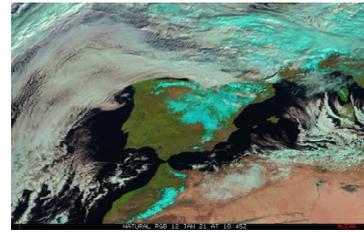
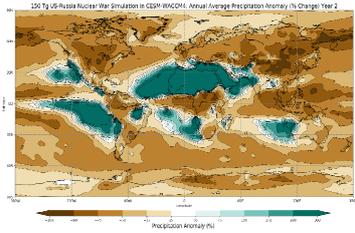
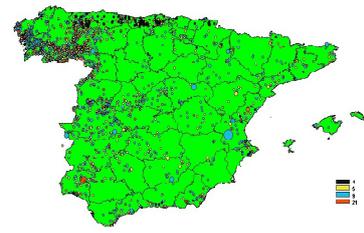
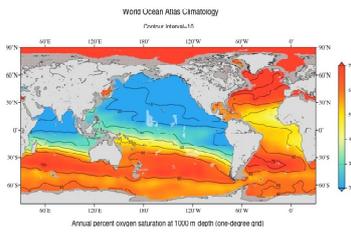
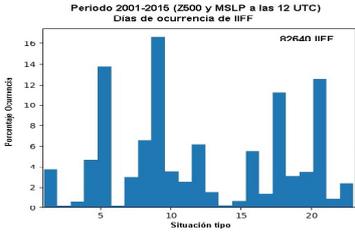
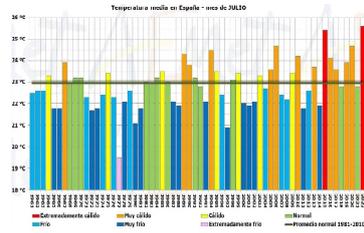
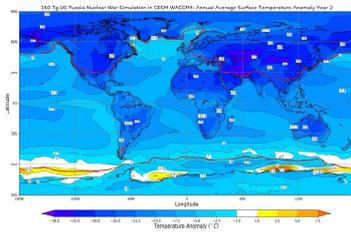
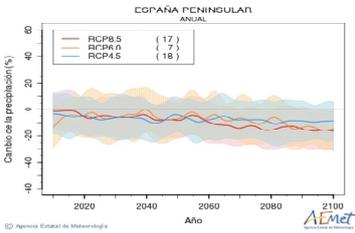
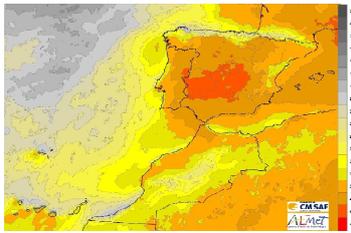
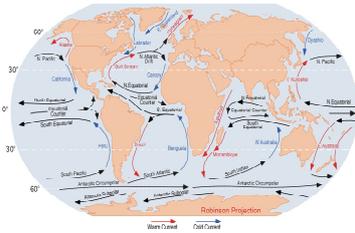
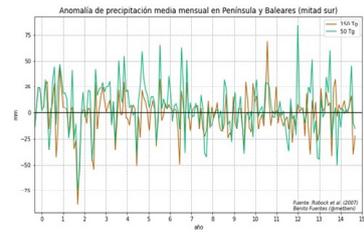
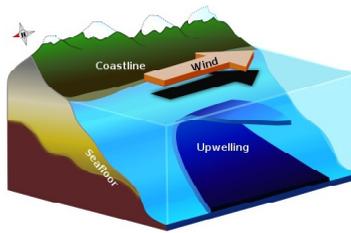


Selecciones del blog

AEMet 2022



Este documento contiene una selección de algunos de los mejores artículos publicados en el blog de AEMET durante 2022. Los artículos han sido adaptados ligeramente para su publicación en esta selección.



El blog oficial de la Agencia Estatal de Meteorología

<https://aemetblog.es>

Las opiniones, observaciones, interpretaciones y conclusiones expresadas en los artículos de esta publicación son las de sus autores y no reflejan necesariamente las de AEMET.



Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización

Edita:

© Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
Agencia Estatal de Meteorología
Madrid, 2023

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:
<https://cpage.mpr.gob.es>

NIPO: 666-20-025-9
<https://doi.org/10.31978/666-20-025-9.2022>

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)
C/ Leonardo Prieto Castro, 8
28040 Madrid

<http://www.aemet.es/>



@Aemet_Esp



<https://www.facebook.com/AgenciaEstataldeMeteorologia>

Selecciones del blog

AEMet 2022

Índice

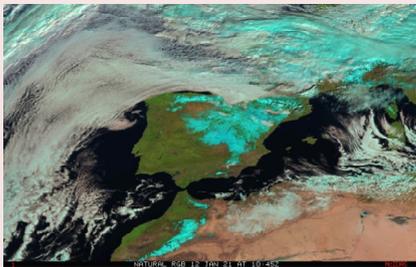
<i>¿Física de fluidos o cabañuelas?,</i> por Delia Gutiérrez Rubio	5
<i>¿Qué podemos contarte en AEMET sobre la sequía?,</i> por Delia Gutiérrez Rubio	10
<i>Patrones sinópticos en la península ibérica y Baleares y su relación con los incendios forestales,</i> por Peio Oria Iriarte	18
<i>¿Temperaturas al sol y a la sombra? ¿Cómo se mide la temperatura en una estación meteorológica?,</i> por Ricardo Torrijo Murciano, Alejandro Lomas González y José Antonio López Díaz	25
<i>Verano de 2022: el más cálido en España hasta finales de julio,</i> por José Ángel Núñez Mora y Rubén del Campo Hernández	30
<i>El invierno nuclear,</i> por Benito José Fuentes López	36
<i>¿Cómo se mueven los océanos y cómo influye esto en el clima?,</i> por Enrique Fernández Barrera	46
ÍNDICE ALFABÉTICO DE AUTORES	53

¿FÍSICA DE FLUIDOS O CABAÑUELAS?

Delia Gutiérrez Rubio
Meteoróloga de AEMET



(publicado en el blog de AEMET
el 18 de enero de 2022)



Tras el fuerte impacto de la [borrasca Filomena](#) el pasado invierno, la pregunta estaba en el aire: ¿viviríamos «otra Filomena» este mes de enero?

En la imagen satelital del 12 de enero de 2021 se aprecia, en colores azulados, la enorme extensión peninsular cubierta de nieve y hielo.

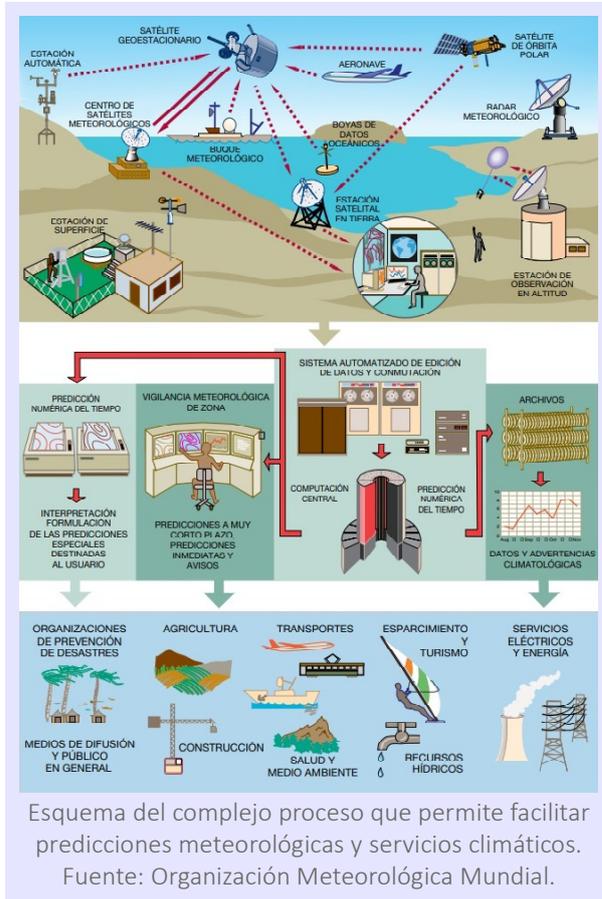
Hace un par de meses ya anticipábamos [en este post](#) que, desde un punto de vista meramente estadístico, teniendo en cuenta simplemente los episodios de fuertes nevadas registrados en el pasado, y sin entrar en ningún tipo de análisis de la dinámica atmosférica, la probabilidad de que un episodio así ocurriera de nuevo este invierno era sumamente baja.

Sin embargo, en las últimas semanas algunos medios se han venido haciendo eco de una alarmante predicción que vaticina la ocurrencia de un episodio similar, e incluso le asigna una fecha muy concreta: el próximo lunes 24 de enero. Pero, ¿en qué se basa esta predicción? Al parecer está basada en las tradicionales [cabañuelas](#), un método predictivo sin ninguna base científica, que forma parte del folclore popular en zonas rurales de España. Si bien la capacidad de observación de la naturaleza y la sabiduría popular que atesoran las personas en el mundo rural es enormemente valiosa y les permite adaptar su forma de vida al medio local con éxito, tenemos que señalar que las cabañuelas, en particular, no son más que una superstición y que, como debería ser obvio, no tiene ningún sentido ni fundamento pensar que el tiempo que ocurra en los 12 primeros días de agosto nos permite saber qué ocurrirá en los 12 meses del siguiente año.

Entonces, ¿por qué en pleno siglo XXI, en una sociedad desarrollada técnica y científicamente, resulta tan atractivo el *pensamiento mágico* y prende con tanta facilidad un bulo como este? Quizás nos faltan tanto la formación para entender el complejo funcionamiento de la sociedad tecnificada en la que vivimos, en la que todo parece ocurrir «por arte de magia», como el contacto con la naturaleza que nos permita entender sus leyes y asimilar la información científica como algo cercano, tangible y real.

La predicción meteorológica científica

La predicción que cualquier servicio meteorológico avanzado del mundo realiza se basa en modelos numéricos que resuelven con técnicas supercomputacionales las ecuaciones físicas que describen el comportamiento del fluido atmosférico. Las observaciones que



alimentan estos modelos numéricos provienen de un complejo sistema de observación atmosférica que recoge datos de estaciones meteorológicas, radares, sensores de rayos, observaciones satelitales, sondeos aerológicos, sensores a bordo de aeronaves, etc. Estos datos se integran en un análisis de la situación atmosférica inicial, a partir del cual los modelos calculan la evolución física del sistema. La resolución de las ecuaciones diferenciales atmosféricas se realiza por cálculo de elementos finitos, que requieren trillones de operaciones a resolver en sucesivas iteraciones. El sistema de supercomputación de AEMET se basa en el [superordenador Cirrus](#), que es el segundo más grande de España tras el Mare Nostrum del CNS-BSC. En este superordenador se procesan los modelos numéricos, dando como resultado, tras un posproceso informático, los «mapas del tiempo» y demás productos que las y los profesionales de AEMET analizan e interpretan.

La física del caos en la predicción meteorológica

Entonces, si podemos determinar el estado de la atmósfera en un momento dado, y conocemos las leyes físicas que gobiernan su evolución, ¿la predicción meteorológica es una ciencia exacta que permite determinar con precisión la situación atmosférica futura en cualquier momento y lugar?

Como ya te estabas imaginando, la respuesta es que no. La atmósfera es un sistema físico de los denominados caóticos. Esto significa que un pequeño cambio en las condiciones en un instante determinado se va ampliando en el tiempo, de tal manera que, partiendo de condiciones muy parecidas, el sistema puede acabar en estados completamente diferentes, lo que a veces se explica con la metáfora de que *el aleteo de una mariposa en Japón puede dar lugar a un huracán en el Caribe*. Para contarte al detalle todo lo que esto implica de cara a la predicción meteorológica te recomendamos [esta publicación](#) de AEMET, fruto del titánico esfuerzo de nuestro compañero Carlos Santos Burguete por poner al alcance de todas las personas interesadas un completo y exhaustivo compendio del estado de la predicción meteorológica moderna.

