un gran aumento de superficie de pastizales naturales cuya extensión en 2006 era de 292 mil ha, a tener en 2012, 890 mil ha. Otra categoría que sufre un gran au-

mento y que nos puede dar una idea de lo que supone la pérdida de suelo es el roquedo, ya que pasa de una superficie de 1.511 ha a tener 9 mil ha de extensión.

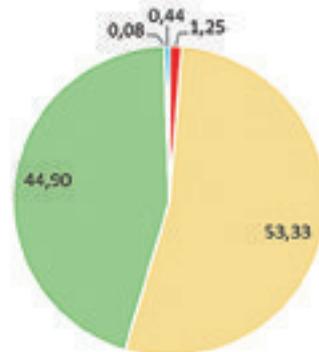
La superficie de agua de la comunidad, por su parte, está representada por cursos de agua y láminas de agua, los cuales han disminuido su superficie desde 2006 a 2012 pasando de tener una extensión total de 42 mil a 34 mil ha.

Si atendemos al Mapa Forestal de España (MFE50), los diferentes suelos se encuentran clasificados en: arbolado, arbolado disperso, arbolado ralo, desarbolado, cultivos, artificial y agua. De estos usos del suelo, el que mayor superficie ocupa son los cultivos con una extensión del 53,06%, seguido de los cultivos (28,95%), el desarbolado (10,51%), el arbolado ralo (5,15%), el artificial (1,14%), el arbolado disperso (0,69%) y, por último, el agua (0,49%).

Corine 2006



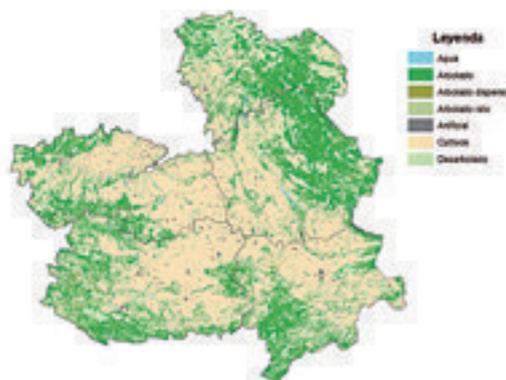
Corine 2012



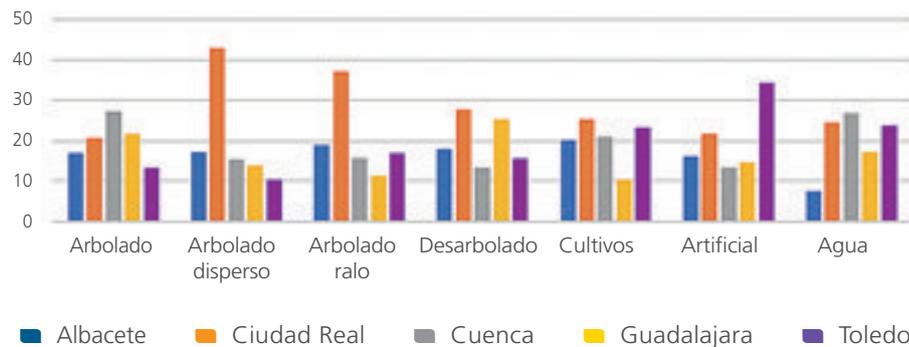
Si analizamos estos usos de suelo por las diferentes categorías, se observa que Guadalajara es la que menor superficie de cultivos presenta (435 mil ha). En cuanto al agua, Albacete es la que tiene menor superficie de este uso (7,63%), mientras que Cuenca es la que tiene una extensión mayor con un 26,72%. Tanto si miramos el arbolado disperso como el arbolado ralo, la provincia que presenta una mayor superficie de estas categorías es Ciudad Real, con una superficie de 23 mil ha para arbolado disperso y de 151 mil ha para arbolado ralo. Sin embargo, Toledo, es la provincia que tiene una mayor superficie de uso artificial con un 34,28%.

A su vez, se ha analizado la extensión de cada uso del suelo en cada provincia, y se observa que,

Usos del suelo



### Uso del suelo



en todas las provincias, la mayor extensión es la de cultivos seguida de la extensión de arbolado salvo en Guadalajara, donde la extensión mayor se corresponde con arbolado (40,97%) seguida de cultivos (35,73%). También se puede observar que en todas las provincias es mayor la extensión de desarbolado frente a arbolado ralo y arbolado disperso.

Por su parte, de la superficie total de la comunidad, el 34,73% se corresponde con superficie forestal (coníferas, frondosas y mixtas), perteneciendo el 14,80% a coníferas (1.175.671,11 ha), el 17,06% a frondosas (1.354.665,2 ha) y el 2,87% a mixtas (227.516,6 ha).

### Uso del suelo por provincias

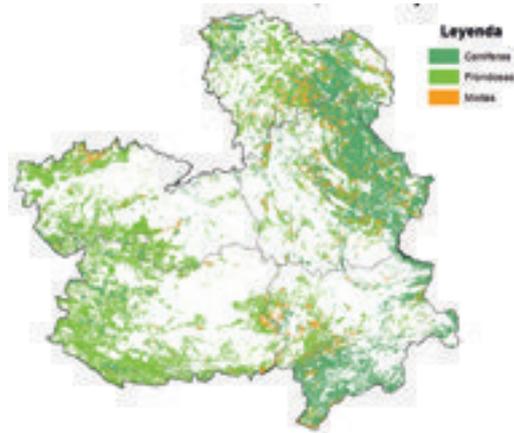


Analizando la superficie de estas especies en todo el territorio de Castilla-La Mancha, se observa que Cuenca presenta la mayor extensión de coníferas (41,62%) y mixtas (33,95%), mientras que Ciudad Real presenta la mayor extensión de frondosas (40,78%) y zonas sin bosque (25,68%). Toledo destaca por ser la provincia con el menor porcentaje de coníferas (3,6%) y mixtas (9,08%), Guadalajara destaca por ser la provincia con los valores más constantes cuando hablamos de estas especies diferentes, mientras que, Albacete, es la provincia con una menor extensión de frondosas (8,10%).

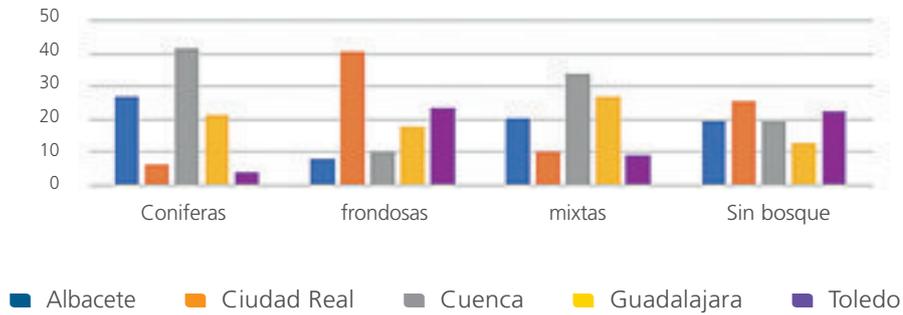
Si analizamos la extensión de estas especies por provincia, se observa que, en todas ellas, la mayor extensión está cubierta con zonas sin bosque, lo cual tiene un significativo sentido, ya que, anteriormente, se indicó que los usos del suelo mayoritarios en Castilla-La Mancha son los cultivos.

Tanto en Albacete como en Cuenca existe más superficie de coníferas que de frondosas, siendo en sentido contrario para Ciudad Real y Toledo. Guadalajara en cambio, presenta unos valores muy similares de coníferas (20,65%) y frondosas (19,70%), además, es la provincia con una mayor extensión de mixtas (5%).

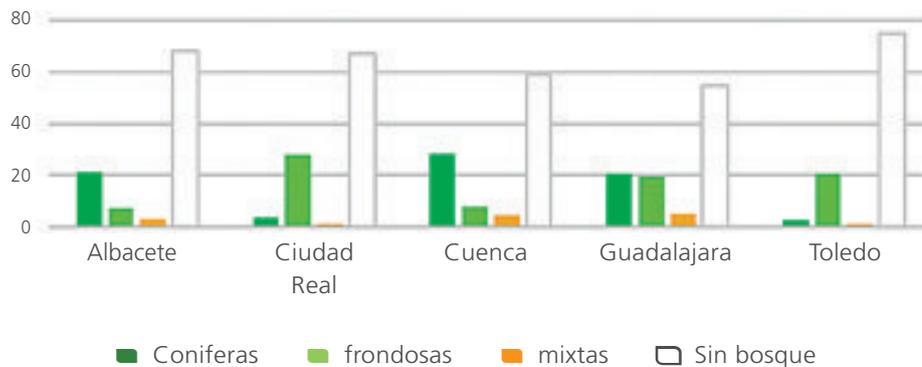
Distribución de coníferas, frondosas y mixtas



Coníferas, frondosas y mixtas



Coníferas, frondosas y mixtas por provincia



## Tipo de superficie en Castilla-La Mancha durante el período 2001-2004

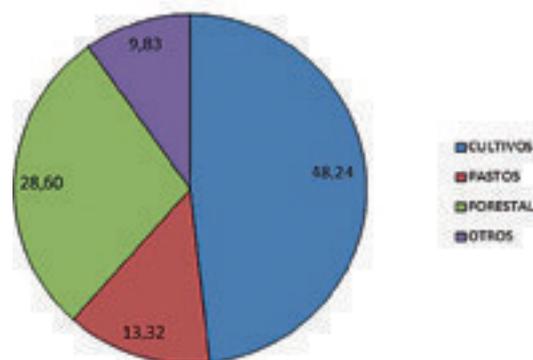
Por otro lado, se plantea la evolución del tipo de superficie en Castilla-La Mancha desde el año 2001 hasta 2014, y cuyos datos han sido recopilados de los anuarios de estadística del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

La superficie total de la comunidad, y según los últimos datos ofrecidos por la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de Castilla-La Mancha, se establecía para el periodo 2001- 2014 en 110.695,49 (miles de ha), que se distribuían en grandes categorías de la siguiente forma: un 48.24% a tierras de cultivo; un 13.32% a superficies destinadas a pastos; un 28.60% a terreno forestal y un 9.83% a otras superficies.

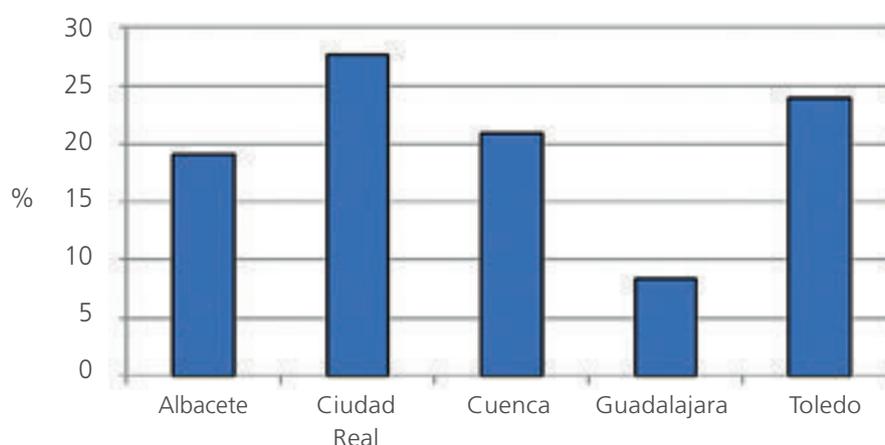
### Tierras de cultivo

En Castilla-La Mancha dominan dos de los componentes tradicionales de los cultivos agrícolas mediterráneos, como son el cereal y la vid. Buena prueba de ello lo evidencia la superficie de cultivos que se ocupan en la comunidad, estableciendo en 3,8 millones de ha para este periodo, y siendo ésta, además, casi la mitad del total de la superficie de la comunidad (48,24%). Dentro de los cultivos, cabe diferenciar que la superficie agraria útil es mayoritariamente de secano, pero sin olvidar el rápido auge que está teniendo el regadío desde la década de los años 70-80, contando con los mayores incrementos nacionales en provincias castellano-manchegas, como por ejemplo, Ciudad Real, tal y como muestran los anuarios estadísticos del MAPAMA y la distribución en tanto por ciento de las tierras de cultivo por provincias para la comunidad.

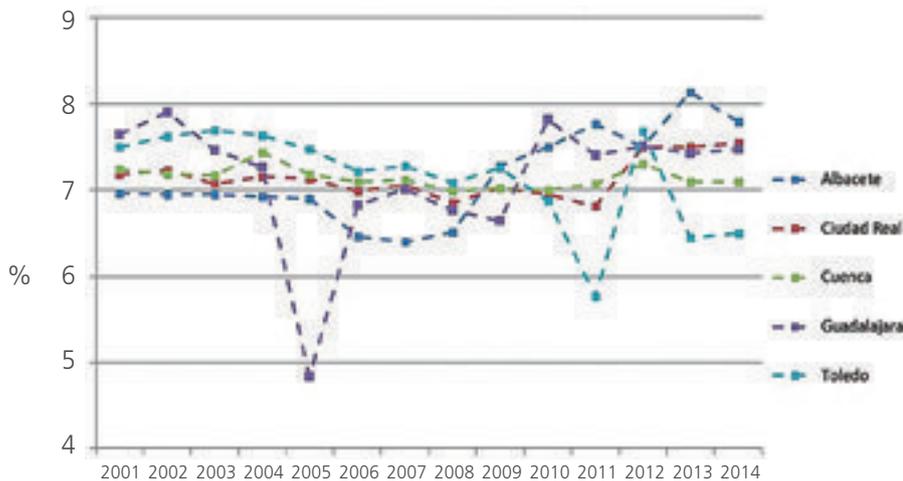
Distribución del tipo de superficie en % en C-LM (período 2001-2014)



Distribución en % de tierras de cultivo por provincia en C-LM (período 2001-2014)



Evolución de las tierras de cultivo por provincia (período 2001-2014)

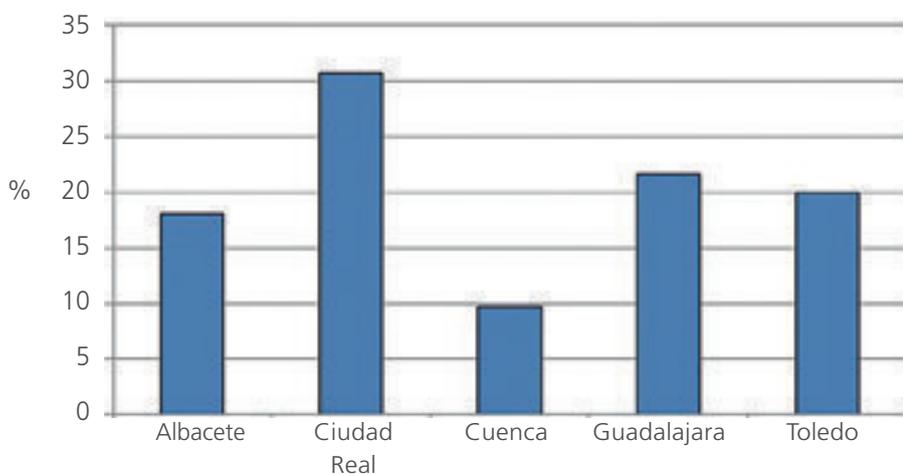


En cuanto a la evolución de las tierras de cultivo en Castilla-La Mancha, y considerando los anuarios de estadística del Ministerio de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente comprendidos entre 2001 y 2014, estas superficies se han mantenido en valores similares. Destacando el gran descenso que se produjo en la provincia de Guadalajara en el año 2005, donde los valores normales se venían estableciendo entorno al 7% del total de tierras del cultivo, pegando un bajón hasta situarse por debajo del 5%.

### Superficie de pastos

La superficie destinada a pastos para la comunidad no adquiere un gran porcentaje respecto al total de la superficie de la comunidad, ya que se sitúa en el 13.32%, con casi 15 millones de ha. Por provincias, como muestra el siguiente gráfico, destaca Ciudad Real, liderando otra vez la clasificación por provincias,

Distribución en % de superficie de pastos por provincia en C-LM (período 2001-2014)



como ocurriría en las tierras de cultivo con más del 30% de la superficie, la siguen Guadalajara, Albacete y Toledo con valores entorno al 20%, y quedando descolgada la provincia de Cuenca, con un testimonial 9.70% de superficie para pasto.

En cuanto a la evolución de la superficie de pastos en Castilla-La Mancha para el periodo 2001-2014, se puede hacer una clara distinción por provincias: la provincia de Albacete presenta más de 2,5 millones de ha de superficie de pastos para el periodo citado, con picos significativos entre los años 2006 y 2009, pasando de tener el 7.5% de superficie de pastos hasta más del 15%. Destaca que los pastos de la provincia se corresponden con bosques mixtos, esclerófilas y arbustivas de transición, según el estudio de pastos del MAPAMA para las comunidades autónomas de Andalucía y de Castilla-La Mancha.

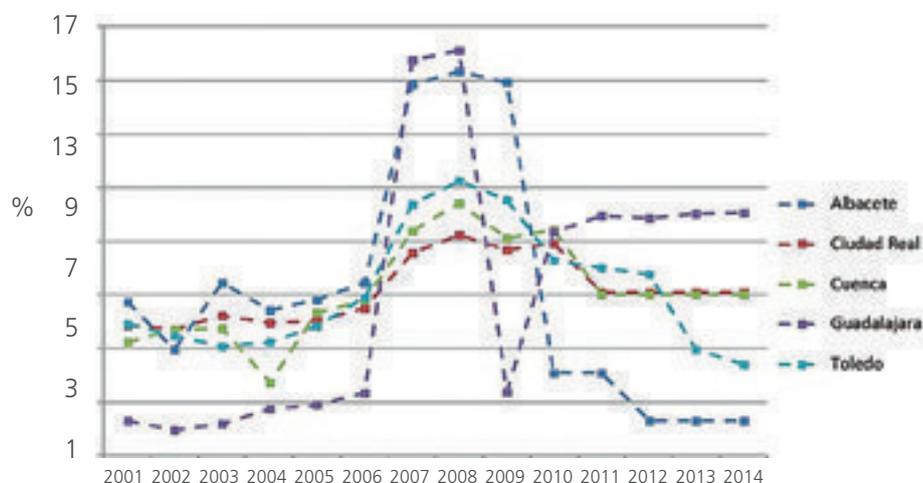
Ciudad Real es la que mayor superficie de pasto aporta a toda la comunidad con más del 30%. Del total de la superficie de pastos con la que cuentan (entorno a los 4.5 millones de ha), algo más de la mitad corresponden a los bosques mixtos, esclerófilas y arbustivas de transición, junto con los sistemas agroforestales localizados en el Valle de Alcudia.

La provincia de Cuenca presenta 1.5 millones de superficie de pastos, lo que supone apenas un 10% de la superficie total de pastos de la comunidad. Destacan, también, como en las otras provincias, los pastos de bosques y formaciones arboladas mixtas, siendo la provincia que más porcentaje presenta de este tipo de pastos.

La provincia de Guadalajara presenta más de 3 millones de ha de superficie de pastos, contribuyendo en más de un 21% a los pastos de la comunidad. En esta extensa superficie de pastos, predominan en esta comarca los bosques mixtos, esclerófilas y arbustivas de transición y los bosques de frondosas. Destacan, además, los significativos aumentos y descensos que se producen entre el año 2006 y el 2009, como se aprecia en el gráfico de evolución de superficies de pastos

Por último, en la provincia de Toledo, los pastos representan el 20% de la totalidad de los mismos en la comunidad, con un total de casi 3 millones de ha. En dichas superficies destacan los bosques mixtos, aunque lo hacen por encima del resto, los sistemas agroforestales y los bosques de frondosas.

Evolución de las superficie de pastos por provincia (período 2001-2014)

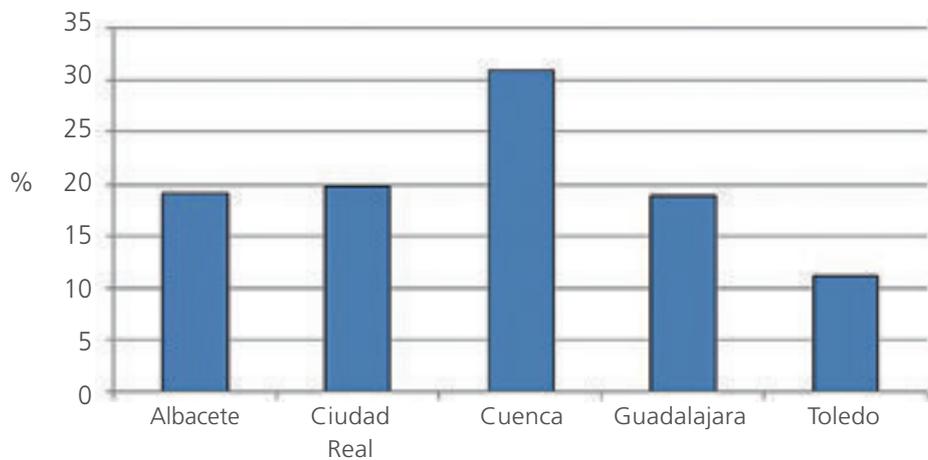


### Superficie forestal

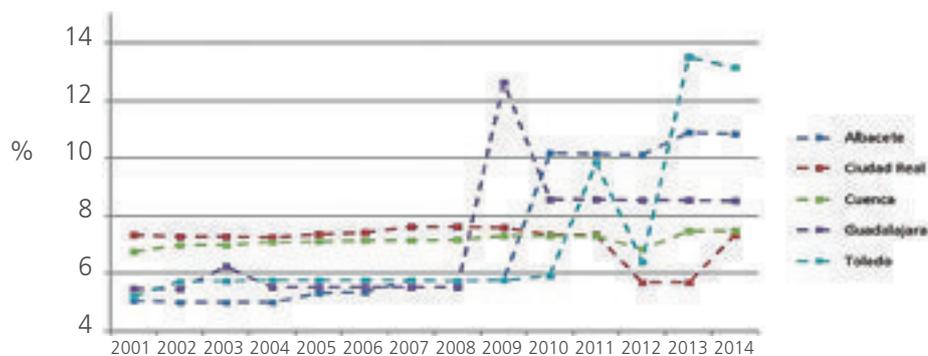
En Castilla-La Mancha existen más de 31.5 millones de ha forestales, las cuales representan casi el 45% de la superficie total de la región y entorno al 13% de la superficie forestal nacional, según datos del MA-PAMA. En dicha categoría de superficie se agrupan superficies de aprovechamiento secundario de pastos, también se incluyen los terrenos yermos, roquedos y arenas, así como las construcciones e infraestructuras destinadas al servicio del monte y del ganado. Las provincias con más superficie forestal, como indica el siguiente gráfico, son Cuenca y Ciudad Real, seguidas de cerca por Albacete y Guadalajara, en cambio Toledo, es la provincia con menor superficie forestal en la región, pero, aun así, esta última cuenta con más de 3.5 millones de ha de este uso.

La superficie forestal de la comunidad, según la pertenencia y régimen de tierra, puede clasificarse en cuatro grandes grupos: los Montes del Estado transferidos o no a la Junta de Comunidades, los Montes de Entidades Locales de Utilidad Pública, los Montes de particulares, consorciados y convenidos, y los Montes de particulares no consorciados o convenidos. Aunque son los montes de particulares los que dominan con más del 70%.

Distribución en % de superficie forestal por provincia en C-LM (período 2001-2014)



Evolución de la superficie forestal por provincia (período 2001-2014)



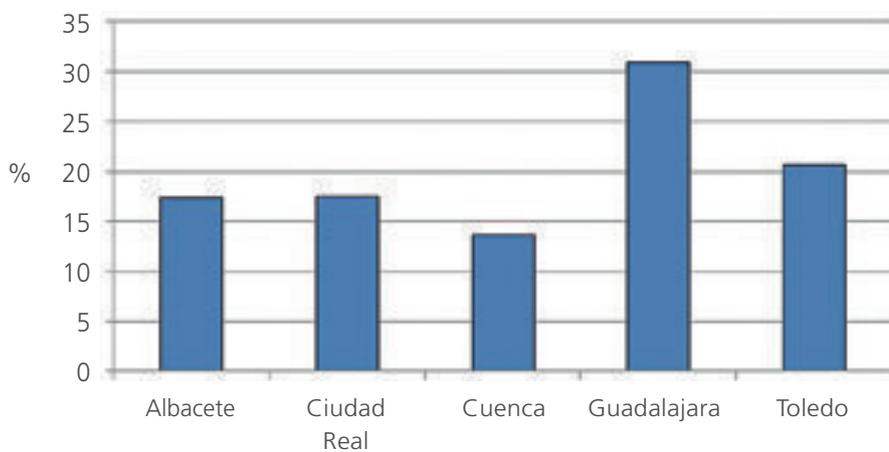
Su evolución a grandes rasgos no presenta muchas alteraciones, manteniéndose valores similares a lo largo de toda la serie durante el periodo de estudio, si bien, destacan las provincias de Guadalajara, Albacete y Toledo, donde, como se puede apreciar en el gráfico de evolución, hay acusados picos de crecimiento y decrecimiento de superficie forestal a partir del año 2008.

### Otras superficies

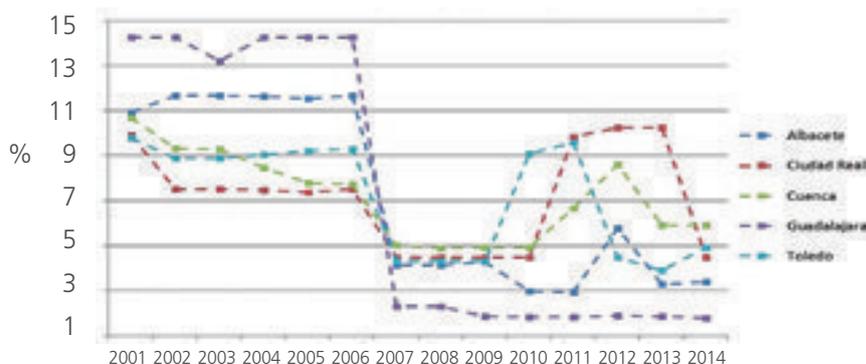
Esta categoría incluye, principalmente, superficie de uso urbano, además de otros usos artificiales, tales como vías de comunicación, industrias, minerías, aguas, humedales, etc, y donde Castilla-La Mancha cuenta un total de casi 11 millones de ha destinadas a este uso. En su distribución provincial destaca Guadalajara con más del 30% de otras superficies, lo que se traduce a más de 3.3 millones de ha, quedándose el resto de provincias en valores similares entre el 14 y 20%.