En ese caso, ¿cómo puede ser útil una predicción meteorológica?, ¿hasta qué plazo podemos fiarnos?, ¿tiene sentido hacer proyecciones climáticas a muy largo plazo? Si quieres hacerte una idea, pero no tienes tiempo de leer «el [libro gordo de Burguete](#)» entero, te recomendamos esta asequible [introducción](#). De la misma, destacamos algunas ideas esenciales:

- Al aumentar el plazo de predicción, necesariamente tenemos que perder nivel de detalle. Es decir, si para mañana podemos hacer una predicción detallada hora a hora para cada localidad de España, para dentro de diez días solo podemos tener una visión de conjunto de la posible evolución a lo largo del día en grandes áreas del país y, si nos referimos a las proyecciones climáticas para dentro de 50 años, tendremos que hablar de promedios temporales y espaciales a nivel global o en grandes regiones del planeta.
- La predicción meteorológica moderna no se conforma con calcular un único escenario previsto (predicción determinista), sino que se basa en analizar un conjunto de escenarios posibles, y en atribuir un grado de probabilidad a cada uno de ellos, de modo que facilita al usuario final una valiosa información: el nivel de confianza de una predicción.

Si bien todo el mundo prefiere *a priori* una predicción determinista («el día 24 ocurrirá una nueva Filomena») a una información probabilística («es muy poco probable que este año se repita una Filomena»), lo cierto es que, bien entendida, la información probabilística es mucho más honesta y completa, refleja todos los escenarios y riesgos posibles, y permite tomar decisiones con la mejor información que la ciencia actual puede ofrecer.

¿Filomena sí o Filomena no?

Y, después de todo esto, ¿qué va a pasar el día 24? ¿Tendremos o no otra Filomena? Definitivamente, todo parece indicar que no podríamos estar más lejos de un escenario de nevadas, mucho menos de uno de nevadas abundantes y generalizadas el próximo lunes. La predicción para España para los días 24, 25 y 26 (lunes, martes y miércoles) actualizada hoy día 18 y publicada en [AEMETweb](#) dice así:

Con algo de incertidumbre al respecto, parece probable que durante estos días un anticiclón situado al norte de la Península continúe enviándonos vientos de componente este relativamente fríos y secos, dejando únicamente cielos nubosos y alguna precipitación débil y dispersa en el área mediterránea, con levante fuerte en el área del Estrecho. En el resto de la Península predominaría un tiempo seco y soleado, con pocos cambios térmicos, manteniéndose las heladas en el interior, más intensas en la mitad norte. También parece probable que alguna baja situada al oeste o noroeste de Canarias afecte al archipiélago con vientos del suroeste y precipitaciones, quizá de cierta importancia. La evolución de esta baja es difícil de prever. En principio, se desplazaría hacia el norte perdiendo actividad, dejando, si acaso, algunas precipitaciones débiles en el suroeste peninsular.

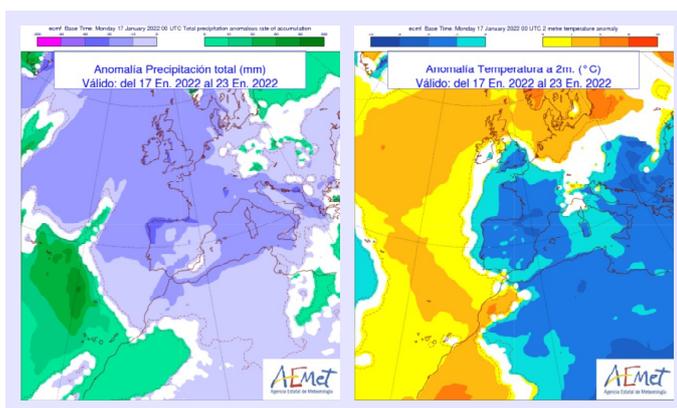
Actualización de la predicción para las próximas tres semanas

Semanalmente AEMET publica una predicción del carácter de las temperaturas y precipitaciones previstas en las tres semanas siguientes. Esta predicción de carácter probabilista se elabora cada viernes a partir del [Sistema de Predicción por Conjuntos](#) del [Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo](#), y se actualiza cada lunes. A continuación revisamos el carácter previsto para las tres próximas semanas para comprobar que, al menos en las dos primeras, seguimos sin detectar señales de ningún episodio generalizado de nevadas adversas en España y, muy al contrario, sí observamos que avanza el invierno sin que veamos atisbos de las ansiadas precipitaciones que pudieran paliar el importante [déficit actual](#).

En las figuras que siguen se representan los mapas de anomalías respecto de la climatología de 20 años del modelo de predicción del Centro Europeo (VarEPS-Mensual), de los valores medios semanales de dos variables meteorológicas: la temperatura a 2 metros (T2m) en °C y la precipitación total (PCP) en mm. Utilizando técnicas estadísticas se blanquean aquellas áreas donde la serie de valores previstos del VarEPS-Mensual no es significativamente diferente de la serie de los valores de la climatología del modelo.

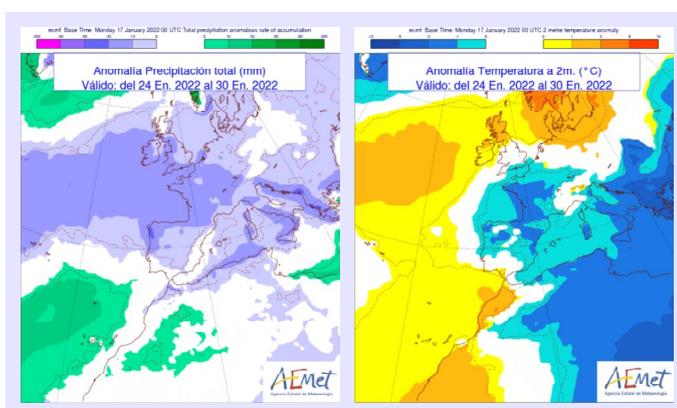
Semana del 17 al 23 de enero

La semana se presenta más seca de lo normal (tonos lilas en el mapa de la izquierda) en casi toda España, salvo Canarias, y también en el oeste y sur de Europa. Predomina la señal de temperaturas inferiores a las normales (tonos azules en el mapa de la derecha) en Península y Baleares, así como en el sur de Europa y norte de África, mientras que la señal es cálida (tonos ocres) en el norte de Europa, así como en el Atlántico y Canarias.



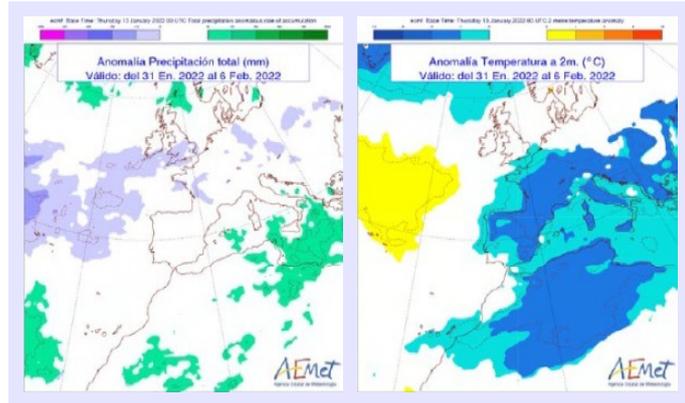
Semana del 24 al 30 de enero

En cuanto al carácter de las precipitaciones, se reduce la señal seca, que no obstante sigue afectando a la mayor parte de la Península, mientras que persiste cierta señal húmeda en el archipiélago canario. En cuanto al carácter de las temperaturas, se mantiene, aunque más débil, la señal fría en buena parte de la Península y Baleares, así como en todo el entorno mediterráneo y en el norte de África, mientras que apenas cambia la señal cálida sobre el Atlántico, Canarias y norte europeo.



Semana del 31 de enero al 6 de febrero

Aumenta la incertidumbre en cuanto al carácter de las precipitaciones y casi desaparecen las señales (mapa en blanco), mientras que se mantiene el carácter frío de las temperaturas en casi toda España, sur de Europa y norte de África.



Nota: Las tendencias mensuales se obtienen a partir de los productos del modelo de predicción mensual del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo. Estas predicciones están sujetas a incertidumbres que, por un lado, se incrementan al aumentar el plazo de predicción y, por otro, son más elevadas cuando se realiza una interpretación de los productos a escala regional, sobre zonas de tamaño relativamente reducido.

¿QUÉ PODEMOS CONTARTE EN AEMET SOBRE LA SEQUÍA?

Delia Gutiérrez Rubio
Meteoróloga de AEMET



(publicado en el blog de AEMET
el 19 de febrero de 2022)



La inquietud sobre la sequía aumenta en España. Como explicamos en nuestro [Meteoglosario](#), «la sequía consiste en una anomalía transitoria, más o menos prolongada, caracterizada por un periodo de tiempo con valores de las precipitaciones inferiores a los normales en el área. La causa inicial de toda sequía es la escasez de precipitaciones (sequía meteorológica), lo que deriva en una insuficiencia de recursos hídricos necesarios para abastecer la demanda existente (sequía hidrológica)». Dicho de otro modo, en AEMET nos ocupamos del agua «hasta que llega al suelo» y, a partir de ahí, son otros los organismos competentes para valorar la situación de los recursos hídricos. En la imagen, el embalse de Lindoso, en la frontera entre España y Portugal, sumergió en 1992 al poblado de Aceredo en Galicia. Tres décadas después, la sequía ha dejado al descubierto los restos del poblado. Fuente: [BBC](#).

Además de la sequía meteorológica y de la hidrológica, ya mencionadas, se habla de *sequía agrícola*, entendida como déficit de humedad para satisfacer las necesidades de un cultivo —y que depende, por tanto, del tipo de cultivo— y de *sequía socioeconómica*, que consiste en la afección de la escasez de agua a las personas y a la actividad económica. Más información sobre los tipos de sequía [aquí](#).

Ahora bien, para poder precisar el momento de inicio y finalización y la intensidad de la sequía, no hay una definición de sequía universalmente aceptada, pues difiere de un lugar a otro, e incluso cada usuario del agua tiene su propia concepción. La literatura científica contempla más de 150 definiciones operativas de sequía diferentes.

Para adaptarnos a las distintas necesidades de las personas usuarias de nuestros servicios, en AEMETweb te ofrecemos una variedad de productos que te informan de las precipitaciones acumuladas y la situación de déficit de precipitaciones. Vamos a guiarte para que puedas encontrar e interpretar todos estos productos.

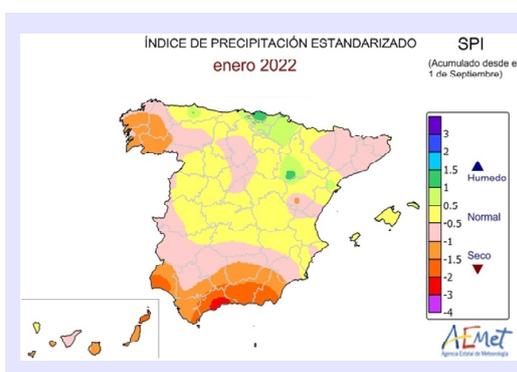
Índice de precipitación estandarizado

Mensualmente, en AEMET se calcula el *índice SPI* (índice de precipitación estandarizado), que permite cuantificar y comparar las intensidades de los déficit de precipitación entre zonas con climas muy diferentes, y además tiene la propiedad de que puede integrarse sobre un amplio rango de escalas temporales, lo que hace que pueda ser utilizado como indicador de diferentes tipos de sequía, tanto aquellas que son de corta duración y que producen efectos principalmente sobre los sectores agrícola, forestal y pecuario, como para caracterizar sequías climáticas de larga duración conducentes a sequías hidrológicas.