En cuanto a la evolución de este tipo de superficie destaca por los acusados altibajos que presenta. Y es que, a partir de finales del año 2006, presenta bruscas caídas que van desde más del 14% de superficie hasta poco más del 2%, como ocurre, por ejemplo, en la provincia de Guadalajara. Aunque también son acusados estos descensos en el resto de provincias de la comunidad.

Distribución en % de otras superficie por provincia en C-LM (período 2001-2014)



Evolución de otras superficie por provincia (período 2001-2014)

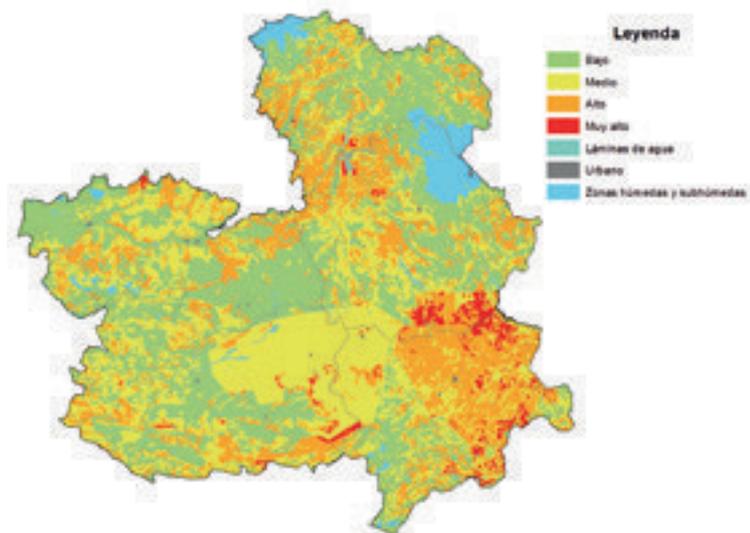


Como se puede observar de esta evolución, las tierras de cultivo se han mantenido constantes en su superficie con alguna variación en Toledo y Guadalajara. Los pastos han sufrido muchas variaciones a lo largo del tiempo en todas las provincias, mientras que, la superficie forestal tiene una tendencia a aumentar la superficie, y, en otras superficies de cultivo, sufre una gran disminución del año 2006 al 2007 en todas las provincias.

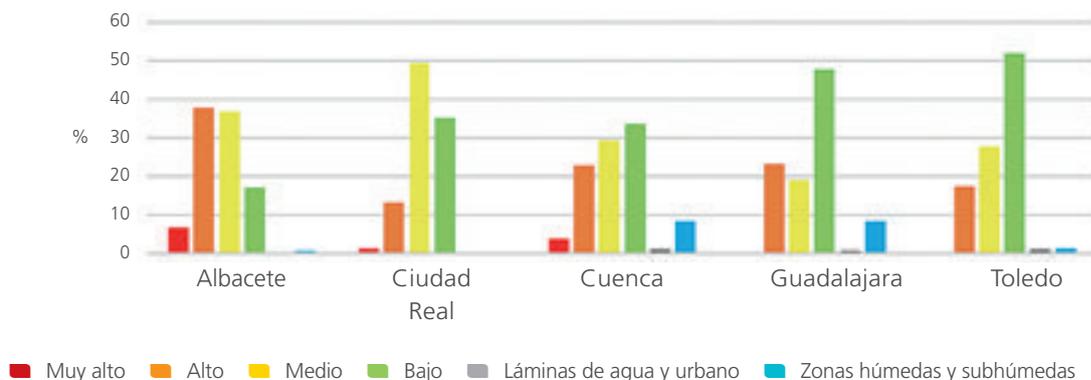
En 2008, se realizó el Programa de Acción Nacional contra la Desertificación (PAND) cuyo objetivo principal es contribuir al logro del desarrollo sostenible de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas del territorio nacional y, en particular, la prevención o la reducción de la degradación de las tierras, la rehabilitación de tierras parcialmente degradadas y la recuperación de tierras desertificadas.

Analizando los datos proporcionados por el PAND, se observa que el 36,71% del territorio de Castilla-La Mancha se encuentra con un riesgo de desertificación bajo, seguido de un 33,98% con un riesgo medio, y estando sólo el 2,60% de su extensión con un riesgo muy alto de desertificación. Las zonas húmedas y subhúmedas presentan el 3,56% del territorio.

### Riesgo de Desertificación

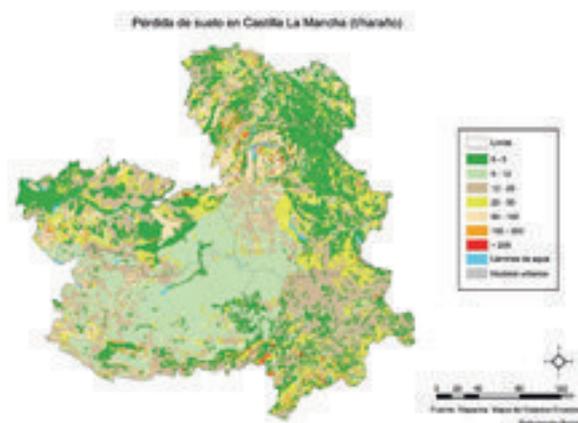


### Riesgo de Desertificación



Examinando los datos proporcionados por el PAND, se observa que la provincia de Albacete, al igual que mostraba la UNEP en el Atlas Mundial de Desertificación (1992), es la que presenta una mayor extensión de su territorio con un riesgo de desertificación muy alto (6,88 %) y alto (37,94 %). Por otro lado, Toledo es la que presenta un menor porcentaje de su extensión con riesgo muy alto (0,24 %) y la que mayor extensión tiene con riesgo bajo (51,99 %). Cuenca y Guadalajara, por su parte, son las provincias que mayor extensión poseen de zonas húmedas y subhúmedas. Y, Ciudad Real, es la provincia que posee un mayor porcentaje de su territorio con un riesgo de desertificación medio (49,54 %).

Por último, se muestra un mapa con las pérdidas de suelo de España elaborado por el Banco de Datos de la Naturaleza. En él se observa que, la zona sur de Castilla-La Mancha, es la que ofrece unas mayores pérdidas de suelo (>100 t/ha/año), mientras que, la zona noroeste de Cuenca, presenta unas pérdidas de 50-100 t/ha/año. La zona centro de la comunidad, por su parte, es la que tiene una menor cantidad de pérdidas de suelo al año correspondiente a menos de 12 t/ha/año.



## Conclusiones

Una vez se han tenido en cuenta todos los factores comentados a lo largo de este capítulo (pendiente, usos del suelo, evolución de los cultivos y el Programa de Acción Nacional contra la desertificación), se puede concluir que, aunque las pendientes suelen ser un factor determinante para la erosión del suelo, en este caso no se corresponden en su totalidad con las zonas con mayores pérdidas de suelo. Si bien es cierto, que la zona centro de la comunidad que tiene una menor pendiente, también es la que presenta un menor riesgo de desertificación y unas menores pérdidas de suelo.

También se debe destacar la importancia de tener un adecuado uso del suelo y cuáles son los cultivos o bosques más adecuados para proteger de una manera más óptima el suelo ya que el suelo desnudo es el que tiene una mayor probabilidad de sufrir erosión debido a la escorrentía, por lo tanto, hay que tener prestar atención al uso del suelo, o bien, tener una infraestructura adecuada para prevenir riesgos como deslizamientos de ladera.

Precipitaciones más concentradas en el tiempo, como veíamos en el capítulo 1, contribuirán a la pérdida de suelo, pero es que además se podrán dar después de periodos muy secos en los que las partículas de suelo no están compactadas y son más fácilmente arrastrables. Incendios forestales más extensos, dejarán al descubierto las capas superficiales del suelo, sometiéndolo a una mayor erosión, otro factor que deberá tenerse en cuenta.

Es importante entender la realidad climática que se dará en los próximos años y las relaciones que tendrá con nuevos escenarios de erosión de suelo. En algunos observatorios se ha constatado que el número de días con precipitaciones por encima de los 30mm está aumentando, lo que producirá lavado de suelos y decapitación de los horizontes más superficiales.

A continuación, puede verse con detalle el mapa de pérdidas de suelo potenciales en la región.

### Bibliografía

**PILAR GARCÍA RODRÍGUEZ Y M.<sup>a</sup> EUGENIA PÉREZ GONZÁLEZ (2005):** Degradación de suelos en Castilla-La Mancha: Estudio de áreas piloto mediante teledetección. Observatorio Medioambiental, núm. 8, 55-71.

**MA DÍEZ ROJO, JA LÓPEZ PÉREZ, P URBANO TERRÓN, A BELLO PÉREZ (2010):** Biodesinfección de suelos y manejo agronómico. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. España.

**MARÍA ROSA GONZÁLEZ LÓPEZ, MIGUEL ÁNGEL DÍEZ ROJO, CONCEPCIÓN IGLESIAS GONZÁLEZ, JOSÉ ANTONIO LÓPEZ PÉREZ, ANTONIO BELLO PÉREZ (2011):** Valor de los Subproductos Vitivinícolas en la Mejora y Biodesinfección de Suelos. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. España.

**PROGRAMA DE AUDITORÍAS DE SOSTENIBILIDAD – Agenda 21 Local de la Diputación de Albacete:** Planeamiento Urbanístico y Usos del Suelo.

**GARCÍA, M. P. Y PÉREZ, M. E. (2003):** Calidad de suelo en La Mancha: cartografía de unidades salinas mediante imágenes TM. En Teledetección y Desarrollo Regional (Pérez y Martínez, coord.):13-16 pp.

**MELIA, J. F.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F. Y BRASA, A. (1994):** Desertificación en Castilla-La Mancha. En Los proyectos sobre medio ambiente en la CE. El proyecto EFEDA: objetivos y desarrollo. Univ. Castilla-La Mancha. Albacete; 15-25.

**MAPAMA:** <http://www.mapama.gob.es>

**CORINE LAND COVER**

**MAPA FORESTAL DE ESPAÑA**

**PROGRAMA DE ACCION NATURAL CONTRA LA DESERTIFICACION (PAND)**

## Los humedales y el cambio climático en Castilla-La Mancha

Máximo Florín Beltrán, Rafael Ubaldo Gosálvez Rey, Ángel Velasco García, Celia Laguna Mora, Josefina Penélope Falomir Esteve, Álvaro Chicote Díaz y Elena María Muñoz Espinosa

*Sección de Humedales, Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla-La Mancha*

### Introducción

Castilla-La Mancha es la región de España donde los tipos de clima son más diversos a lo largo y ancho de su territorio, en la que más varía el tiempo atmosférico con el paso de los días, de las estaciones y de los años, y también la más heterogénea en cuanto al relieve y a la naturaleza de las rocas y sedimentos que lo conforman.

Por eso, no es extraño que todo el paisaje castellano-mancheño esté salpicado por los humedales más diversos de la Península Ibérica, que aparecen arracimados con la densidad más alta de España, en complejos tan singulares en el ámbito mundial como son, por ejemplo, las lagunas de las rañas de Guadalajara, las torcas de Cuenca, las lagunas volcánicas del Campo de Calatrava, los bonales de Montes de Toledo, las llanuras de inundación y vegas de los ríos Cigüela, Záncara, Guadiana y otros, las lagunas salinas y saladares de Albacete, las Lagunas de Ruidera, el Arquillo, Ojos de Villaverde, el Tobar y otras muchas lagunas kársticas, las Tablas de Daimiel, las colas de todos los embalses y, sobre todo, los humedales de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda en general, única de Castilla-La Mancha y primera de España declarada en un ámbito regional de humedales, más allá de un único espacio natural.

Precisamente, la Red Mundial de Reservas de la Biosfera, junto con el Programa del Hombre y la Biosfera de la UNESCO que la acompaña, sirve de Observatorio Global para la Mitigación y la Adaptación al Cambio Climático. Como tal, tiene un valor añadido por dos motivos principales: i) para la lucha contra el cambio climático, promoviendo la monitorización integrada, los enfoques multidisciplinares y la participación pública que sostienen la gestión del cambio climático, y ii) para las actividades de demostración de los impactos del cambio climático y las posibles soluciones relacionadas.

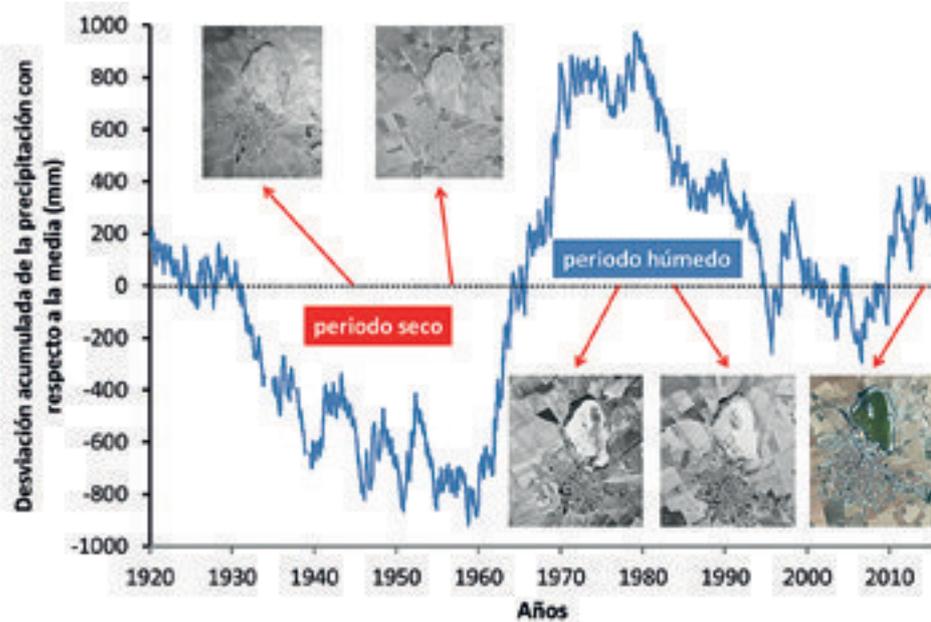
### Evaluación del cambio climático en y con los humedales.

De acuerdo con datos de la Sección de Humedales del Centro Regional de Estudios del Agua de la Universidad de Castilla-La Mancha (CREA-UCLM), la superficie natural estimada de humedales de que se tiene noticia a través de la cartografía y la fotografía aérea ascendía a 18.597 has en toda la región, de las que sólo quedan 4.908 has en distinto estado de conservación; es decir, se ha perdido casi el 75% de la superficie de humedales de la región.

La desaparición de humedales y el empeoramiento del estado de los existentes están relacionados con el cambio climático, pero es indisoluble de otros factores de degradación por causa de las actividades humanas, por lo que es más apropiado hablar de cambio global, refiriéndonos al conjunto de cambios relacionados con el cambio climático y con esos otros impactos antrópicos.

Por otro lado, los diversos impactos que constituyen el cambio global no tienen un simple efecto acumulativo, aritmético, sino más bien sinérgico, multiplicativo. Así, los periodos secos pueden dar lugar a una "alienación hidrológica" de la población, que puede llegar a perder la memoria histórica del funcionamiento de los humedales de su entorno y hasta de su simple presencia física (Gráfico 1).

Por ejemplo, los periodos de mayor degradación de la Laguna de la Inesperada (Pozuelo de Calatrava, Ciudad Real), identificables mediante las fotografías aéreas disponibles, corresponden a periodos secos precedentes a la fecha de toma de dichas imágenes (Gráfico 1).

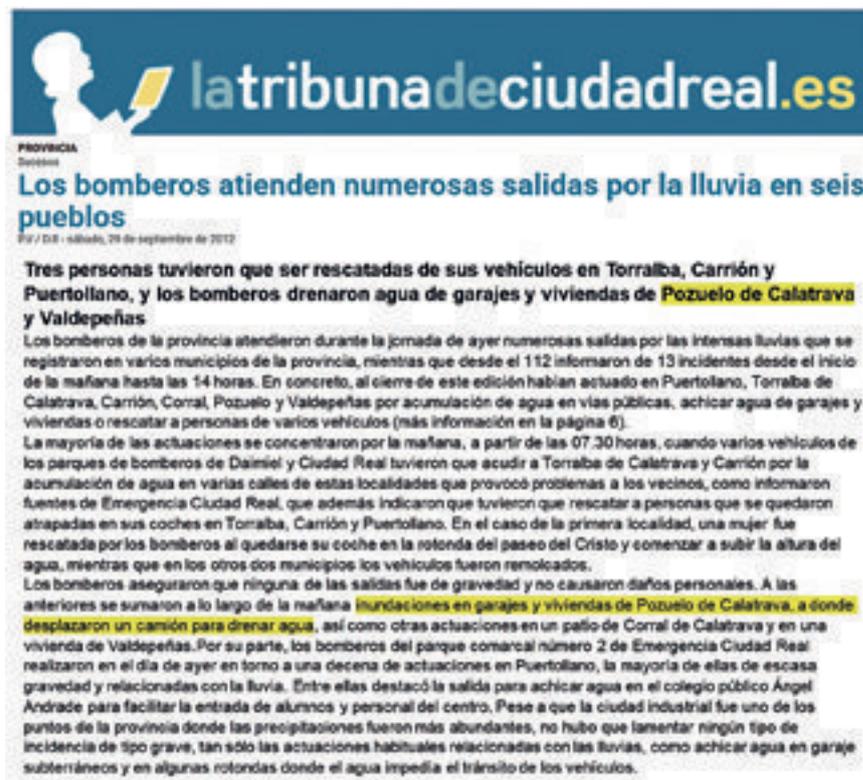


**Gráfico 1:** Evolución de la desviación acumulada con respecto a la media de los datos de precipitación en Ciudad Real (1920-2015), y fotos aéreas disponibles de la Laguna de la Inesperada o del Prado (Pozuelo de Calatrava, Ciudad Real), mostrando la sincronía entre periodos secos y pulsos de crecimiento urbano de la población aledaña, hasta ocupar un quinto de la superficie del humedal. *Fuente: Elaboración Propia*

En el caso de este humedal (el único Sitio Ramsar de Máxima Importancia Internacional del complejo de lagunas volcánicas del Campo de Calatrava) las fotos aéreas de los años 1970s y de la segunda década del siglo actual muestran que se había producido un periodo de intensificación de la urbanización de su cubeta. Todo ello sucedió tras sendos periodos durante los cuales se registraron menos lluvias con respecto a la media 1920-2015. Además se llegó a urbanizar el 20% de la superficie original de la laguna, tras colmatarse con escombros, debido al crecimiento del casco urbano de la población aledaña, que ahora tiene su polígono industrial, plaza de toros, polideportivo y hasta algunos bloques de viviendas en lo que antes era parte de la laguna.

No siempre es el cambio climático el que agrava otros impactos de actividades humanas sobre los humedales, sino a la inversa. Así, sin dejar nuestro caso de estudio de la Laguna de la Inesperada (Pozuelo de Calatrava), la urbanización de 1/5 de su superficie no evita que, en los cada vez más frecuentes e intensos episodios de tormentas previsible en cualquier escenario de cambio climático, las aguas de escorrentía reclamen las escrituras de propiedad de los terrenos que les son propios y, de acuerdo con el Principio de Arquímedes, busquen salidas a la ocupación de la cubeta de los humedales, inundando viviendas y/o vías públicas (Imagen 1).

Esto ocurre en todos los humedales castellano-manchegos adyacentes a poblaciones, hasta el punto de ocasionar la urbanización total de la cubeta, como es el caso de la Laguna Chica o Vega (Miguel Esteban, Toledo), del Pozo de la Puerta (El Toboso, Toledo) y de uno de los navajos de Balbacil (Guadalajara), por ejemplo. O parcial, como la Laguna del Pueblo (Pedro Muñoz, Ciudad Real) y la Laguna del Salobral (La Villa de Don Fadrique, Toledo), por ejemplo, a la vez que la inundación recurrente de la parte del casco urbano que ocupa la cubeta lagunar.



**Imagen 1:** Captura de pantalla de la noticia publicada en La Tribuna de Ciudad Real el 29 de septiembre de 2012, informando de la inundación de garajes y viviendas de Pozuelo de Calatrava, problema recurrente con ocasión de episodios lluviosos en la parte del casco urbano que ha usurpado parte de la cubeta de la laguna.

A pesar del indudable impacto de las inundaciones asociadas al cambio global en los humedales, el mayor de todos es la desecación de la superficie húmeda. Aunque Castilla-La Mancha es la región de España donde mejor se conservan las vegas fluviales y llanuras de inundación, se puede calcular que el 90% de su superficie original ha sido desecada desde el siglo XIX, fundamentalmente tras su drenaje y el encauzamiento, rectificación y dragado de los ríos correspondientes. Dichas afecciones son compartidas por muchas lagunas que ocupan terrenos de los que se esperaba sacar rentabilidad agrícola, la cual ha terminado por ser negativa o muy baja, debido a la vocación encharcadiza de los mismos y/o a la salinización del suelo sobre el que se asientan.

La privación de agua a los humedales por drenaje y canalización trasciende cuantitativamente, y mucho, de la simple evacuación del agua superficial que, a menudo, sólo de manera episódica y efímera ocupa toda la superficie inundable. La principal función de la inundación de estos sistemas no es tanto el almacenamiento de agua superficial, sino la infiltración y recarga de los acuíferos subyacentes, en particular del acuífero aluvial, que es una fina manta que cubre y alimenta, la espesa esponja de los acuíferos regionales infrayacentes a lo largo de los corredores fluviales y, en su caso, el lecho de las lagunas sin drenaje superficial. Dicho de otra manera, cuando se drena un humedal y se canaliza el río de una llanura de inundación, se acelera el flujo de agua hacia el mar, desconectando los recursos hídricos superficiales de los subterráneos y, por lo tanto, privando al ciclo hidrológico de Castilla-La Mancha de uno de sus aportes más importantes.

Para tener una idea de lo que supone la fina manta de un acuífero aluvial como el del tramo de las Tablas de Daimiel, basta decir que su capacidad mínima de almacenamiento de agua asciende a 1 hm<sup>3</sup> al año, lo que

supone el 20% de las extracciones para riego autorizadas por la Confederación Hidrográfica del Guadiana a partir del Embalse del Vicario, situado aguas abajo de dicho tramo de llanura de inundación, en un año seco como 2017. Es decir, el 20% del agua que podría haber servido para paliar la actual sequía en esa zona regable ha sido enviada directamente al mar, sin permitírsele antes recargar los embalses subterráneos.

La alienación hidrológica de algunos terratenientes que sucedió al periodo seco ilustrado en el Gráfico 1 causó probablemente la intensificación de la desecación de vegas fluviales y llanuras de inundación en el tercer cuarto del siglo XX. Este proceso, descrito por el genial periodista Luis Carandell como el “Rapto del Guadiana” (Imagen 2) es anterior a la explotación intensiva y sobreexplotación de acuíferos en La Mancha, y muy posiblemente una de sus causas: muchas pequeñas explotaciones regadas con pozos de noria, privadas de la recarga anual de agua que aportaban los ríos, una vez canalizados, pasaron a depender exclusivamente del acuífero regional, más profundo y con una tasa de renovación mucho más larga que los acuíferos aluviales de vegas fluviales y llanuras de inundación.

### Humedales al servicio de mitigar el cambio climático.

Los servicios asociados a la disponibilidad de agua son sólo uno de los variados tipos de los servicios que los humedales de Castilla-La Mancha ofrecen para mitigar el cambio global, por exceso o por defecto. Además del abastecimiento, los otros dos tipos principales de servicios de los humedales de la región son los de regulación y los culturales.

Los principales servicios que los humedales ofrecen a la sociedad castellano-manchega para mitigar el cambio global se relacionan en las Tablas 1 a 3. Las columnas de las mismas identifican el tipo y la categoría de

los servicios por grupos, al tiempo que se relacionan las principales características de cada uno de ellos y se selecciona un ejemplo. La clave de colores pone de manifiesto el estado que presentan en la actualidad (Imagen 3).



**Imagen 2:** Copia digital de la primera página del reportaje publicado por Luis Carandell en la revista “Cuadernos para el Diálogo” el 24 de diciembre de 1977, en el que relata el conflicto desatado tras la canalización de los ríos Cigüela y Guadiana.

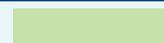
### Servicios de abastecimiento

Dentro de los servicios de abastecimiento, uno de los más importantes corresponde con la provisión de alimentos. Aunque se trata de un recurso renovable, se ha apreciado una tendencia a disminuir, como consecuencia de la alteración de la estructura y funcionamiento de los humedales. Entre estos servicios cabe reseñar, por ejemplo, los cultivos de regadío en vegas fluviales y llanuras de inundación desecadas, el ganado que aprovecha los pastos húmedos de estos terrenos, la pesca y recolección de cangrejos, la acuicultura y, finalmente, con una repercusión casi anecdótica, la recolección de vegetales silvestres y la caza para alimentación, principalmente de aves.

El cultivo de especies como el maíz, que requieren importantes aportes hídricos, suele ubicarse en muchas llanuras de inundación transformadas. La mayor parte del cultivo en Castilla-La Mancha se realiza en regadío, constituyendo una de las mayores extensiones de este cultivo en la Península. En el esce-

nario actual de cambio climático, el sinsentido de regar decenas de miles de hectáreas en La Mancha para cultivos que exigen mucha agua, como el maíz (especialmente en zonas semiáridas de dicha región), es la principal causa de la enorme degradación hídrica de humedales de extraordinario valor, como los incluidos en la Reserva de la Biosfera de La Mancha Húmeda y el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel.