El SPI fue desarrollado por el investigador estadounidense McKee en 1993. Es un índice normalizado que representa la probabilidad de ocurrencia de una cantidad de lluvia, comparada con la climatología de precipitación en una cierta localización geográfica para un periodo largo de referencia. Su valor numérico representa el número de desviaciones estándar de la precipitación caída a lo largo del periodo de acumulación de que se trate respecto de la media, una vez que la distribución original de la precipitación ha sido transformada a una distribución normal. **Los valores negativos representan un déficit de precipitación mientras que los valores positivos indican un superávit de lluvia.** La intensidad de un evento de sequía se puede clasificar de acuerdo con la magnitud del valor negativo del SPI, de forma que, cuanto mayores sean los valores absolutos del índice negativo, más serio será el evento. De este modo se define una escala de valores que se agrupa en tramos relacionados con el carácter de la precipitación.

Este índice nos permite establecer también el criterio para definir un periodo de sequía: se dice que *tiene lugar un periodo seco cuando el SPI presente una secuencia continua de valores negativos, iguales o inferiores a -1, y se considera que este evento no llega a su fin hasta el momento en que dicho índice vuelve a tomar un valor positivo.* Esta definición permite caracterizar cada periodo seco de acuerdo a su **duración, intensidad y magnitud**. La **duración** del evento la determina la longitud del periodo en el que los valores del SPI cumplen el requisito de ser inferior a -1. La **intensidad** del mismo viene determinada por el máximo valor negativo que el SPI alcance dentro del periodo seco analizado. Finalmente, su **magnitud** viene dada por la suma de los valores del SPI correspondientes a todos los meses comprendidos dentro del periodo seco considerado.

En la tabla disponible [aquí](#) se pueden encontrar los valores del índice SPI en una serie de estaciones de AEMET, para un conjunto de periodos de acumulación de la precipitación que van de 1 a 24 meses.



Índice SPI acumulado desde el 1 de setiembre (inicio del [año agrícola](#) o año hidrometeorológico) hasta enero de 2022. Los primeros cinco meses del año agrícola han sido secos (SPI < -1, en tonos ocre) en los extremos noroeste y sur peninsulares y en casi todas las islas Canarias. En [esta sección](#) de nuestra web puedes encontrar, además de este, mapas que representan la distribución, en el ámbito del territorio nacional, de los valores del SPI, para los siguientes periodos de acumulación de la precipitación: 1, 3 y 6 meses; 1, 2 y 3 años.

Monitor de sequía meteorológica

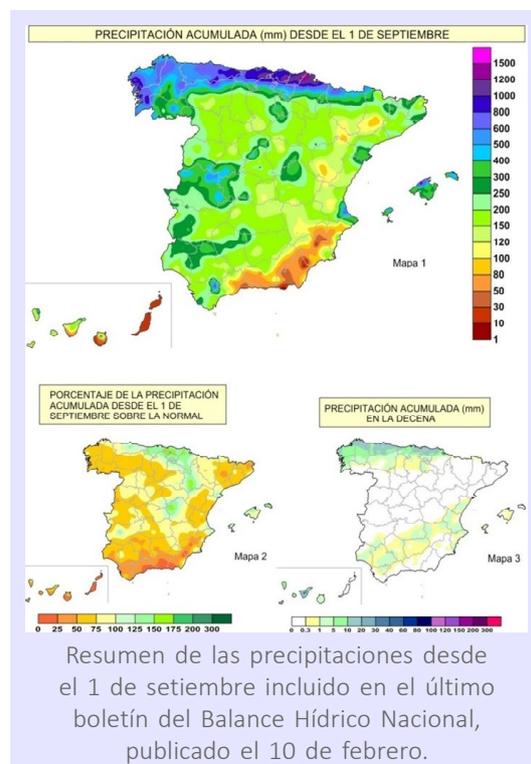
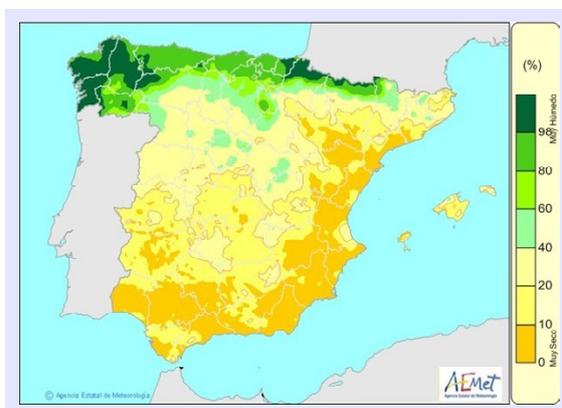
Más recientemente, AEMETweb también facilita el acceso al [monitor de sequía meteorológica](#), desarrollado por el CSIC a partir de datos de las estaciones meteorológicas automáticas de la Red de AEMET y del [SiAR](#), que se presentan sobre un mapa navegable. La información se actualiza semanalmente, y tiene también la ventaja de que se puede consultar el estado de la sequía meteorológica a partir de dos índices climáticos: el *Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)*, que, como hemos explicado anteriormente, se obtiene con datos de precipitación, y el *Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizado (SPEI)*, que utiliza datos de precipitación y [evapotranspiración](#) (demanda de agua por parte de la atmósfera). Se aporta la información de los índices a diferentes escalas temporales (1, 3, 6, 9, 12 y 24 meses). Además, el monitor permite la visualización de los mapas de toda la base de datos histórica, desde 1961, y también la selección de un punto concreto, del que se puede visualizar y descargar la serie del índice de sequía meteorológica.



Serie temporal del índice SPEI en una ubicación que corresponde a la ciudad de Córdoba. Los periodos de sequía son aquellos en los que el índice toma valores inferiores a -1 , y no se considera que se ha salido de la sequía hasta que el índice vuelve a tomar valores positivos.

Balance hídrico

El proceso de evaluación diaria del [balance hídrico](#) proporciona parámetros relativos a tres variables —*precipitación, evapotranspiración potencial y humedad de suelo*— de los que se muestra su distribución en todo el territorio nacional en diferentes mapas que se actualizan cada siete días, y de forma resumida en el [Boletín Hídrico Nacional](#), que se actualiza cada diez días.



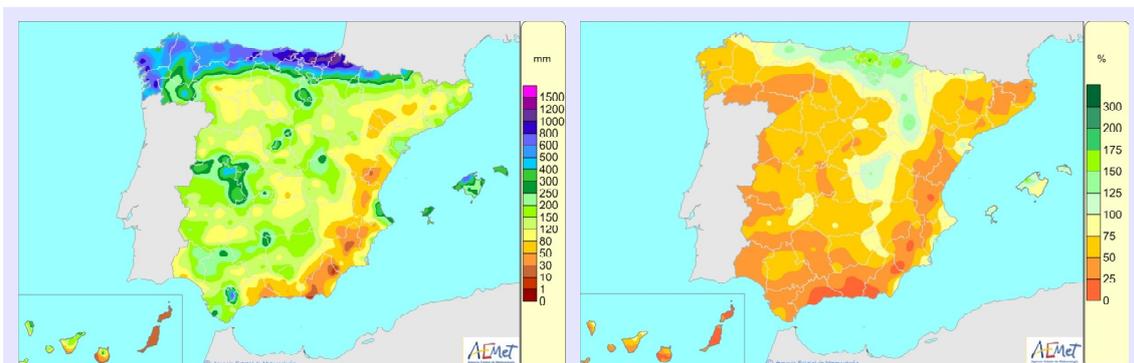
Resumen de las precipitaciones desde el 1 de setiembre incluido en el último boletín del Balance Hídrico Nacional, publicado el 10 de febrero.

Porcentaje de humedad de la capa superficial del suelo (agua disponible), respecto a un ADT (agua disponible total) de 25 mm en la fecha de referencia (15 de febrero de 2022).

Resumen de la evolución de las precipitaciones en España

La mayoría de los productos presentados hasta aquí toman como referencia el *año agrícola o hidrometeorológico*, que comienza el 1 de setiembre pero, para ciertos sectores de usuarios, es de más interés analizar la evolución de las precipitaciones en el *año hidrológico*, que comienza el 1 de octubre. El sentido que tiene escoger esta fecha de inicio está relacionado con que la mayoría de la precipitación recogida en este periodo tendrá su [escorrentía](#) dentro del mismo, y por tanto, a efectos de valoración de la sequía hidrológica puede ser más útil.

Por esta razón, AEMET elabora y publica cada jueves un [Resumen de la evolución de las precipitaciones en España](#) que está referido al año hidrológico.



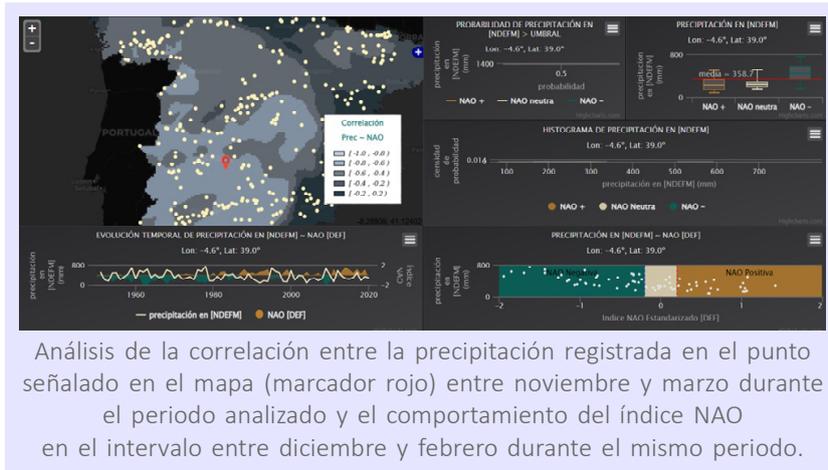
Mapas de evolución de las precipitaciones en España desde el comienzo del año hidrológico hasta el pasado día 15. Las precipitaciones acumuladas desde el 1 de octubre (izquierda) son muy inferiores a los valores normales en casi toda España (derecha, porcentaje respecto a lo normal), especialmente en el SE peninsular e islas Canarias orientales. Por el contrario, son superiores a los valores normales en el Cantábrico oriental y norte de Baleares.

Servicio climático en apoyo a la gestión de los embalses

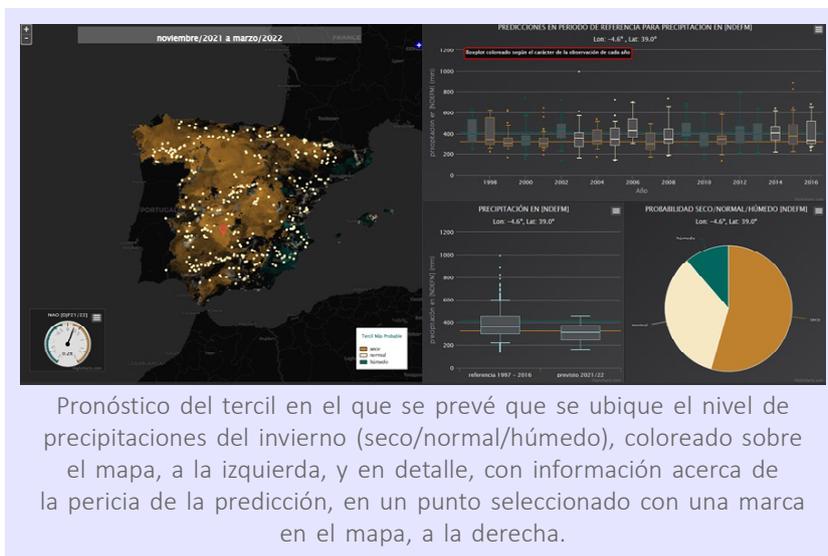
Para terminar con esta muestra de diferentes productos elaborados para el seguimiento de las precipitaciones y del nivel de sequía, hablemos del servicio climático llamado [S-ClimWaRe](#) (Seasonal Climate predictions in support of Water Reservoirs management), fruto de la colaboración entre la Dirección General del Agua y AEMET, y concebido para apoyar la toma de decisiones relativa a la gestión de los embalses en España.