La importancia de los servicios se ha evidenciado con los siguientes colores:

Color	Color
	Alta
	Alta-media
	Media-baja

**Imagen 3:** Clave de colores para poner de manifiesto la importancia de los servicios de los humedales a la sociedad de Castilla-La Mancha afectados por el cambio global, relacionados en las Tablas 1 a 3. Fuente: *Elaboración Propia*

TIPO	Servicios	Categoría	Definición	Ejemplos e importancia
Abastecimiento	Alimentación	Producción agrícola	Productos derivados de los ecosistemas y la biodiversidad que son consumidas por los seres humanos para obtener principios nutritivos, que les proveen materia y energía	Arroz, algodón
		Ganado		Pasto
		Pesca/Marisqueo		Pescados, bivalvos, crustáceos y otros
		Acuicultura		Pescados, crustáceos
		Alimentos vegetales silvestres		Forrajes, pasto
		Caza para la alimentación		Aves
	Agua		Agua de calidad	Agua para consumo humano, limpieza, recreo, producción de cosechas, procesos industriales
	Materias primas de origen biológico		Materiales extraídos de los seres vivos y que se transforman para elaborar bienes de consumo	Fibra textil, caña, mimbre, madera
	Materias primas de origen mineral		Materiales de origen mineral extraídos del subsuelo que se transforman para elaborar bienes de consumo	Sal, turba, rocas ornamentales
	Energías renovables		Energía derivada de la hidrodinámica propia de los humedales	Energía hidroeléctrica y mareomotriz
Acervo genético		Diversidad genética de una especie o población. Variedad de genes entre y dentro de las poblaciones	Especies autóctonas, genes o información genética usada en biotecnología	
Medicinas naturales y principios activos		Productos biológicos utilizados con fines terapéuticos	Plantas medicinas, homeopatía	

**Tabla 1:** Servicios de abastecimiento proporcionados por los humedales españoles, que incluyen los afectados por el cambio global en Castilla-La Mancha. Clave de colores de acuerdo con la Imagen 3. Fuente: *Elaboración Propia*

TIPO	Servicios	Categoría	Definición	Ejemplos e importancia
Regulación	Regulación climática local y regional. Almacenamiento de carbono	Global	Influencia de los ecosistemas y biodiversidad sobre el clima a escala global y local emitiendo o absorbiendo gases invernadero e interviniendo en la generación de flujos de calor e hídricos	Captura y almacenamiento de carbono, arrozales emitiendo metano
		Regional y local	Influencia de los cambios de usos del suelo en el régimen de temperatura y precipitación	Regulación de la amplitud térmico, regulación de la humedad relativa del aire, liberación de dimetilsulfuros
	Regulación de la calidad del aire		Los ecosistemas tienen un efecto sobre la calidad del aire extrayendo contaminantes	Desnitrificación, producción y consumo de oxígeno y de anhídrido carbónico
	Regulación hídrica (cantidad y calidad)		Los cambios en los usos de suelo tienen gran impacto en la regulación del ciclo del agua en el contexto de las cuencas hidrográficas afectando al hidropérido, la escorrentía, y el almacenamiento de agua en general, así como a la calidad del agua	Reducción de contenido en materia orgánica, sólidos en suspensión y metales en el agua, eliminación de N en forma de biomasa. Almacenamiento de N y P en sedimentos, acumulación de agua, interacción con los acuíferos
	Regulación morfo-sedimentaria		Balace morfogénesis-edafoogénesis	Sumidero de sedimentos, amortiguación perturbaciones
	Formación y fertilidad del suelo		La fertilidad del suelo es esencial para el crecimiento de la vegetación silvestre y la agricultura	Mantenimiento de suelos con nutrientes para el crecimiento de las plantas y las cosechas
	Regulación de las perturbaciones		Los ecosistemas amortiguan los efectos de las perturbaciones naturales, fundamentalmente las ligadas al clima	Los ecosistemas reducen el efecto de los grandes temporales, las llanuras de inundación y otros humedales reducen los picos de crecida haciendo menos necesarias las infraestructuras de control, disponibilidad hídrica en momentos de sequía
	Control biológico		Los ecosistemas regulan plagas y vectores de enfermedades para humanos, cosechas y ganado	
	Polinización		Las especies polinizadoras son esenciales para la producción de frutos, vegetales, semillas	

**Tabla 2:** Servicios de regulación proporcionados por los humedales españoles, que incluyen los afectados por el cambio global en Castilla-La Mancha. Clave de colores de acuerdo con la Imagen 3. Fuente: *Elaboración Propia*

TIPO	Servicios	Categoría	Definición	Ejemplos e importancia
Culturales	Conocimiento científico		Generación de acervo científico en su estudio	Publicaciones científicas, proyectos de investigación, inversión pública en investigación
	Conocimiento ecológico local		Cultura local que se asocia a la relación sostenible ser humano-naturaleza	Usos tradicionales, aprovechamientos de variedades locales de plantas animales y aprovechamiento sostenible
	Identidad cultural y sentido de pertenencia		Identificación con lugares naturales y sus usos tradicionales	Lugares míticos y legendarios, tradiciones artesanales, romerías
	Valor espiritual y religioso		Intangibles que forman parte de los valores de las personas	Lugares de culto, amor por la naturaleza
	Paisaje disfrute estético		Calidad paisajística que genera bienestar	Disfrute estético, calidad visual
	Actividades recreativas y ecoturismo		Ocio y salud derivado del disfrute de los valores	Turismo de naturaleza, baño, recreativo, termalismo. Salinoterapia
	Educación ambiental		generación de valores éticos de aprecio por la naturaleza	Centros de visitantes, infraestructuras de uso público, programas de educación ambiental

**Tabla 3:** Servicios culturales proporcionados por los humedales españoles, que incluyen los afectados por el cambio global en Castilla-La Mancha. Clave de colores de acuerdo con la Imagen 3. Fuente: *Elaboración Propia*

El uso más importante al que se destina el agua proporcionada por los lagos y humedales lo constituye el riego agrícola. De acuerdo con datos de 2013 del Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Castilla-La Mancha es la segunda región española con más regadíos (13,93% del total nacional), pero alcanza más del 50% de los cultivos españoles mediante riego por aspersión, técnica que maximiza las pérdidas por evaporación en el clima mediterráneo continental semiárido de la mayor parte de las zonas cultivadas en la región.

A pesar de ocupar tan sólo el 15% de la superficie cultivable, los riegos agrícolas consumen el 80% de los recursos hídricos que se obtienen de los ríos, acuíferos y humedales. Estimaciones del periodo seco de la primera década del siglo XXI señalan que sólo en La Mancha, la cifra de pozos se había multiplicado exponencialmente desde los años 1960s, alrededor de 1.500, hasta los aproximadamente 70.000 de 2006, (aunque nadie sabe la cifra exacta, porque la mayoría son ilegales). El resultado es que cada año se extraían más de 400 hm<sup>3</sup>, el doble del agua que llegaba, según el entonces Director del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, Manuel Carrasco. Así en el último cuarto del siglo XX, el nivel del acuífero bajó 20 metros, el equivalente a 2.500 hm<sup>3</sup>, según un estudio del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Aunque estas tendencias mejoraron coyunturalmente durante el periodo húmedo registrado entre 2010 y 2013, la sequía de 2017 arrojó datos igual de alarmantes que los de diez años atrás.

La provisión de biodiversidad por los humedales de la región es apabullante. En lenguaje técnico, todos los humedales castellano-manchegos son “hot-spots” para la biodiversidad (puntos o manchas calientes) (Florín & Montes, 1999). Sólo los enclaves de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda integran cinco Sitios Ramsar de Máxima Importancia Internacional. Uno de ellos, las Tablas de Daimiel, también es el único humedal interior de España declarado Parque Nacional.

Estas distinciones internacionales y figuras de protección no reflejan la singularidad europea del paisaje y socioeconomía asociadas a los humedales de la región, ni la ocurrencia de raros procesos diagenéticos de formación de minerales descritos por primera vez en el mundo en nuestros humedales, por ejemplo.

Sí quedan, en cambio, mejor reflejadas, las especies de los humedales de la Mancha Húmeda incluidas en varias disposiciones internacionales de obligado cumplimiento, a saber: la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (nueve especies), el Convenio de Berna para la Conservación de la Vida Silvestre y el Medio Natural (16 especies), la Directiva de Aves de la Unión Europea (UE) (10 especies), o la Directiva de Hábitats de la UE (6 especies).

Sin embargo, las listas rojas y los convenios internacionales dejan fuera otros servicios de los humedales manchegos asociados a la biodiversidad. Es el caso, por ejemplo, de la rara hierba acuática *Althenia orientalis* (Zannichelliaceae), una especie con una distribución geográfica muy restringida en el mundo, recolectada por miembros de la Sección de Humedales del CREA-UCLM en humedales de la Mancha Húmeda desde 1986, así como la fauna de escarabajos carábidos de las orillas de los humedales, que incluyen el endemismo ibérico *Orthomus expansus* (Pterostichidae) y dos especies vicariantes con una distribución ibero-norteafricana, *Cicindela maroccana* (Cicindelidae) y *Harpalus microthorax* (Harpalidae), o el atrapamoscas (*Drosera rotundifolia*) de los bonales de Montes de Toledo, una fascinante planta insectívora amenazada que tiene usos medicinales (Imagen 4).

Los humedales de Castilla-La Mancha no sólo son importantes para la conservación de especies aisladas, sino también para la de hábitats y comunidades. Es el caso, por ejemplo, de seis tipos de hábitat declarados de interés por la UE. Sin embargo, otras de sus valiosísimas comunidades ausentes de las disposiciones internacionales, las de crustáceos acuáticos, son reconocidas por los especialistas como únicas en Europa Occidental, y comparables sólo a las de otros complejos de humedales del mundo, situados en zonas tan lejanas como Asia central. Esto mismo se aplica a las comunidades de tapetes microbianos dominadas por la cianobacteria filamentosa *Coleofasciculus chthonoplastes*, las comuni-

dades de plantas sumergidas dominadas por *Ruppia drepanensis* (*Potamogetonaceae*), la comunidad de crustáceos acuáticos *Arctodiaptometum salini*, y las comunidades de escarabajos carábidos de las orillas de las lagunas manchegas.

La afinidad de todas estas y otras especies, comunidades y hábitats por condiciones ambientales específicas convierten a los humedales de Castilla-La Mancha en refugios de biodiversidad mundial frente al cambio global y, a la vez, tienen un interés fundamental para la evaluación de este en la región, como lamentablemente hemos podido observar a través de su extinción local o menor presencia en los enclaves desaparecidos o más degradados.



**Imagen 4:** ejemplares de atrapamoscas (*Drosera rotundifolia*) encontrados en uno de los bonales de Montes de Toledo, una planta insectívora amenazada que tiene uso medicinal. Fuente: Sergio González

### Servicios de regulación

Los humedales castellano-manchegos cumplen un importante servicio de regulación climática a corto plazo, por las cantidades de vapor de agua liberadas a la atmósfera a partir de la evaporación directa y, especialmente, a través de la evapotranspiración, contribuyendo al mantenimiento de la humedad ambiental, lo cual se traduce en la aparición de microclimas locales que atenúan la sequedad del aire del entorno. El efecto de la evapotranspiración por la vegetación acuática también modera la amplitud térmica localmente, suavizándola, lo que genera condiciones locales más amistosas para la vida que el entorno mediterráneo continental semiárido dominante en la región.

A más largo plazo, los humedales prestan importantes servicios asociados al ciclo global del carbono, pues contienen entre el 10 y el 20% del carbono del territorio de Castilla-La Mancha. Esto se debe a la lenta tasa de descomposición de la materia orgánica que se acumula en los humedales tras la muerte de

sus organismos, en las condiciones de falta de oxígeno propias del embebimiento en agua del lecho de estos sistemas acuáticos. Por otro lado, los humedales pueden ser fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (como  $\text{CO}_2$ ) cuando se desecan y se airean los sedimentos y se descompone mejor la materia orgánica, y en ciertas circunstancias de inundación que favorecen la liberación de metano.

En el caso de las Tablas de Daimiel, por ejemplo, se ha comprobado que funcionan más como un sumidero que como una fuente de carbono atmosférico, hasta el punto de almacenar alrededor de una tonelada de carbono por hectárea y año. Este valor es superior al registrado en humedales de zonas templadas frías ( $0,08\text{-}0,6 \text{ Tm C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) e incluso a los de la Amazonia ( $0,5 \text{ Tm C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Por el contrario, la destrucción de humedales ejerce el efecto contrario, liberando a la atmósfera importantes volúmenes de C, que se podrían cifrar hasta en un 8% del total de emisiones de  $\text{CO}_2$  de la región. Por ejemplo, en el caso de un drenaje de los humedales castellano-manchegos que fuera proporcional al que está teniendo lugar en el sureste de Asia, por lo que contribuirían a aumentar el efecto invernadero.

En cuanto a la calidad del agua, los servicios de regulación que proporcionan los humedales de Castilla-La Mancha son los que se encuentran en peores condiciones. La contaminación del agua es, por orden de importancia, el quinto impulsor directo del cambio experimentado por los humedales (el tercero, si agrupamos los directamente relacionados con alteraciones del régimen hídrico), habiendo afectado a más de un 11% de los humedales en el siglo XX.

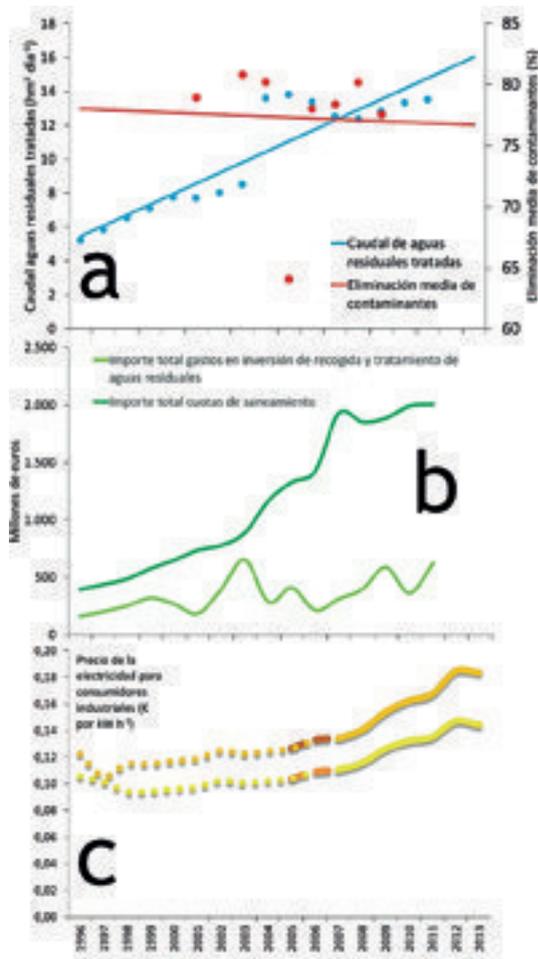
Por encima de los vertidos, la agricultura se ha convertido en el principal foco generalizado de contaminación difusa para las aguas subterráneas, e indirectamente para los humedales que dependen de ellas, además de recibir directamente aportes de los cultivos circundantes. Esta contaminación procede de los fertilizantes agrícolas, principalmente nitratos, que se utilizan en cantidades muy elevadas que rondan una media de 121 kg por hectárea y año. Igualmente, la utilización de pesticidas en la agricultura, que ha aumentado un 70% entre 1995 y 2005, genera importantes alteraciones en la calidad de las aguas de este tipo ecosistemas, además de afectar directamente a su biodiversidad, alcanzando una media de 3 kg por hectárea y año. Y, lo que es peor, no sólo ha aumentado el uso de pesticidas en la agricultura, sino también su toxicidad.

Los vertidos de aguas residuales domésticas e industriales, mejor o peor tratadas, o sin tratar, constituyen el otro gran foco de contaminación de los humedales de la región, constituyéndose en el mayor impacto para algunos enclaves. A pesar de que la aplicación de la Directiva Europea 91/271/CEE sobre el tratamiento de aguas residuales, que impone la depuración de este tipo de aguas, antes de ser vertidas al medio receptor, en municipios con una población superior a los 2.000 habitantes, en 2005 todavía un 10% de las aguas residuales en Castilla-La Mancha no se depuraba.

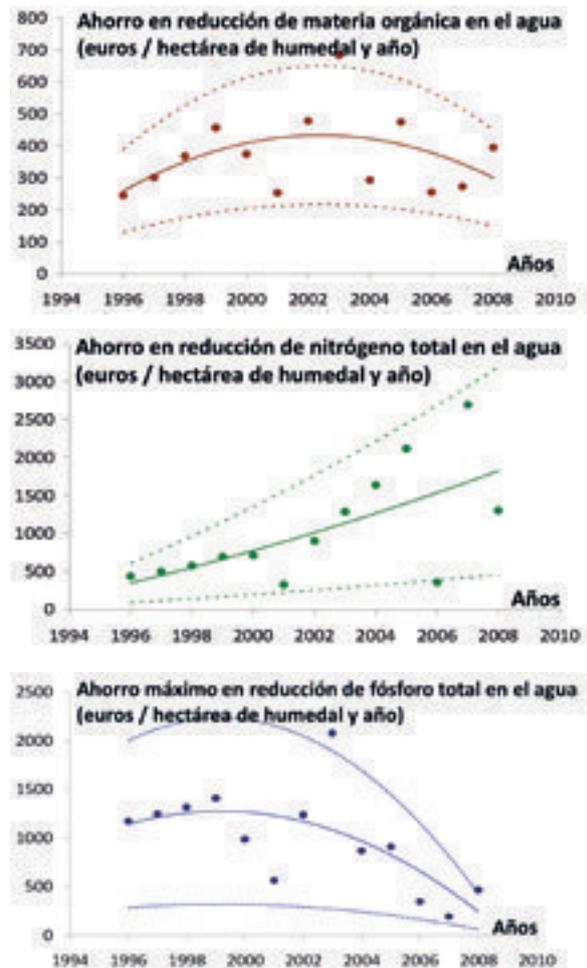
En el Gráfico 2 se exploran las posibles causas de esta insuficiencia. Así, a pesar de que el volumen de aguas tratadas no ha cesado de aumentar entre 1996 y 2013, la tendencia de la eliminación media de contaminantes es estable o decrece ligeramente (y eso sin contar los episodios puntuales de contaminación que aportan mucha contaminación al balance de masas, pero tienen poco peso a la media) (Gráfico 2a).

Por otro lado, el importe total de las cuotas de saneamiento y depuración ha aumentado casi exponencialmente en el mismo periodo, mientras la inversión en recogida y tratamiento de aguas residuales sólo ha aumentado de manera discreta (Gráfico 2b).

La razón de este desajuste entre necesidades de depuración y recursos disponibles parece deberse al drástico aumento de los costes de la energía eléctrica para el segmento de potencia correspondiente al de las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) (Gráfico 3c), lo que coincide con los resultados de consultas de miembros de la Sección de Humedales del CREA-UCLM con jefes de planta y responsables de municipios que tienen que hacerse cargo de los costes de mantenimiento de EDAR de Castilla-La Mancha.



**Gráfico 2:** Evolución en España entre 1996 y 2013 de a) El caudal de aguas residuales tratadas y la eficiencia media de la depuración (INE), b) El importe total de las cuotas de saneamiento y de los gastos de inversión en recogida y tratamiento de aguas residuales (INE), y c) El precio de la electricidad para consumidores industriales con consumos anuales de entre 20 y 500 MW, antes y después de impuestos (EuroStat). Fuente: *Elaboración Propia*



**Gráfico 3:** Evolución entre 1994 y 2010 del ahorro estimado en depuración del agua gracias a la reducción natural de materia orgánica, nitrógeno y fósforo que tiene lugar en los humedales. Fuente: *Elaboración Propia*

Indirectamente, esta limitación ha tenido repercusiones en los servicios de regulación de la calidad del agua por los humedales de la región, que reciben más vertidos y en peores condiciones. Así, la depuración natural por los humedales de Castilla-La Mancha del agua que les llega supuso en 2010 un ahorro equivalente de hasta 1.500 euros por hectárea de humedal y año en la reducción de nitrógeno, más de 300 euros por hectárea y año en la reducción de materia orgánica, y unos 250 euros por hectárea y año en la reducción de fósforo (Gráfico 4).

En conjunto, la autodepuración natural por los humedales del agua que les llega superó en 2010 los 10 millones de euros al año de ahorro para Castilla-La Mancha, teniendo en cuenta solamente la reducción de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Originalmente, esta cifra podría haber superado los 100 millones de euros de ahorro para la región, gracias a la reducción experimentada por estos tres mismos contaminantes.

La evolución entre 1994 y 2010 del ahorro en depuración que supone la reducción natural de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en el agua que llega a los humedales varía según el contaminante de que se trate (Gráfico 4).

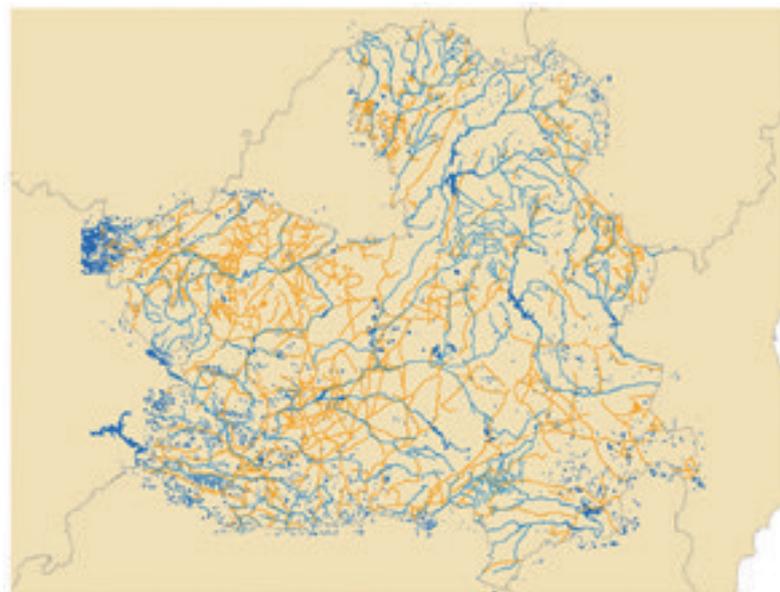
Así, el ahorro gracias a la reducción natural de materia orgánica alcanzó un valor máximo de casi 700 euros por hectárea de humedal y año en 2002.

Sin embargo, el ahorro en depuración gracias a la reducción natural de nitrógeno en el agua que llega a los humedales continuó aumentando durante todo el periodo, hasta alcanzar un valor máximo de más de 2.500 euros por hectárea y año en 2010.

En cambio, el ahorro en depuración gracias a la reducción natural de fósforo en el agua que llega a los humedales ha descendido hasta 2007, alcanzando un valor mínimo de poco más de 200 euros por hectárea y año, repuntando ligeramente en 2008.

### Servicios culturales

El proceso creciente de despoblamiento del campo al que se ha asistido en Castilla-La Mancha en las últimas décadas, sumado al envejecimiento de la población rural, han provocado una progresiva e imparable pérdida de conocimientos y saberes tradicionales acerca de la flora y fauna local, así como de los aprovechamientos de los ecosistemas de los humedales.



**Imagen 5:** Mapa de las vías pecuarias (ocre) y red hidrográfica principal y humedales (azul) inventariados en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha. *Fuente: Elaboración propia*

La desaparición, por ejemplo, de la trashumancia y los cambios en las explotaciones ganaderas han privado de funcionalidad a la extensa red de cañadas en la región. Éstas servían de corredores ecológicos entre islas húmedas en un paisaje seco, que constituyen los humedales, en los que a menudo aparecen pastos naturales y afloramientos de agua subterránea que servían de abrevadero al ganado. En la Imagen 5 puede observarse cómo la red de vías pecuarias de Castilla-La Mancha enlaza entre sí los complejos de humedales de las áreas de montaña (Serranía de Cuenca, Montes de Toledo y Sierra Morena), corriendo paralelamente a las vegas y llanuras de inundación fluviales, e incluso enlazando también con los humedales de las partes bajas de la cuenca. Por esta red de cañadas no sólo se transportaban propágulos de plantas y animales adheridos al pelaje del ganado, sino también el conocimiento recogido durante milenios por los pastores, que constituían verdaderas enciclopedias errantes.

Este oficio era el depositario de un saber empírico que abarcaba desde el funcionamiento hidrológico de los humedales hasta su patrimonio botánico y farmacológico, de los que dependían animales y seres humanos para su propia supervivencia en las solitarias travesías en busca de pastos y agua. A ellos recurrían los científicos en busca de explicación de fenómenos insólitos, o para corroborar hipótesis, como observadores perpetuos del medio natural que complementan la siempre fragmentaria visión del investigador. Sin embargo, la transformación de la ganadería y el fugaz hiperdesarrollo socioeconómico de principios del siglo XXI han supuesto la práctica desaparición de esta fuente de conocimientos. Hoy en día resulta hasta difícil comunicarse con el menguado número de pastores que, cada vez menos y con menor intensidad, frecuentan el campo, originarios, en el mejor de los casos, de algún país de Europa del Este, cuando no del Norte de África y, en cualquier caso, apenas conocedores de lo acontecido durante unos pocos meses en el espacio de unas pocas hectáreas.

Procesos de este tipo están detrás de la alienación cultural, desconocimiento ecológico local y desarraigo con respecto a nuestros humedales. Con el cambio de usos, la deslocalización de la población y la rarefacción de oficios, se ha perdido la consciencia de la profunda impronta del uso humano que ha modelado directa o indirectamente comunidades, ciclos biogeoquímicos, suelos, hidrología y hasta los genotipos de muchos organismos que consideramos salvajes. No sorprende, pues, la ingenuidad demostrada por administraciones, científicos y particulares en la gestión, conservación y restauración de humedales, cuando interpretan la pretendida naturalidad del funcionamiento de estos ecosistemas.

No obstante, no todo son sombras en cuanto al potencial de mitigación del cambio global que tienen los servicios culturales de los humedales de Castilla-La Mancha. El número de visitantes que acuden a espacios naturales protegidos que incluyen humedales ha experimentado un crecimiento notable en las últimas décadas. Por ejemplo, las Tablas de Daimiel recibió 100.666 visitantes en 2006, pero en un año húmedo como 2010 recibió 216.715 visitantes sólo hasta el mes abril, de los cuales unos 80.000 se recibieron en tan sólo una semana. En paralelo, la democratización de la tecnología y las redes sociales acercan los "acontecimientos" naturales, y también los episodios de degradación, a amplios sectores de la población que hasta el siglo XXI permanecían ignorantes de información y actualidad que estaban reservadas para apenas un grupo selecto de especialistas y aficionados, a través de publicaciones impresas con escasísima difusión.