Este servicio ofrece dos tipos diferentes de información, referida al *periodo de llenado de los embalses (noviembre a marzo)*, en cualquier embalse, pero también en cualquier punto de la geografía peninsular española. Se trata de productos de carácter técnico, que se describen detalladamente en la [ayuda](#) del sistema, y que requieren una interpretación experta:

- **Diagnósticos basados en observaciones hidrológicas y meteorológicas:** Indicadores que permiten analizar cuál es el riesgo hidrológico que es debido a la variabilidad del clima. Esta última se expresa mediante el valor del índice de la [Oscilación del Atlántico Norte](#) (NAO, North Atlantic Oscillation), patrón climático que es el principal responsable de la variabilidad interanual de la precipitación en amplias zonas de España en el periodo invernal.

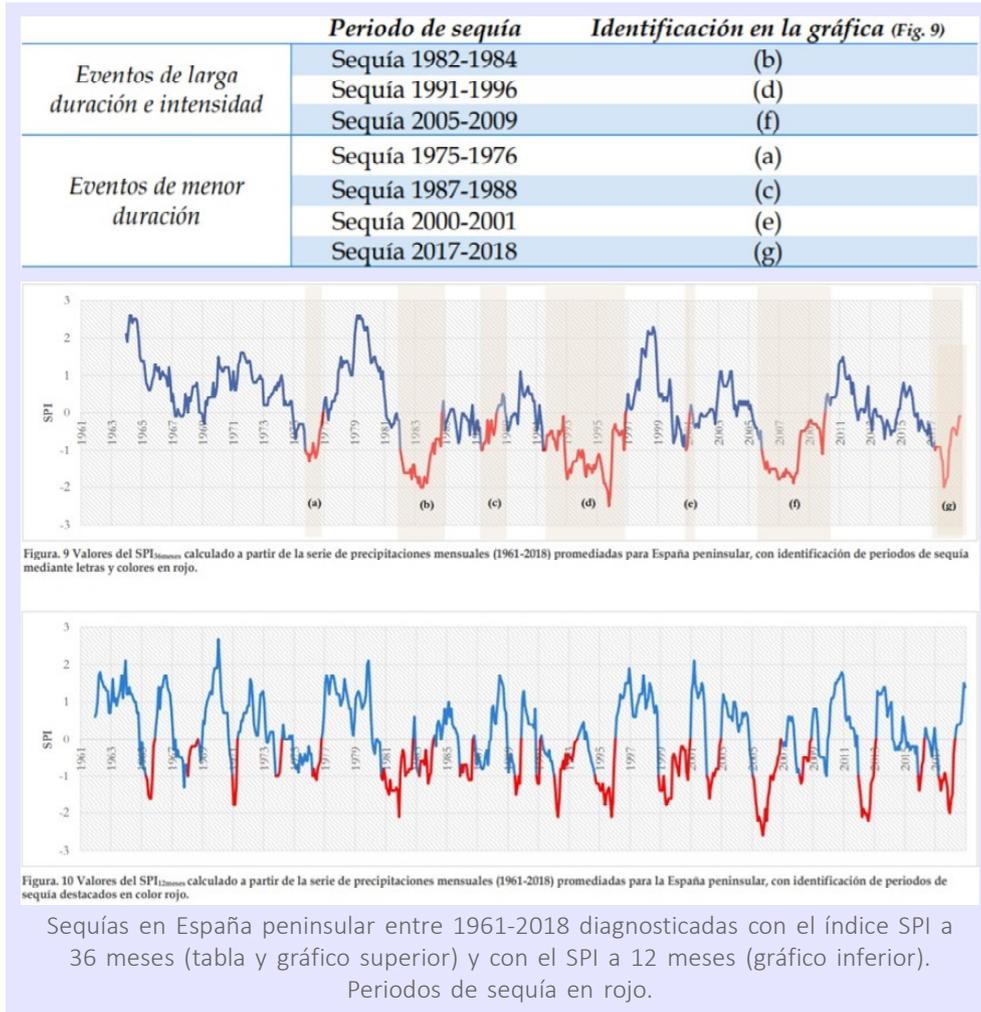


- **Pronósticos estacionales probabilísticos de variables hidrológicas y meteorológicas** basados en métodos objetivos de posproceso y combinación de las predicciones de dos fuentes diferentes de información. Los pronósticos de la probabilidad prevista para las tres categorías definidas por los terciles de la distribución estadística cada variable (por ej. de un invierno húmedo/normal/seco), se acompañan de su [pericia](#) con respecto a considerar que cada una de ellas tiene una probabilidad de un 33,3%. El mapa del tercil más probable de cada variable sólo presenta coloreados aquellos puntos en los que la predicción tiene *pericia* y su probabilidad supera un 36 %.



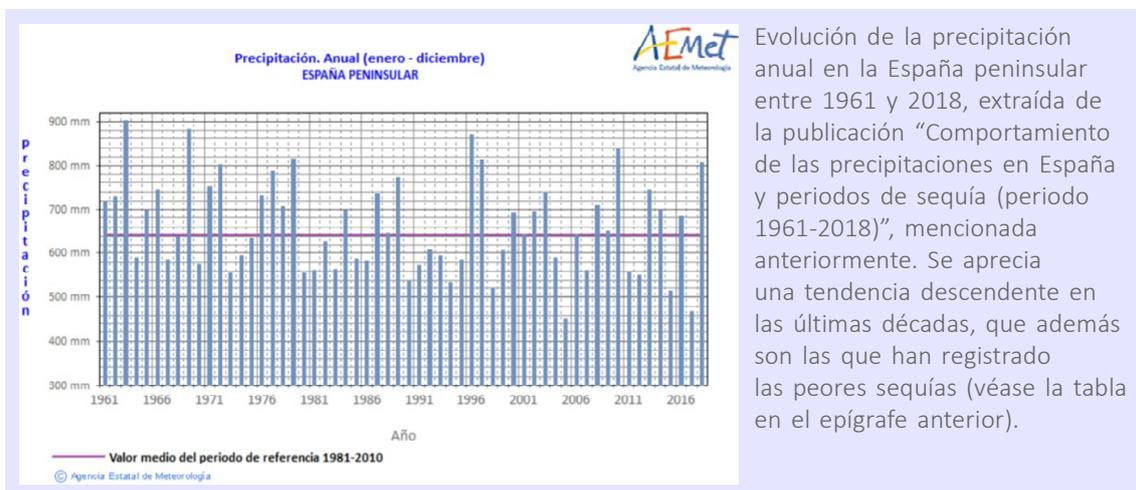
Comportamiento de las precipitaciones en España y periodos de sequía (periodo 1961-2018)

Como sabemos, las situaciones de sequía no son una novedad en nuestro país. Para tener una visión temporal del comportamiento de las precipitaciones y los periodos de sequía en nuestro país, es muy recomendable [esta publicación](#), que presenta nuestros datos históricos en modernos mapas elaborados a partir de los datos de precipitación promediados en rejilla sobre todo el territorio.

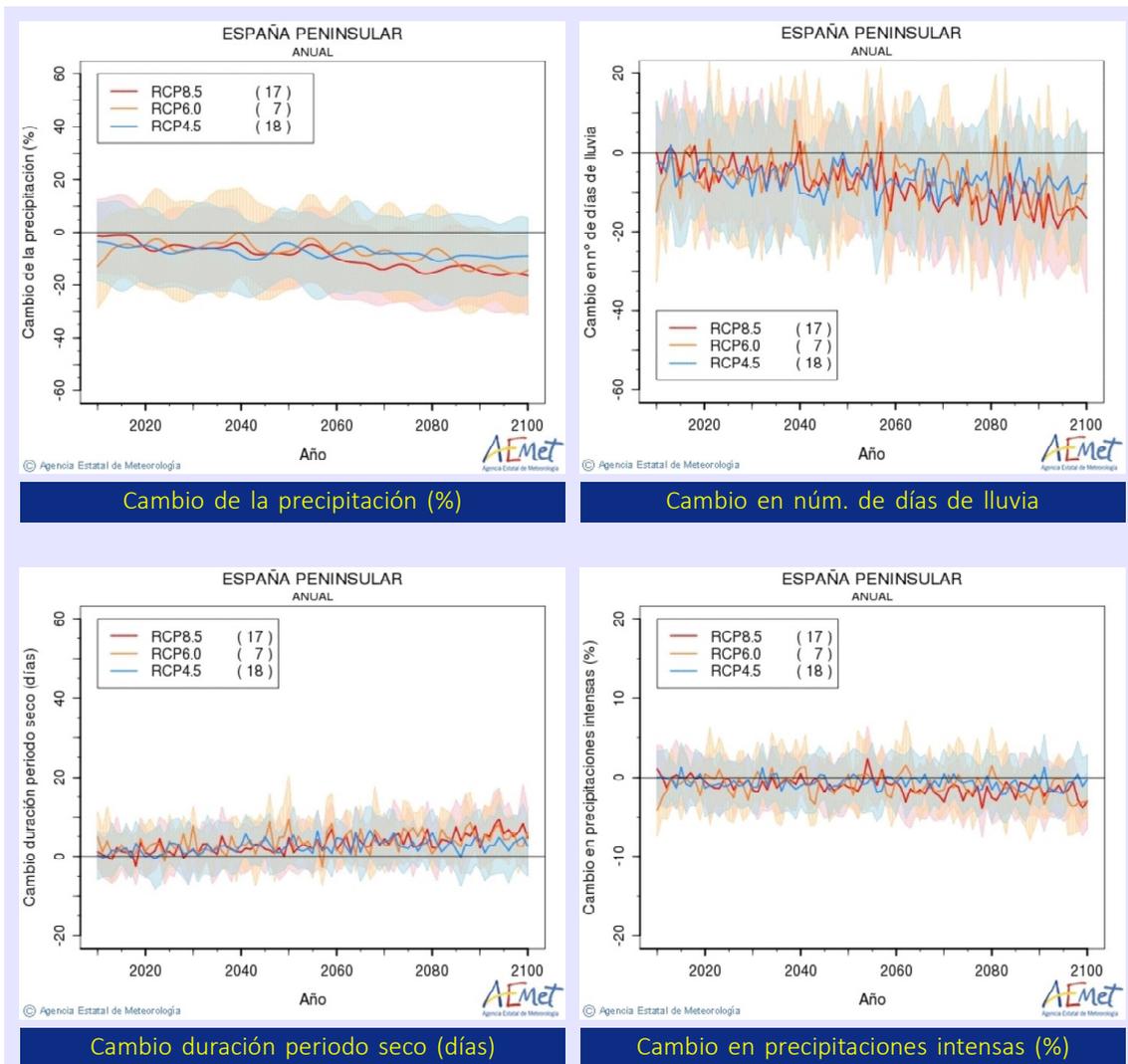


Proyecciones climáticas

En el contexto de crisis climática que vivimos, la inquietud está en el aire: ¿Observamos alguna tendencia en el registro de precipitaciones en España? ¿Qué esperamos para el futuro?



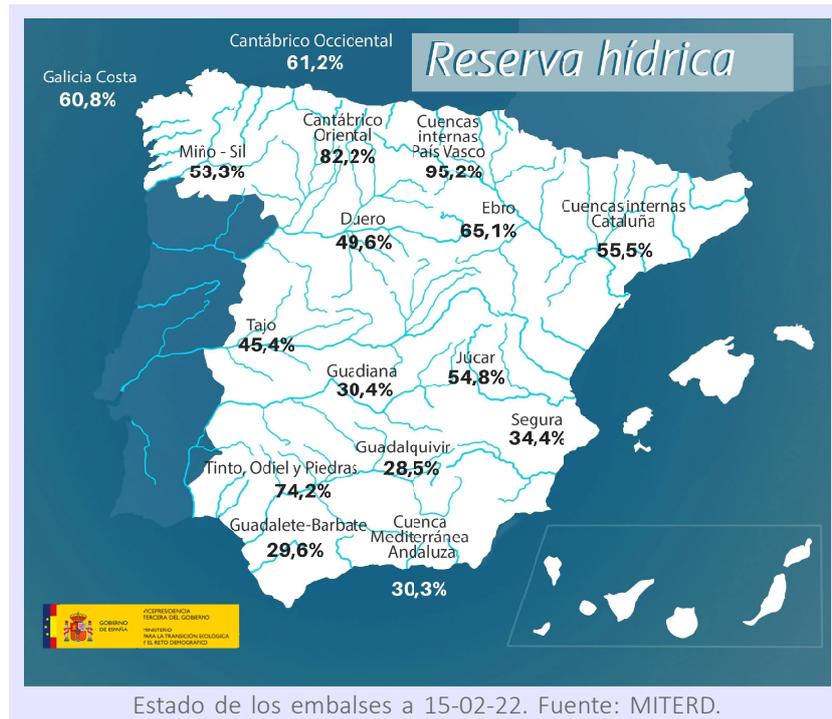
Si miramos las proyecciones climáticas regionalizadas para la Península, encontramos señales de una **disminución en la cantidad de precipitación** y en el **número de días de lluvia**, así como un **aumento de la duración de los periodos secos**. Por el contrario, no se evidencian señales de **ningún cambio significativo en las precipitaciones intensas** (fracción de la precipitación total registrada en los días cuya precipitación en 24 h es superior al percentil 95 de la distribución de precipitaciones diarias en un periodo de referencia). Es decir, observamos una tendencia a que llueva menos, pero no a que se reduzcan los episodios de precipitaciones de fuerte intensidad:



Proyecciones de distintas variables relacionadas con las precipitaciones esperadas en el conjunto de la España peninsular (en rojo, el promedio para el escenario de emisiones más pesimista y, en azul, para el más optimista).