### **Adaptación al cambio climático en y con los humedales.**

Los humedales de Castilla-La Mancha son y han sido muy sensibles al cambio global. Por ello no sólo se ven y se han visto afectados por diversas expresiones del cambio climático, sino que han contribuido y pueden seguir contribuyendo al mismo, mitigándolo y/o agravándolo, fundamentalmente según la gestión que de ellos se haga. Además de la constatación y análisis de las interacciones pasadas, presentes y futuras entre los humedales castellano-manchegos y el cambio global, es muy relevante explicitar cómo pueden adaptarse estos ecosistemas, sus comunidades, especies y, por supuesto, la sociedad de la región, a escenarios de cambio global irreversibles, tanto si son previsibles como si son imprevisibles, en cuanto a

la variación de las precipitaciones, el aumento de la temperatura y la inestabilidad climática, que podrían estar causando ya perturbaciones en la dinámica natural de los humedales de Castilla-La Mancha, modificando los ciclos de materia, las redes alimentarias y las poblaciones de organismos, a veces originadas en zonas alejadas, incluso fuera del continente europeo.

Los resultados de investigaciones de miembros de la Sección de Humedales del CREA-UCLM, durante los últimos 30 años, en lagunas, llanuras de inundación y embalses de Castilla-La Mancha, permiten apreciar las adaptaciones al cambio global de estos ecosistemas y de sus comunidades, poblaciones, especies y la propia sociedad regional.

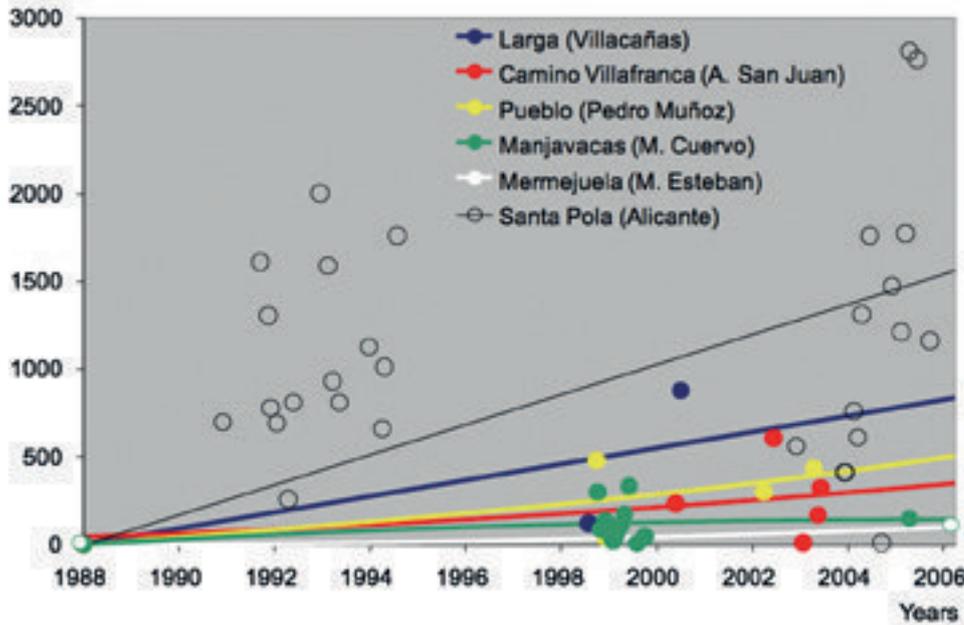
Las escalas de espacio y tiempo de las perturbaciones a las que ha sido preciso adaptarse son muy variadas, desde las transcontinentales a las microscópicas, y desde las décadas a los días, de cada una de las cuales se describe un modelo a continuación.

Un ejemplo de perturbaciones a gran escala es la sufrida por las poblaciones de flamenco común (*Phoenicopterus roseus*), el ave de mayor tamaño de los humedales de Castilla-La Mancha, con hasta 150 cm de altura, y un periodo reproductivo superior a los cuatro meses, incluyendo el cortejo, la construcción del nido, la puesta del huevo, su incubación, y el periodo necesario para que los pollos puedan volar.

Aunque existen registros de la presencia de individuos de flamenco común en nuestras lagunas desde hace siglos, la especie siempre ha sido esporádica en la región. Sus cuarteles de invierno son grandes lagos africanos, desde donde salen varias rutas migratorias a Europa, la más occidental de las cuales acaba en las marismas de la Camarga francesa, pasando por las marismas de Doñana, la Laguna de Fuente de Piedra (Málaga), y los humedales y salinas costeros del arco mediterráneo español. Las diferencias entre los humedales de la región y las localidades tradicionales para el flamenco son muy grandes: la extensión inundada, la profundidad del agua, la duración de la inundación, la disponibilidad de alimento y la estabilidad meteorológica son muy inferiores en los humedales de Castilla-La Mancha.

Sin embargo, las poblaciones de flamenco común en nuestra región no han dejado de aumentar desde los años 80 (Gráfico 4). Dada la falta de idoneidad del hábitat de los humedales castellano-manchegos para el flamenco, son varios los factores que han posibilitado esta situación, pero la causa principal es el cambio climático. En efecto, los especialistas han demostrado que las poblaciones de flamenco de grandes lagos africanos están en franco declive, por dos razones: i) directamente, por la pérdida de volumen debido al descenso de los aportes de agua y el aumento de la temperatura, que tiene un efecto multiplicativo en la disminución de perímetro inundado y, por lo tanto, de la disponibilidad de hábitat para el flamenco, y ii) indirectamente, a través de enfermedades y epidemias que diezman la población, favorecidas por el aumento de la densidad poblacional y de la escasez de recursos, y por la pérdida y degradación de la calidad del hábitat, derivados de i).

Lo curioso del caso es que la presencia del flamenco común sigue siendo testimonial en casi todos los humedales de Castilla-La Mancha, y se concentra en los que reciben vertidos de aguas residuales depuradas o sin depurar, como los del Gráfico 4, excepto la Laguna de Mermejuela (Miguel Esteban, Toledo), también recrecida artificialmente, pero por excedentes de riego ricos en nutrientes por los fertilizantes agrícolas. Estos vertidos garantizan valores de profundidad del agua, duración de la inundación y disponibilidad de "alimento" incrementados artificialmente, aunque todo ello supone un impacto para el resto de especies, comunidades y ecosistemas afectados, i) directamente, por la propia contaminación, e ii) indirectamente, al aumentar mortandades debidas a agentes patógenos tóxicos y, al alimentarse el flamenco común destruyendo el hábitat de muchos organismos de los humedales, dragando cráteres de dos metros de diámetro en el lecho de las lagunas con ayuda de sus largas patas, resuspendiendo el cieno, filtrando las partículas alimenticias con ayuda de su pico especializado, y separando el alimento con su lengua, proverbialmente musculosa.



**Gráfico 4:** Evolución entre 1988 y 2006 de las poblaciones de flamenco común (*Phoenicopterus roseus*) en sus principales localidades de la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda, en comparación con las de una de sus localidades tradicionales en España (las Salinas de Santa Pola, en Alicante). Fuente: *Elaboración Propia*

La situación es tal, que algunas poblaciones, como la de la Laguna de Manjavacas (Mota del Cuervo, Cuenca) se han “animado” a criar algunos años, con resultados catastróficos, ya que la incertidumbre natural del hidroperiodo de estos humedales no puede contrarrestarse por los aportes de aguas residuales, y en años secos pueden descender la profundidad y la superficie de inundación por debajo del umbral de los requerimientos de hábitat por el flamenco, a pesar del mantenimiento de los vertidos, arruinando puestas y/u ocasionando la muerte de los pollos.

Pero ésta no es la única amenaza de la incertidumbre meteorológica propia del clima de Castilla-La Mancha para la adaptación de la población global del flamenco común al cambio climático. Otra amenaza significativa son las tormentas de pedrisco, una de las cuales mató, en agosto de 2015, 300 adultos y pollos en la Laguna de Pétrola (Albacete), una de las mayores poblaciones de flamenco común de la región, además de herir a otros muchos. Estos episodios son habituales en los humedales de Castilla-La Mancha, y ya en 2010 fueron 80 los individuos muertos por otra granizada en la misma laguna.

Otra expresión del fenómeno es la alienación natural que grandes poblaciones de un ave tan conspicua provocan entre la población, en esta era de aprecio creciente por “lo natural” y el turismo verde, sólo comparable a la alienación cultural que representa nuestra adopción de celebraciones de origen anglosajón. Así, se han erigido monumentos en espacios públicos de varios pueblos, dedicados sorprendentemente al flamenco común (Imagen 6), proliferan muñecos de peluche o flotadores representando flamencos. Pero lo que es más grave, se adoptan medidas para conservar esta especie con presupuestos públicos, como ha ocurrido en marismas del Guadalquivir restauradas con parámetros de verdaderas “granjas” de flamenco, y cuyas consecuencias sufrimos en Castilla-La Mancha, pues el radio de vuelo diario de los jóvenes flamencos, que exploran ávidamente nuevas localidades, alcanza los 400-600 km

de distancia que separan las localidades tradicionales para el flamenco común en España del corazón de la Mancha Húmeda.

A escala microscópica es interesante fijarse en las comunidades de tapetes microbianos de la Laguna de Alcahozo (Pedro Muñoz, Ciudad Real), que se inunda temporalmente y cuya agua llega a alcanzar valores de salinidad superiores a los del agua de mar (hipersalina). Al menos entre 1985 y 1993, la laguna estaba dominada por una comunidad representada por un singular tapete microbiano caracterizado por la cianobacteria *Coleofasciculus chtonoplastes*, que cubría la totalidad de la superficie inundable de la laguna, sin acompañamiento de ningún tipo de macrófitas ni fitoplancton. Prácticamente no había fauna macroscópica, excepto una población de crustáceos branquiópodos con un efímero ciclo de vida, limitado a un corto intervalo de tiempo tras la inundación de la laguna. Desde 1996, los tapetes han desaparecido totalmente y la comunidad de productores primarios de la laguna ha sufrido un cambio radical, consistiendo exclusivamente en un herbazal sumergido común de *Ruppia drepanensis*, de escasa densidad. Además se han encontrado comunidades de animales acuáticos de muy pequeño tamaño (zooplancton) con una mayor diversidad, y es frecuente encontrar aves acuáticas.



**Imagen 6:** Escultura de bronce representando un flamenco levantando el vuelo en la fuente que ocupa una de las rotondas del acceso sur a Alcázar de San Juan (Ciudad Real). *Fuente: Elaboración propia*



**Imagen 7:** Corte transversal de una comunidad de tapetes microbianos de unos 4 cm de grosor, estudiada por la Sección de Humedales del CREA-UCLM con financiación de la JCCM, mostrando la característica estructura multicapa de distintos colores, cada uno de ellos correspondiente a un grupo funcional de microbios. *Fuente: Elaboración propia.*

Financiado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (JCCM), un proyecto realizado por miembros de la Sección de Humedales del CREA-UCLM investigó las causas de este cambio tan drástico, analizando muestras de sedimento e la laguna de hasta 40 cm de profundidad, datos de la química del agua de varias épocas desde mediados del siglo XX hasta la actualidad, la evolución hidrológica y de la dinámica de sedimentos, y los cambios de usos del suelo en la cuenca entre 1990 y 2000, lo que permitió apreciar un fenómeno sorprendente.

A mediados de siglo XX, la laguna tenía aguas menos salinas, con predominancia de carbonatos de calcio, como las de los pozos de la zona. Se han encontrado restos también de tallos de plantas acuáticas de 1

mm de diámetro y conchas de moluscos gasterópodos en el registro sedimentario que parecen corresponder a esa época y sería incompatible con aguas hipersalinas. La estructura multicapa característica de los tapetes microbianos, alternando color verde, negro y otros, sólo aparece en un par de decenas de centímetros subsuperficiales, mientras que los entre 5 y 10 centímetros más superficiales de sedimento se caracterizan por una estructura puramente granular.

El análisis de la hidrología superficial y subterránea de la laguna muestra que hacia mediados de siglo XX, la laguna recibía aportes de un manantial situado en una de las suaves laderas de su cubeta kárstica, pero este manantial está seco al menos desde 1985. Sin embargo, y (que se tenga constancia) al menos hasta 1993, la laguna seguía recibiendo aportes temporales de una surgencia de agua subterránea procedente de un pozo excavado para servir de abrevadero al ganado, situado en una de sus orillas. Con todo, lo más destacable es que el alto porcentaje de materia orgánica y de humedad de sus sedimentos era el más estable y menos variable de las lagunas temporales de la Mancha Húmeda y otras lagunas temporales españolas y del resto del mundo, incluso en la época de desecación superficial, lo que parece coherente con la dominancia de la comunidad de tapetes en ese periodo. Por otro lado, el análisis de las series de precipitación en 24 h muestra que entre 1993 y 1996 ocurrieron 5 episodios de intensas lluvias de entre 32 y 56 mm.

Finalmente, los cambios de usos del suelo en la cuenca entre 1990 y 2000 se limitan a la transformación de una pequeña superficie de viñedo en tierra arable.