Conclusión

En un año especialmente parco en precipitaciones hasta la fecha, y sin perspectiva de un cambio significativo al menos hasta mediados de marzo (véanse [la predicción para las próximas tres semanas](#) y [la predicción estacional](#)) y, por tanto, con el riesgo de llegar a la primavera sin que los temporales atlánticos invernales llenen nuestros pantanos, aumenta el interés acerca de la situación hidrometeorológica y, conscientes de ellos, nos esforzamos por dar a conocer información actualizada y rigurosa. Para información acerca de la reserva hídrica española, nos remitimos [aquí](#).



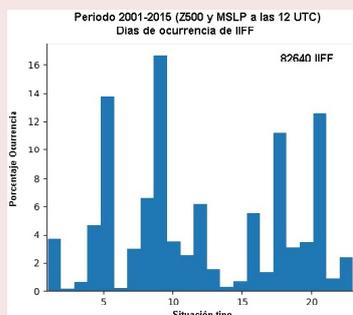
PATRONES SINÓPTICOS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA Y BALEARES Y SU RELACIÓN CON LOS INCENDIOS FORESTALES

Peio Oria Iriarte

Meteorólogo, delegado territorial de AEMET en Navarra



(publicado en el blog de AEMET
el 29 de mayo de 2022)



Se ha considerado desde siempre que los incendios forestales naturales son un elemento habitual en el funcionamiento de los ecosistemas, permitiendo la regeneración de los mismos y generando hábitats en los que los organismos pueden prosperar.

*Sin embargo, la enorme proliferación de los incendios a causa de la **actividad humana** en estas últimas décadas **sobrepasa en muchos casos la capacidad de recuperación natural**. Precisamente España es uno de*

los países con mayor riesgo de incendios de todo el continente europeo, de manera que la ocurrencia de los mismos se ha convertido en un fenómeno cíclico recurrente, agravado por el cambio climático y el despoblamiento rural, factores que conllevan un cambio en la dinámica de los grandes incendios forestales de nuestro territorio. Si bien entre 2010 y 2019 el número de siniestros se redujo en un 36 % respecto a la década anterior y la media de la superficie afectada disminuyó en un 27 %, la proporción de grandes incendios crece año tras año respecto al total de siniestros, tendencia encontrada en muchos otros países del planeta. La falta de humedad y la disponibilidad de combustible seco son casi siempre factores especialmente críticos, combinados con una meteorología que permita una rápida iniciación y propagación del fuego. El año 2012 supone un buen ejemplo de ello: un verano extremadamente cálido y seco ([Un verano extremadamente seco y cálido. Agencia Estatal de Meteorología \(AEMET\), Gobierno de España](#)), con gran frecuencia de situaciones meteorológicas con advección de una masa de aire desde el norte de África, se tradujo en el peor año del siglo XXI atendiendo al número de hectáreas de superficie forestal calcinada. Esta cifra superó las 200 000 ha, extensión equivalente a la provincia de Bizkaia. Desde el año 1994, cuando se quemaron 438 000 ha, no se habían conocido cifras tan devastadoras.

Son, por tanto, numerosos los factores que influyen en la ignición, propagación y comportamiento de los incendios forestales como por ejemplo el uso y tipo de suelo,

la continuidad de la masa forestal, el estado vegetativo, la intencionalidad, la interacción con el relieve o la disponibilidad de combustible. Sin embargo, los elementos propiamente meteorológicos, tanto a escala sinóptica como en la mesoescala, así como en algunos casos la interacción del propio incendio con el aire del entorno y de las capas atmosféricas por encima de la superficie, son igualmente condicionantes fundamentales, sumados a los factores referidos.

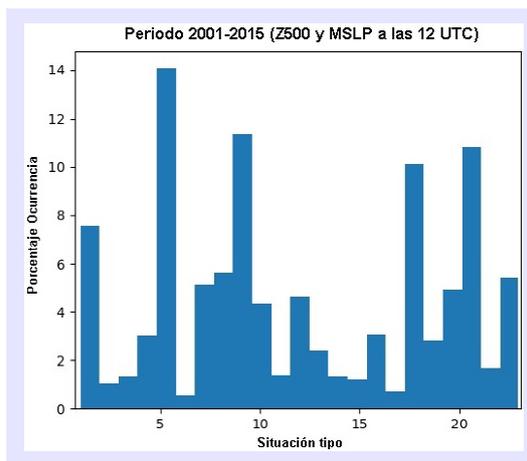
En esta contribución al blog de AEMET se analizan algunos aspectos que clarifican la relación entre la estadística de incendios forestales acontecidos en la Península y Baleares entre los años 2001 y 2015, y el tipo de patrón meteorológico a escala sinóptica. El objetivo principal es analizar si una mayor ocurrencia de ciertos patrones conduce a condiciones compatibles con un mayor riesgo de incendio forestal. Para ello se emplea la conocida clasificación sinóptica de Font, que divide la meteorología y el tiempo que habitualmente nos afecta en 23 situaciones tipo.

La clasificación sinóptica de Font y la frecuencia de los patrones

En la nota técnica 27 de AEMET, «Recuperación de la clasificación sinóptica de Font» (http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/NT_27_AEMET/NT_27_AEMET.pdf) se lleva a cabo una completa revisión de la clasificación de Font. Clasificar y agrupar patrones meteorológicos similares resulta útil para el conocimiento y comprensión del tiempo y el clima de una región, y sirve como herramienta analítica, predictiva, didáctica y de comunicación. En las llamadas clasificaciones objetivas es requisito indispensable hacer uso de variables meteorológicas como por ejemplo la presión, temperatura y precipitación. En el caso concreto de la clasificación de Font se recurre al análisis de la dinámica del vórtice circumpolar y al tipo de circulación atmosférica, tanto en niveles bajos como en altura. Pese a ser inicialmente concebida como una clasificación subjetiva, resulta útil emplear la presión atmosférica en superficie y la altura geopotencial en el nivel de 500 hPa de cara a representar las características de las 23 situaciones tipo, tarea que se lleva a cabo en la propia nota técnica. Para ello se han empleado datos de los reanálisis ERA40 del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF).

En el anexo de la nota técnica pueden encontrarse las características de cada uno de los patrones, la época del año en la que su ocurrencia es más probable así como la masa de aire y el efecto de los centros de acción regionales sobre la Península y el archipiélago balear. Las características de los tipos se toman de una serie de días inicialmente propuestos por Font, que pertenecen a la década de 1970. Partiendo de esos patrones enumerados en la nota técnica se han clasificado en el presente estudio cada uno de los días pertenecientes a los años entre 2001 y 2015. Para ello se ha aplicado un algoritmo del tipo «k-medias», método utilizado en la minería de datos y que sirve para agrupar un conjunto de n observaciones en k grupos en el que cada observación pertenece al grupo cuyo valor medio es más cercano. En este caso se hace uso de datos del reanálisis ERA-5 para las variables presión en superficie y geopotencial en 500 hPa a las 12 UTC durante todos los días del periodo. Los centroides de cada grupo son elegidos de manera que corresponden a los días propuestos inicialmente por Font. Los

miembros de cada grupo serán seleccionados y agrupados de acuerdo a una medida de similitud con los diferentes centroides. De este modo en el histograma de la derecha se muestra la frecuencia relativa de las 23 situaciones sinópticas durante el periodo 2001-2015.

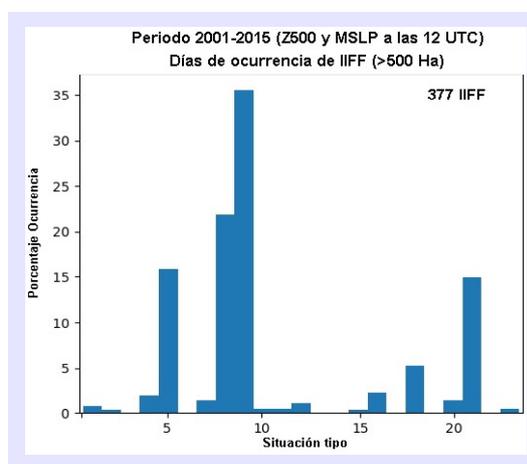
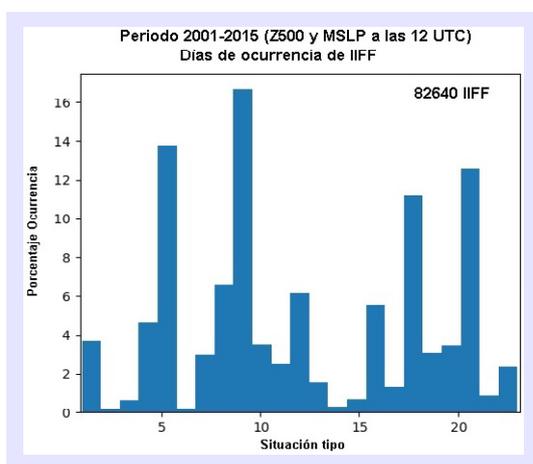


Las situaciones 1, 5, 9, 18 y 21 son las más frecuentes y suman aproximadamente la mitad de días del periodo. Corresponden respectivamente a los patrones denominados como «Altas presiones en el Atlántico subtropical», «Anticiclón de las Azores y depresión térmica peninsular», «altas presiones sobre el Atlántico y Europa», «vaguada iberoafricana» y «pantano barométrico». Para visualizar los campos atmosféricos de presión y geopotencial en cada una de estas situaciones se vuelve a remitir al lector al anexo de la citada nota técnica.

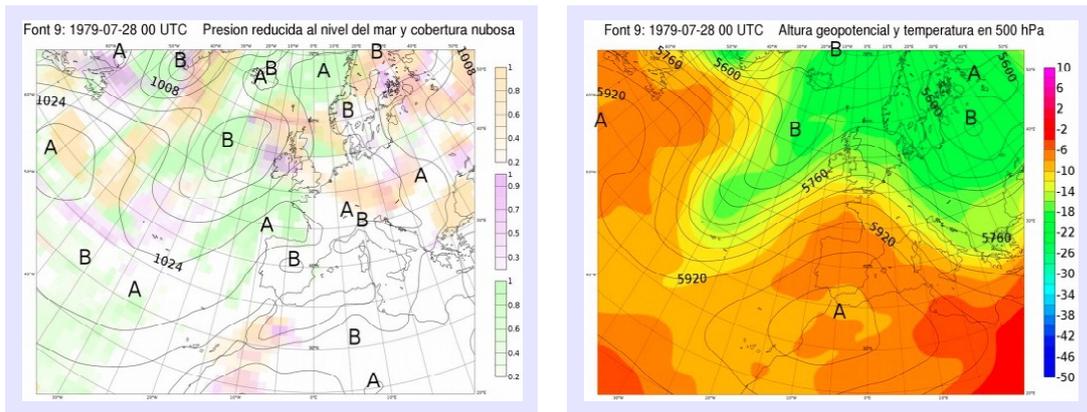
La clasificación sinóptica de Font y la frecuencia de los tipos en los días de incendio forestal

Lo que se pretende ahora es obtener la distribución anterior restringida a los días en los que se ha declarado algún incendio forestal en Península o Baleares. Para ello se hace uso de la Estadística General de Incendios Forestales (EGIF), que es la base de datos nacional que recoge todos los incendios que tienen lugar en España. Se elabora en el Centro de Coordinación de la Información Nacional de Incendios Forestales (CCINIF), adscrito al Área de Defensa contra Incendios Forestales (ADCIF), a partir de la información anual suministrada por las comunidades autónomas. Esta base de datos constituye el instrumento básico para la gestión de incendios forestales en España.

Los dos siguientes histogramas muestran la frecuencia para los días en los que se produce incendio forestal y Gran Incendio Forestal (GIF), definido como aquel que llega a calcinar superficies superiores a las 500 hectáreas.

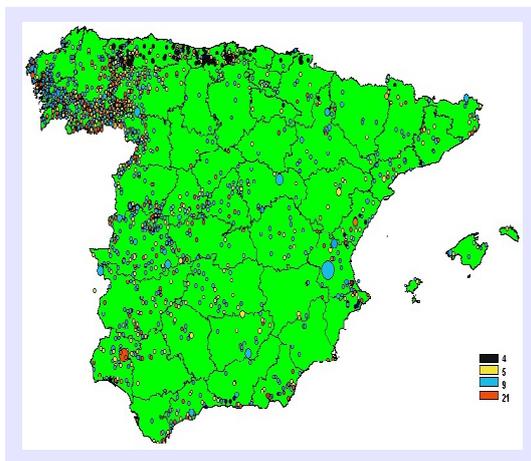


De las figuras se desprende claramente que la situación que tiene mayor peso correlativo con la ocurrencia de incendio forestal es la número 9 (altas presiones sobre el Atlántico y Europa). Nótese además que el número de datos para elaborar el histograma en el caso de los días de los Grandes Incendios Forestales es dos órdenes y medio de magnitud menor que en el caso de la figura anterior. En cualquier caso aunque los grandes incendios forestales en España apenas suponen el 0,18 % del total, en ellos arde el 40 % de la superficie total afectada. Los patrones sinópticos (presión media reducida a nivel del mar y geopotencial en 500 hPa) del tipo sinóptico número 9 se toman del anexo de la nota técnica 27 y se muestran a continuación.



Esta situación es propia de los meses más cálidos del año y se caracteriza por una marcada advección seca y cálida desde el norte de África, en ocasiones acompañada de una intrusión de polvo sahariano. La Península se sitúa aproximadamente bajo el eje de la dorsal térmica que, con forma de campana, invade el suroeste del continente europeo y llega a penetrar hasta los Países Bajos y Reino Unido. La entrada cálida se produce en todos los niveles por lo que la estabilidad en la columna atmosférica reduce el intercambio vertical de aire a una capa cercana a la superficie, donde se acumula el calor producido por el calentamiento diurno del suelo y la fuerte radiación, por lo que la temperatura del aire alcanza valores muy altos y la sequedad llega a ser extrema. Es durante este tipo de situaciones cuando tienen lugar las «olas de calor», sobre todo en

el sur, este e interior de la Península. La baja térmica en el interior de la Península suele canalizar flujo de sur o sureste en mitad oriental, de manera que el viento es en ocasiones determinante para la propagación del incendio.



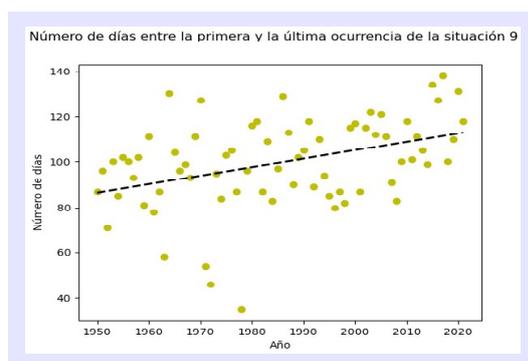
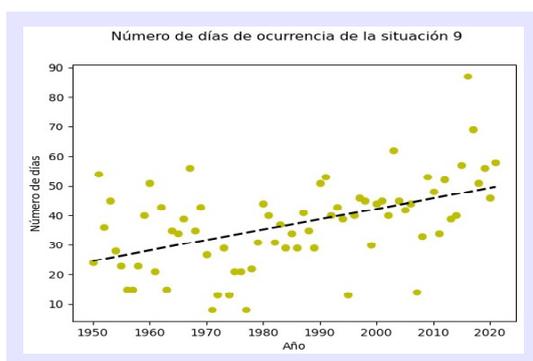
En el mapa de la figura de la izquierda se muestra la Península y Baleares con la localización de los incendios de más de 100 ha que tuvieron lugar entre 2001 y 2015, obtenidos de la Estadística General de Incendios Forestales. El tamaño es proporcional a la superficie calcinada mientras que el color

simboliza la situación sinóptica del día de la declaración del incendio, atendiendo únicamente a las cuatro situaciones más frecuentes, la 4, 5, 9 y 21 (casi el 75 % de los incendios de más de 100 ha se produjeron bajo esas 4 situaciones).

A excepción de la cornisa cantábrica, la situación sinóptica clasificada inicialmente como número 9 por Font (color azul) es la que se traduce en un mayor riesgo, como se ha comentado anteriormente, produciéndose los mayores incendios con este tipo de patrón. El mayor de todos ellos en el periodo analizado fue el incendio del 28 de junio de 2012, en la provincia de Valencia, que calcinó más de 28 000 ha. Por otro lado es reseñable un elevado número de incendios de entre 100 y 500 ha bajo la situación 4 (anticiclón peninsular) en comarcas cantábricas de Asturias, Cantabria, Gipuzkoa y norte de Navarra. Fuera de la vertiente cantábrica no se produce casi ningún incendio con este tipo de situación, por lo que más determinante que el patrón sinóptico podría ser el viento mesoescalar de componente sur resecaado, racheado y recalentado al superar la divisoria cantábrico-mediterránea, condiciones precisamente congruentes con determinadas configuraciones atmosféricas de persistencia anticiclónica, en las que se produce este tipo de advección desde el sur y que posibilitan un alto riesgo de incendio en la zona cantábrica.

¿Mayor riesgo ligado al factor meteorológico a escala sinóptica?

Dado que las proyecciones de cambio climático apuntan a un incremento de las olas de calor y de fenómenos extremos, entre los que se encuentran los incendios de comportamiento más explosivo como aquellos denominados de sexta generación, cabe preguntarse si la situación sinóptica número 9 se está produciendo en los últimos años de manera más frecuente y extendida que hace unas décadas, y si eso conlleva, desde un punto de vista sinóptico, un mayor riesgo de incendio forestal. Para tratar de responder a lo anterior se han descargado datos de igual manera que se ha hecho para confeccionar los histogramas anteriores pero ampliando el histórico de 1950 a 2021, es decir, se toman los valores de presión y geopotencial a las 12 UTC de los días entre los años mencionados, si bien esta vez se han seleccionado únicamente días entre mayo y septiembre ya que la aparición de la situación 9 fuera de los meses de la época cálida es prácticamente inexistente. Los indicadores que se han seleccionado son el número de días al año en los que tiene lugar la situación 9 entre el 1 de mayo y el 30 de septiembre y el número de días transcurridos entre la primera y la última ocurrencia correspondientes al periodo anterior. La evolución de estos indicadores en los 72 años entre 1950 y 2021 se muestra en las siguientes figuras:



La tendencia y conclusiones son muy claras: en promedio, el número de días al año en los que tiene lugar la situación sinóptica de mayor riesgo para los incendios forestales en la Península y Baleares se dobla en los últimos 70 años, mientras que la época del año en la que comúnmente se produce esta situación se ha alargado 30 días por año desde 1950. El año 2016 destaca por tener casi 90 días de ocurrencia de situación sinóptica número 9, mientras que los años 2015, 2017 y 2020 son los años en los que la temporada propia de la situación «9» se ha prolongado más días desde su primera hasta su última ocurrencia. Estas dos observaciones son perfectamente compatibles con estudios realizados por el Área de Climatología de AEMET, que conducen a un incremento de las olas de calor y a un alargamiento de las condiciones térmicas de la estación de verano ([Efectos del Cambio Climático en España. Agencia Estatal de Meteorología \(AEMET\), Gobierno de España](#)).

¿Qué se espera en el futuro? ¿Hay una mayor probabilidad de que acontezcan situaciones sinópticas que supongan un elevado riesgo de incendio forestal como el patrón 9 de la clasificación de Font?

Para responder a estas preguntas de manera objetiva habría que construir la distribución de patrones sinópticos esperados de acuerdo a la evolución de las variables presión y geopotencial en base a datos de proyecciones climáticas. Aun no habiendo acometido esta tarea, los modelos apuntan claramente a una recurrencia de condiciones de sequía prolongadas y episodios frecuentes de altas temperaturas en la península ibérica durante las próximas décadas, especialmente en la estación de verano. Uno de los ejemplos claros de que las temperaturas extremas en España podrían alcanzar valores cada vez más altos y ser cada vez más frecuentes lo encontramos en esta otra entrada de este mismo blog: <https://aemetblog.es/2021/10/17/hasta-donde-pueden-subir-las-temperaturas-en-la-peninsula-inteligencia-artificial-aplicada-a-proyecciones-climaticas-regionalizadas/>.

Por tanto, la conclusión principal es clara: más allá de diferencias regionales en la tipología de incendios forestales, una de las grandes amenazas que supone el actual cambio climático en nuestra región conduce a una meteorología favorable a desencadenar grandes incendios forestales, lo que debería hacernos reflexionar profundamente e intensificar todavía más mecanismos de gestión y prevención. En realidad oleadas de incendios forestales de carácter altamente explosivo y que ya son claramente relacionados con el cambio climático están teniendo lugar durante los últimos veranos en otras regiones y países del mundo como la Amazonia, California, Australia, Turquía, Grecia o Argelia. De hecho, el trienio 2019-2021 pasará a la historia con el récord de incendios más dramáticos jamás ocurridos desde la selva amazónica hasta los terribles incendios sucedidos en Australia pasando por los bosques del Ártico, el Mediterráneo o Indonesia. En España se afirmó igualmente por los servicios de extinción durante la extinción del incendio forestal de Sierra Bermeja el pasado verano de 2021 que «la intensidad y velocidad casi explosiva del incendio, generando su propia dinámica de propagación, era algo inusitado en nuestras latitudes». En palabras de Marc Castellnou, uno de los grandes expertos en la Unión Europea en la lucha contra el fuego, «los incendios en Europa serán pronto tan devastadores como en la Amazonia debido al cóctel perfecto que supone las alteraciones en el clima, los cambios en el régimen natural de incendios y una insuficiente gestión del paisaje por abandono rural».

Referencias

AEMET e IMIP, 2011. [Atlas Climático Ibérico](#).

CASAS, C. y ALARCÓN, M., 1999. Meteorología y Clima. Ed. UPC.

FERNÁNDEZ GARCÍA, A. D. J., MARTÍN VIDE, J., DÍAZ PÉREZ, Y. A. y MESTRE BARCELÓ, A., 2003. Aplicación de los procesos sinópticos objetivos a la península ibérica en otoño. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (31).

FONT TULLOT, I., 1983. Climatología de España y Portugal. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.

FONT TULLOT, I., 2000. Climatología de España y Portugal (Vol. 76). Universidad de Salamanca.

FUNDACIÓN AQUAE, <https://www.fundacionaquae.org/>.

HARTIGAN, J. A., 1975. Clustering algorithms (Vol. 209). John Wiley and Sons. New York.

HARTMANN, D., 1994. Global Physical Climatology. Academic Press.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S. L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZEL, E. LONNOY, J. B. R. MATTHEWS, T. K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. YU y B. ZHOU (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. En imprenta, doi: 10.1017/9781009157896.