Las conclusiones del análisis de las causas de la drástica perturbación sufrida por la laguna es que la conjunción de cambios de usos del suelo y de episodios de tormentas puede haber ocasionado una fuerte pérdida de suelo que ha ido a parar a la laguna y ha enterrado los tapetes debajo de una capa de entre 5 y 10 cm de sedimentos. Sin embargo, se realizó un experimento de laboratorio con mesocosmos (reproducciones a escala de las comunidades y procesos de la laguna, que son sometidos a distintos tratamientos) para contrastar si este proceso fue más o menos importante que la pérdida de aportes de agua subterránea a la laguna, que podría haber provocado un aumento de la inestabilidad del medio sedimentario y hacer inviable el mantenimiento de tapetes microbianos.

El experimento, se realizó en una cámara climática con sedimentos de la laguna sometidos a dos tratamientos: 1) Sedimentos actuales vs. sedimentos de la época de los tapetes, y 2) Inundación corta vs. inundación larga. En cada réplica se realizaron mediciones de microperfiles verticales (medidas en serie a varios intervalos de profundidad, medidos en micras) de oxígeno y pH, cuantificando el metabolismo de oxígeno (como subproducto de la fotosíntesis y, por lo tanto, de la mejor organización de las comunidades del tapete), a lo largo de varias semanas.

Los resultados mostraron que, en las condiciones favorables de cultivo (ausencia de viento, temperatura óptima para el crecimiento y estable, buena iluminación, suministro de agua y nutrientes, etc.), aunque las réplicas de todos los tratamientos desarrollaron comunidades de tapetes microbianos, sólo las réplicas de tapetes "enterrados" y puestos a cultivar desarrollaron comunidades bien organizadas, gruesas y muy activas, independientemente del hidroperiodo al que fueron sometidas, y muy por encima de las réplicas con el actual sedimento superficial de la laguna.

Este caso de estudio ilustra, además de una profunda perturbación territorial y paisajística debida al cambio global, un modelo de adaptación ecosistémica al mismo. En efecto, la Laguna de Alcahozo ha sobrevivido a décadas de una combinación de impactos derivados del cambio climático, de los cambios de usos y de la sobreexplotación de acuíferos, transformando sus comunidades. Sin embargo, los propios sedimentos de la laguna conservan el germen necesario para la reversión de dichos cambios, mediante actuaciones mínimas sobre sus causas directas.

Otro modelo de adaptación al cambio climático es el que representan perturbaciones a una escala temporal de días, en lugar de décadas o años, como en los casos de estudio anteriores. Es el caso, por ejemplo,



**Imagen 8:** Detalles del bloom de la cianobacteria *Aphanizomenon flos-aquae* registrado en 2011 en el Embalse de Gasset (Ciudad Real), mostrando la característica coloración verdeazulada y la densa nata flotante que forma la población de la especie. Fuente: *Elaboración propia*.

de las explosiones demográficas (blooms) de cianobacterias del fitoplancton (algas microscópicas que viven en la columna del agua) de humedales y embalses (Imagen 8). Estas explosiones demográficas son comunes en aguas eutrofizadas de toda Castilla-La Mancha (ricas en nutrientes y/o materia orgánica), normalmente contaminadas, y siempre en la estación cálida, y pueden ir seguidas, en algunos casos, de la segregación de cianotoxinas por los microorganismos responsables del bloom, compuestos naturales que pueden tener efectos neurotóxicos, hepatotóxicos, gastrointestinales, dermatológicos y otros para las personas y animales. Lo que es raro, incluso en el resto del mundo, es que un bloom de cianobacterias ocurra en pleno invierno, en aguas mesotróficas, como las de algunos embalses de abastecimiento de agua, y esté protagonizado por especies exóticas.

Aunque los protocolos de potabilización de aguas incluyen determinar la concentración de toxinas en el agua de embalses, no abarcan todas ellas, son inespecíficos y/o se aplican arbitrariamente. En este sentido, la predicción, seguimiento y control de la fitotoxicidad se beneficiarán de la caracterización de las condiciones ambientales óptimas en las que este fenómeno tiene lugar cuando ocurre un bloom de cianobacterias.

En el caso que nos ocupa, el Servicio de Calidad de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Guadiana ha acometido el reconocimiento intensivo del estado de las masas de agua de embalses de abastecimiento y uso recreativo desde 2006. Ello permitió a miembros de la Sección de Humedales del CREA-UCLM registrar las condiciones ambientales durante sendos blooms singulares de cianobacterias en los embalses polimícticos de Gasset y El Vicario (Ciudad Real, España).

El primero de ellos, mesotrófico, se ubica aguas arriba del segundo y se usa para abastecimiento, riego, abrevadero y pesca recreativa. En el invierno de 2010-2011 ocurrió en Gasset un bloom dominado por *Aphanizomenon flos-aquae*, especie que sufre colapsos poblacionales que se han relacionado con fotoxidación y toxicidad por O<sub>2</sub>, psicrófila (amante del frío, capaz de vivir por debajo de 5 °C) y alelopática incluso en su forma no tóxica (excreta compuestos que excluyen la competencia por otras algas). El Vicario varía entre eutrófico e hipereutrófico, y se usa para riego y pesca recreativa. A finales de verano de 2009 sufrió un bloom con prevalencia de *Cylindrospermopsis raciborskii*, especie cada vez más frecuente en aguas templadas, aunque se consideraba propia de aguas subtropicales. Ambas especies pueden producir cianotoxinas que los protocolos de seguimiento no consideran. Otra singularidad es que ambos embalses sufren con cierta frecuencia mortandades masivas de peces, fundamentalmente carpín (*Carassius auratus*). Uno de estos episodios ocurrió tras el bloom de cianobacterias descrito en El Vicario, llegándose a recoger 80 toneladas de peces muertos, lo que equivale a la producción de una piscifactoría de ciprínidos, contada desde el anterior episodio de mortandad masiva de peces, ocurrido dos años antes.

Las condiciones meteorológicas antes, durante y después de uno y otro bloom diferían radicalmente, como es obvio entre invierno y verano en el clima mediterráneo continental. Sin embargo, el inicio de cada bloom y su colapso fueron anteceditos de súbitos cambios en la radiación solar, y ambos blooms ocurrieron tras un periodo de estabilidad atmosférica, incluyendo tres episodios de heladas en Gasset, resiliente a una serie de episodios tormentosos. También en ambos casos, la tasa de renovación fue virtualmente inexistente en un largo periodo previo, con un tiempo de residencia de casi 4 años en Gasset, debido a la dotación para abastecimiento, y muy superior en El Vicario.

En estas condiciones se produjo en ambos casos el afloramiento de aguas profundas, con una respuesta desigual en cada caso, pues mientras en Gasset la oxigenación de la columna de agua aumentó hasta el colapso del bloom, en paralelo al aumento de la concentración de nutrientes (nitrato, nitrito y amonio, el primero de ellos en un orden de magnitud – 6 mg/l, frente a una media anual de 0.4 mg/l –), la explosión de crecimiento de *C. raciborskii* en El Vicario estuvo acompañada de anoxia en la columna de agua y de un aumento tal de la concentración de ácido sulfhídrico, que el olor a huevos podridos era patente a kilómetros de distancia de este embalse, en la litología de cuya extensa cuenca abundan yesos y margas yesíferas, frente a la litología cuarcítica de la modesta cuenca de Gasset.

Desde el punto de vista de la gestión, fases críticas de episodios como los aquí documentados hubieran pasado desapercibidos hasta detectarse las espectaculares acumulaciones de nata verdeazulada inmediatamente anteriores al colapso del bloom, cuando ya es tarde para evitar los efectos hepatotóxicos, neurotóxicos, carcinogénicos y otros de las cianotoxinas eventualmente producidas. Por lo tanto, nuestra adaptación a estos procesos derivados del cambio climático requiere seguir financiando las redes de seguimiento del estado de nuestras masas de agua, en lugar de tener que hacer cuantiosas inversiones en actuaciones de emergencia, tratando los síntomas, no las causas. Además, el seguimiento no puede detenerse tras los episodios de aguas claras que suceden al colapso de los blooms, puesto que una vez que aparecen, las poblaciones de especies como las aquí documentadas permanecen en aguas profundas, hasta que se dan las condiciones óptimas para el siguiente bloom.

### Síntesis, perspectivas y conclusiones.

La primera conclusión que cabe deducir de las experiencias de la Sección de Humedales del CREA-UCLM desde hace más de 30 años, es la necesidad de financiar de manera continuada una monitorización

a largo plazo de las interacciones entre los humedales, el territorio en que se encuentran, y el cambio climático. De otra manera, no sólo ignoraríamos la incidencia del mismo en los humedales de la región, despreciando lo establecido en el Programa MAB de la UNESCO, sino que careceríamos de una estrategia de mitigación de sus efectos y de adaptación al mismo, al faltar la comprensión de los procesos correspondientes y de las posibles respuestas a los mismos.

La evaluación del cambio global en los humedales de Castilla-La Mancha permite afirmar que la destrucción y degradación de muchos de ellos, fundamentalmente a lo largo del siglo XX, ha supuesto el incremento del 6% de las emisiones de gases de efecto invernadero en la región. La buena noticia es que la restauración ecológica de humedales puede revertir esa situación.

Algunos de los impactos derivados del cambio global, como la urbanización de la cubeta de los humedales, pueden parecer irreversibles e inviables tanto técnica como económicamente, pero hay que tener en cuenta las pérdidas que regularmente ocasionan episodios de precipitaciones en las áreas urbanas que usurpan estos terrenos húmedos, además de las perspectivas de aumento de la frecuencia y de la intensidad de dichos episodios, según los escenarios de cambio climático universalmente admitidos.

Siguiendo con los criterios económicos, los humedales se han revelado como herramientas trascendentales de mitigación del cambio climático, considerando tanto sus servicios de abastecimiento (por ejemplo, aumentando en un 20% la dotación de agua para riego en una situación de sequía en zonas regables situadas aguas debajo de una llanura de inundación sin desecar) o de regulación (por ejemplo, suponiendo un ahorro mínimo en depuración del agua equivalente a 10 millones de euros por hectárea y año, cifra que podría multiplicarse por 10 si se recuperara la superficie perdida de humedales en Castilla-La Mancha), a lo que habría que añadir la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero por el aumento de la superficie húmeda y por la disminución en el uso de energía para la depuración).

Pero además de los beneficios económicos frente a las perturbaciones del cambio climático, los humedales de la región son depositarios de un patrimonio natural y cultural únicos en el mundo, como prueba la Reserva de la Biosfera de la Mancha Húmeda declarada por la UNESCO en 1980, pero no limitados a la misma. En realidad, los diversos complejos de humedales castellano-manchegos, sus comunidades y poblaciones de organismos, especies y acervo cultural tradicional y contemporáneo se estructuran en redes de humedales interconectados por flujos de agua, genéticos y de información, cuya integridad ecológica y cultural es la única garantía para una percepción plena por las gentes de Castilla-La Mancha del cambio climático y de la necesidad de responder al mismo, frente a la alienación hidrológica y natural que ha empezado a afectarnos, y cuyo resultado seguro es el desierto en la lucha contra el cambio climático.

En este sentido, la adaptación al cambio climático en Castilla-La Mancha puede beneficiarse de multitud de historias de éxito, buenas prácticas a seguir, pero también de fracaso, que se refieren a los humedales, como ecosistemas muy sensibles al cambio climático a distintas escalas de espacio, tiempo y nivel de organización, y en los que ya se han apreciado abundantes ejemplos de estrategias a seguir para paliar los efectos del cambio global que no sea posible mitigar.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos CLIMAWET “Mitigación y adaptación al cambio climático en los principales tipos de humedales mediterráneos ibéricos: balances de carbono y modelos de respuesta de especies y hábitats, CGL2015-69557-R” (IP Antonio Camacho – Universidad de Valencia) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional - FEDER “Una manera de hacer Europa”, y MAT “Amenazas y oportunidades del cambio global para la Mancha Húmeda. Biodiversidad, restauración y aplicaciones de los tapetes microbianos, PEI-2014-005-P” (IP Máximo Florín – Universidad de Castilla-

La Mancha), financiado por la Consejería de Educación, Cultura y Deportes, Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, y por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional - FEDER "Una manera de hacer Europa".

### Bibliografía:

- FLORÍN M (1999) Funciones y valores de los humedales manchegos. *Quercus* 163: 10-18.
- FLORÍN M (2013) Saline lakes. En: Salem Press (ed) *Biomes and Ecosystems: An Encyclopedia*, ISBN 978-1-4298-3813-9: 81-86.
- FLORÍN M (2013) Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EME) y los Humedales Esteparios. En: Aguirre, E.; del Río, A.; Espiñeira, J. y Fernández, F. (eds). *Encuentro Internacional de Expertos en Humedales y Estepas Salinas. Conclusiones. Proyecto LIFE 10NAT000563*: 14-15.
- FLORÍN M, GOSÁLVEZ RU, MUÑOZ EM, CHICOTE Á & LAGUNA C (2014) Advances in high water modelling to improve climate change adaptation, flood risk reduction and stormwater management. En: Sáez, F.J.; Jiménez, E.; Sánchez, L. (eds) *E2KW 2014 - Proceedings of the Energy and Environment Knowledge Week 2014*, ISBN 978-84-697-1162-0: 115-117.
- FLORÍN M & MONTES C (1999) Functional analysis and restoration of Mediterranean lagunas in the Mancha Húmeda Biosphere Reserve (Central Spain). *Aquatic Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.* 9: 97–109.