MARTÍN VIDE, J., 2005. Los Mapas del Tiempo. Ed. Davinci.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (MITECO). Estadística general de incendios forestales, Inventario Español del Patrimonio Natural y la Biodiversidad. <https://www.miteco.gob.es/es/>.

MUÑOZ SABATER, J., DUTRA, E., AGUSTÍ-PANAREDA, A., ALBERGEL, C., ARDUINI, G., BALSAMO, G., BOUSSETTA, S., CHOULGA, M., HARRIGAN, S., HERSBACH, H., MARTENS, B., MIRALLES, D., PILES, M., RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, N., ZSÓTÉR, E., BUONTEMPO, C. y THÉPAUT, J.-N., 2021. ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13. 4349-4383. doi: 10.5194/essd-13-4349-2021.

PALMEN, E. y NEWTON, C. W., 1969. Atmospheric Circulation System. Academic Press, New York.

SANTOS, C., SUBÍAS, A. y ROA, A., 2019. [Recuperación de la clasificación sinóptica de Font](#). Nota técnica 27 de AEMET.

¿TEMPERATURAS AL SOL Y A LA SOMBRA? ¿CÓMO SE MIDE LA TEMPERATURA EN UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA?

Ricardo Torrijo Murciano¹
Alejandro Lomas González²
José Antonio López Díaz³



(publicado en el blog de AEMET
el 26 de junio de 2022)

¹ Técnico de meteorología, Centro Nacional de Predicción, AEMET

² Jefe de servicio del Centro Nacional de Predicción, AEMET

³ Revisor del artículo. Director de Programa de Técnicas Climatológicas, AEMET



La medición de temperatura no es algo tan sencillo como pudiera parecer en un principio. En este artículo realizaremos algunas aclaraciones sobre este asunto y sobre qué y cómo se mide la temperatura del aire en las estaciones meteorológicas.

Muchas veces nos preguntan a los profesionales de la meteorología qué temperatura va a hacer al sol y a la sombra. La respuesta es algo más compleja de lo que se podría pensar, primero habría que hablar de a qué temperatura nos referimos, si a la del aire, a la del suelo o a la que alcanza nuestra superficie corporal. En principio, es evidente que la temperatura del suelo al sol y a la sombra es diferente. También el calentamiento del suelo en extensas áreas soleadas incrementa la temperatura de las burbujas de aire cercanas al terreno. Dichas burbujas recalentadas, que se elevan por su mayor temperatura, también pueden elevar algo más la temperatura del aire en las cercanías del suelo. Por otro lado, cuando se está cerca del terreno o de edificios recalentados por el sol, nos llega radiación infrarroja que contribuye al incremento de nuestra sensación térmica.

Sin embargo, el mayor problema no radica allí. La principal causa del calor que se siente, cuando se está al sol en las horas centrales del verano, es la incidencia de su radiación sobre el organismo, que eleva la temperatura de la superficie corporal. Es por ello que al sol la sensación de calor es mucho mayor, pero la temperatura del aire al sol y a la

sombra no suele ser tan diferente en terreno abierto¹, ya que, aparte del efecto de las burbujas anteriormente comentado, el aire es bastante transparente a la radiación solar y además, aunque el aire absorbe parte de la radiación infrarroja emitida por el terreno, este efecto se produce de forma continua y a lo largo de todo el espesor de la atmósfera. Es decir que, localmente, la radiación infrarroja no produce una subida apreciable de temperatura en un área pequeña confinada en los primeros metros del suelo donde medimos la temperatura.

Por otro lado, cuando queremos medir la temperatura en meteorología se intenta hacer una aproximación lo mejor posible a la temperatura media del aire en un periodo representativo. Si se pone un termómetro al sol, la temperatura medida dependería del equilibrio térmico radiativo entre el sensor del termómetro y la radiación solar. Este dato dependería lógicamente del tipo de sensor empleado y no sería un dato fácil de interpretar ni se correspondería con una magnitud física de interés. Por ello, es importante recordar que al hablar de la temperatura del aire no es adecuado hablar de su medición al sol y a la sombra, sino de matizar los motivos por lo que nuestra sensación de calor varía al sol y a la sombra.

Además de todo lo anterior, la medición de temperatura del aire cerca de la superficie es algo más complejo de lo que pudiera parecer. Empezando porque la propia definición de temperatura no es un concepto tan evidente. Partiendo de las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (en adelante OMM, según las siglas en español, o WMO, según las siglas en inglés), vamos a hacer un repaso de las condiciones que debe tener en meteorología una estación enfocada a la observación de temperatura.

La temperatura de un cuerpo se relaciona con su energía interna; la OMM (WMO, 1992) define la temperatura como la magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico. Cuando dos cuerpos están a distinta temperatura y se ponen en contacto térmico se produce un intercambio de calor entre ellos que va dirigido del más cálido al más frío. Para dar un valor cuantitativo a las temperaturas se definen escalas de temperatura. En España la escala de temperatura Celsius es la más ampliamente conocida por la población.

El termómetro es un aparato diseñado para que su sensor alcance el equilibrio térmico con el medio que lo rodea y, mediante diversos algoritmos basados en propiedades físicas relacionadas con la temperatura, como la dilatación de los materiales o en el cambio de sus propiedades eléctricas, se puede asignar un valor a la medición. También hay termómetros que no necesitan tener contacto con el cuerpo, como los que basan su cálculo en la medición de la radiación emitida por el mismo. Del primer tipo son, por ejemplo, los que se encuentran habitualmente en muchas casas para medir las temperaturas y, del segundo, los que se emplean para medir la temperatura corporal a distancia y que se han hecho muy populares a raíz de la reciente pandemia.

En meteorología se mide habitualmente la temperatura de muchos elementos como el agua, el terreno, el subsuelo o los topes nubosos. Sin embargo, es la temperatura del aire, cerca de la superficie y también a diversas altitudes, la variable más observada. La

¹ Además de lo explicado, cuando se produce una marcada diferencia de temperatura entre dos masas de aire contiguas a la misma altitud y diferente temperatura, se activan movimientos atmosféricos que tienden a homogeneizar sus temperaturas, salvo que haya algún tipo de forzamiento que impida que se mezclen.

OMM (WMO, 1992) define la temperatura del aire como *la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa.*

Como pasa con otras variables meteorológicas, la medición de la temperatura, de forma coordinada y continua a nivel internacional, es básica para hacer unas buenas predicciones del tiempo. Muchas veces las perturbaciones atmosféricas que afectan a nuestro país se forman y evolucionan a miles de kilómetros de distancia. Por ello, aun contando con los programas de cálculo y los ordenadores más avanzados, sin una red global de información, difícilmente se podrían hacer predicciones más allá de un corto plazo.

Debido a la importancia de las observaciones de temperatura, los servicios meteorológicos utilizan sensores calibrados en un laboratorio especializado y que se someten a una revisión periódica. Además los sensores tienen que tener otras características como un tiempo de respuesta adecuado. El tiempo de respuesta estima el tiempo en que el sensor del termómetro alcanza el equilibrio térmico con el medio que está midiendo. Un tiempo de respuesta muy corto sería capaz de detectar las rápidas fluctuaciones, a veces de segundos, que se producen en la temperatura del aire y que son de poco interés operativo, por lo que habría que hacer un promedio², mientras que un tiempo de respuesta excesivamente largo podría dar lugar a que se suavicen algunos extremos térmicos³.

Según la OMM las mediciones de temperatura del aire cerca del suelo se deben realizar en abrigo meteorológico, que le sirven de protección y soporte a los sensores, ubicados entre 1,25 y 2 m por encima del nivel del terreno (WMO, 2017). El tipo de protecciones meteorológicas o garitas utilizados es muy variado. En cualquier caso su interior debería estar diseñado para proteger el sensor de cualquier fenómeno que le pudiera afectar, como la radiación solar o a la precipitación. Por otro lado el aire en su interior debería tener una temperatura uniforme e igual a la del aire circundante. Todas estas consideraciones son, sin embargo, un ideal difícil de alcanzar. En ocasiones cada tipo de garita puede dar lugar a su propio microclima y puede haber ciertas diferencias en la medición de un tipo a otro de abrigo.^{4,5}

También la temperatura es muy sensible al entorno donde se mide. Por eso es importante llevar a cabo un control riguroso de los cambios que se producen. Para la observación sinóptica, la ubicación de la estación debe ser representativa de un entorno de 100 km y cumplir una serie de recomendaciones. Según la OMM (WMO, 2017): *El mejor lugar para realizar las mediciones es, pues, por encima del nivel del suelo, con exposición directa al sol y al viento, y libre de la sombra o proximidad de árboles, edificios u otros objetos que obstruyan. Las pendientes muy inclinadas y las depresiones del terreno están expuestas a condiciones excepcionales, por lo que convendría evitarlas. En los pueblos y ciudades, las características locales suelen ser más marcadas que en las zonas*

2 Según la OMM (WMO, 1997) con sensores automáticos se recomienda promediar en un minuto. Si esto no se hiciera en verano se alcanzarían picos muy cálidos debido a burbujas de aire muy cálido que puede subir la temperatura del sensor en unos pocos segundos.

3 La OMM (WMO, 2017), recomienda que la constante de tiempo, definida como el tiempo necesario para que el termómetro registre el 63,2 % de un cambio discreto de la temperatura del aire, sea de 20 segundos (WMO, 2017).

4 Véase por ejemplo BUISÁN *et al.* (2015) o MARTÍNEZ IBARRA *et al.* (2010).

5 Véase nota 3.

rurales. Las observaciones de temperatura en las cimas de los edificios son de dudoso valor y utilidad, debido al gradiente vertical variable de temperatura que existe en esos lugares y al efecto del propio edificio sobre la distribución de la temperatura.



A la izquierda, interior de una garita meteorológica con psicrómetro, termómetro de máxima y mínima y termohigrógrafo.

Imagen de dominio público: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermometerhuette.jpg>.

Derecha: garita y estación meteorológica automática en la cima de La Dôle, 1677 m (Suiza).

Imagen de dominio público: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Station_meteo_dole.jpg.

La medición adecuada de temperatura del aire junto al suelo es un procedimiento que, como se ha visto, tiene que contar con unas condiciones adecuadas de entorno, garita y sensor, por lo que no es sencillo disponer de series largas de calidad. Cualquier cambio de las condiciones de observación debe ser minuciosamente apuntado para poder luego hacer un estudio riguroso de la calidad de los datos. Además, antes de su utilización para diversos estudios, las series de datos se someten a controles de calidad en comparación con otras del entorno para detectar cualquier anomalía. Muchas veces cambios que dan lugar a anomalías son resultados de causas ajenas a los servicios meteorológicos, como el crecimiento de una ciudad alrededor de un observatorio, el cambio de la vegetación o la variación del riego de los alrededores. En otras ocasiones, el cambio de tipo de garita⁶, como el paso de las garitas abiertas Montsouris —que se solían utilizar en el siglo XIX— a las que se usaron después, da lugar a cambios en las máximas y mínimas registradas que deben ser calibrados cuidadosamente. Visto todo lo anterior, es importante saber a qué nos referimos cuando hablamos de temperatura del aire, no debemos hablar ni de sol ni de sombra, y, por supuesto, no fiarnos de cualquier termómetro de calle, a veces sin la calibración adecuada y muchas veces expuesto a la radiación solar directa, o ubicado en el interior de un abrigo no adecuado. También es importante tener en cuenta la zona donde se localiza la estación medidora. No es lo mismo el dato de una estación ubicada en un entorno urbano, muy recalentado por la radiación solar incidente sobre los edificios y asfalto, por el tráfico intenso o por los aparatos de aire acondicionado cercanos, que el de otra ubicada en el campo o en el interior de un extenso parque urbano que se riega con regularidad.

⁶ Debido a las consideraciones expuestas en este párrafo es recomendable, antes de realizar cambios de garita e instrumentación, observar, durante el tiempo necesario, en paralelo el antiguo y moderno sistema. De esta forma, se puede evaluar si se producen cambios significativos en la medición, algo especialmente de interés en los valores extremos. Todos los cambios realizados deben ser cuidadosamente documentados, así como los cambios en el entorno que pudieran afectar a las mediciones.

Bibliografía

WMO, 2017. Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos (nº 8). Disponible online en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3664.

WMO, 1992. Vocabulario Meteorológico Internacional (OMM-Nº 182). Disponible online en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4712.

WMO, 1997. Instruments and observing methods (Report No. 65). Guidance on automatic weather stations and their implementation (WMO/TD, No. 865). Disponible online en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9687.

BUISÁN, S. T., AZORÍN MOLINA, C. y JIMÉNEZ, Y., 2015. Impact of two different sized Stevenson screens on air temperature measurements. *Int. J. Climatol.*, 35: 4408-4416. Disponible online en: <https://doi.org/10.1002/joc.4287>.

MARTÍNEZ IBARRA, E., AZORÍN MOLINA, C., BAÑÓN GARCÍA, M., OLCINA CANTOS, J., ESTRELA NAVARRO, M., y GIL OLCINA, A., 2010. Intercomparación de las temperaturas extremas en tres tipos de garita meteorológica: Montsouris, Stevenson y Young. *Clima, ciudad y ecosistemas: ponencias y conferencias invitadas al VII Coloquio de la Asociación Española de Climatología* / coord. por Encarnación Galán Gallego, Rosa Cañada Torrecilla, Felipe Fernández García, págs. 209-221. Disponible en: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/8516/1/AEC2010_IBARRA.pdf.

VERANO DE 2022: EL MÁS CÁLIDO EN ESPAÑA HASTA FINALES DE JULIO

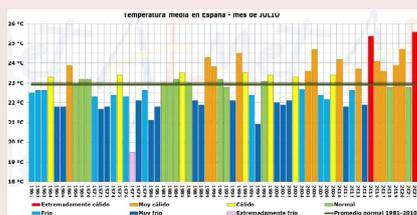
José Ángel Núñez Mora¹
Rubén del Campo Hernández²

(publicado en el blog de AEMET
el 8 de agosto de 2022)

¹ Delegación territorial de AEMET en la Comunitat Valenciana

² Área de Comunicación de AEMET

(Información suministrada por el Área de Climatología y Aplicaciones Operativas de AEMET).



El mes de julio ha sido extremadamente cálido en España, el más cálido desde al menos 1961, con una temperatura media de 25,6 °C, que supera en 2,7 °C a la del promedio climático de referencia y es 0,2 °C superior a la de julio de 2015, que hasta ahora era el mes de julio más cálido en España.

Cabe señalar que, hasta 2015, ningún mes de julio había logrado superar los 25 °C de temperatura media. Ese año se superaron de manera holgada los 24,7 °C de 2006, que era el máximo histórico registrado hasta entonces y, solo siete años después, en julio de 2022 se ha superado de forma más holgada todavía (fig. 1).

Además, (véase tabla inferior) computando todos los meses de año, julio de 2022 se convierte en el mes más cálido de la serie histórica en nuestro país quedando en segundo lugar el mencionado julio de 2015 y en tercera posición agosto de 2003.

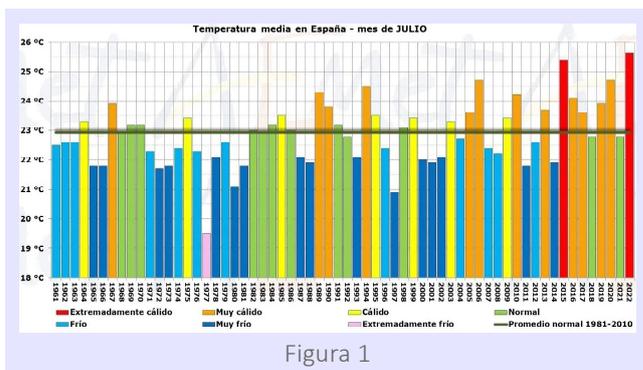


Figura 1

TEMPERATURA MEDIA EN ESPAÑA 10 valores más altos 1961-2022		
Año	Mes	Temperatura media mensual
2022	Julio	25,6
2015	Julio	25,4
2003	Agosto	24,9
2006	Julio	24,7
2020	Julio	24,7
1994	Julio	24,5
1991	Agosto	24,4
1989	Julio	24,3
2010	Julio	24,2
2012	Agosto	24,1

Pero no solo el mes de julio de 2022 es el más cálido de la serie histórica: el bimestre junio-julio también lo es, ya que supera al de 2015 y 2017 (fig. 2).

Y, si vamos un poco más hacia atrás en el análisis del anómalo calor de este año 2022 (fig. 3), vemos que el trimestre mayo/junio/julio también ha sido el más cálido de la serie, además con cierto margen, lo que da idea de que este año el calor comenzó muy pronto, está siendo persistente y la sucesión de olas de calor muy frecuente. De hecho, este trimestre, compuesto por un mes de primavera (mayo) y dos de verano (junio y julio) ha tenido una temperatura media que iguala o supera a la del 60 % de los veranos (trimestre junio/julio/agosto) registrados en España desde 1961. Podemos afirmar, sin exagerar, que en 2022 el verano ha comenzado en mayo.

Incluso utilizando reconstrucciones climáticas realizadas con datos registrados desde 1916 (fig. 4) por la Agencia Estatal de Meteorología, como la realizada por [CHAZARRA BERNABÉ et al.](#), no hay precedentes ni de un julio tan cálido, ni de un bimestre tan cálido, ni de un trimestre tan cálido desde al menos 1916 (106 años).

La persistencia del calor desde aproximadamente el 10 de mayo y la sucesión de episodios de altas temperaturas y de olas de calor se aprecia perfectamente en el gráfico de la fig. 5 que representa la temperatura media diaria en la España peninsular calculada con las temperaturas máximas y mínimas diurnas hasta el 7 de agosto. En él se identifican al menos siete episodios cálidos, los tres principales centrados en el 21 de mayo, 17 de junio, y entre el 14 y 17 de julio, más otras que se apartaron menos de la media centradas en el 28 de mayo, 3 de julio, 24 de julio y 2 de agosto.

De entre todos estos episodios cálidos destacó la ola de calor, de excepcional duración e intensidad, que

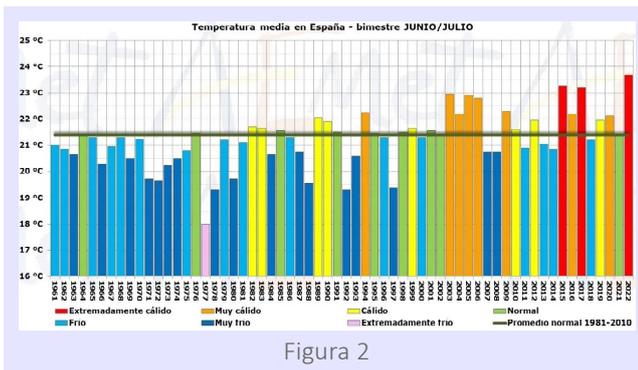


Figura 2

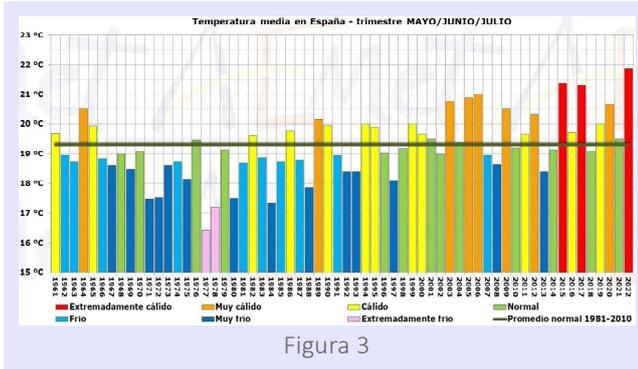


Figura 3

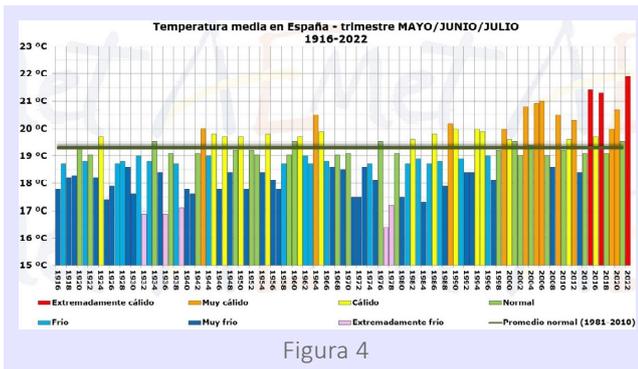


Figura 4

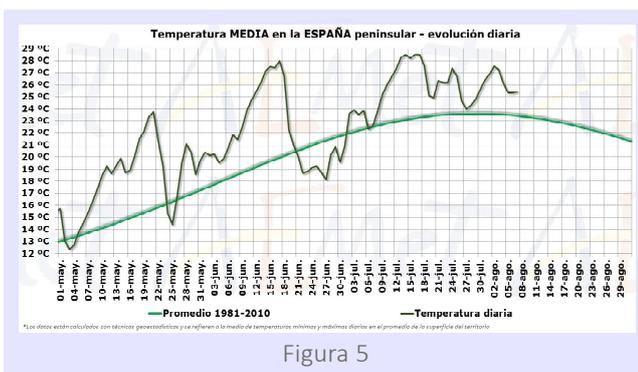


Figura 5

afectó a la España peninsular y Baleares entre los días 9 y 26 (fig. 6, izquierda), y que, con dieciocho días de duración, se convirtió en la segunda ola de calor más larga desde que hay registros en España, tan solo superada por la ola de calor que transcurrió del 27 de junio al 22 de julio de 2015, y que tuvo una duración de veintiséis días. Además, la ola de calor del pasado mes afectó a 40 provincias, empatando con la más extensa hasta ahora, registrada en agosto de 2012, y también se trató de la ola de calor más intensa, con una anomalía de la ola de 4,8 °C, superando con mucho a la ola de calor de agosto de 2021, la de mayor intensidad hasta ahora. Los estudios de ola de calor se remontan en España a 1975 y con la información actualmente disponible, **la ola de calor de julio de 2022 en la Península y Baleares es la más importante de la serie histórica por su intensidad, duración y extensión excepcionales.**

Esta situación cálida fue debida a la presencia de un potente anticiclón atlántico que favoreció el desplazamiento de una masa de aire muy cálida de origen africano sobre la península ibérica y Baleares. Se registraron temperaturas, tanto máximas como mínimas, muy por encima de las normales para la época del año, llegando a alcanzar los 46 °C en Morón de la Frontera (Sevilla) el día 24 de julio.

Canarias también se vio afectada por este episodio, que dio lugar a dos sucesivas olas de calor en el archipiélago: la primera entre los días 9 y 11 (fig. 6, derecha), y la segunda entre el 24 y el 26 de julio. En julio hubo además otros dos episodios cálidos: el primero entre los días 2 y 5, y el segundo desde el día 28 hasta el final del mes. En cuanto a episodios fríos, únicamente el día 1 las temperaturas se situaron por debajo de los valores normales para la época del año.

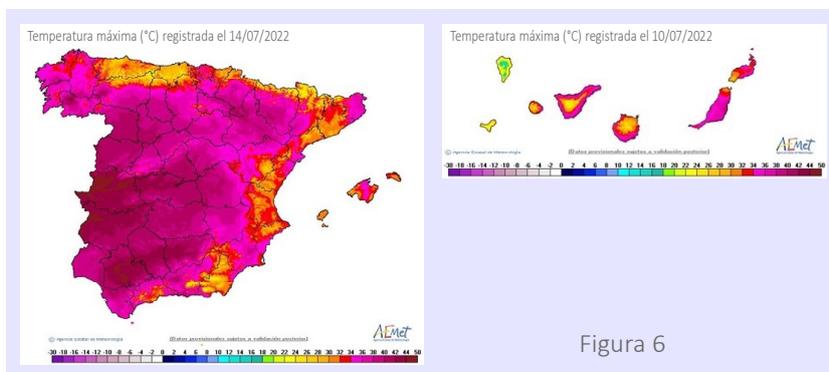


Figura 6

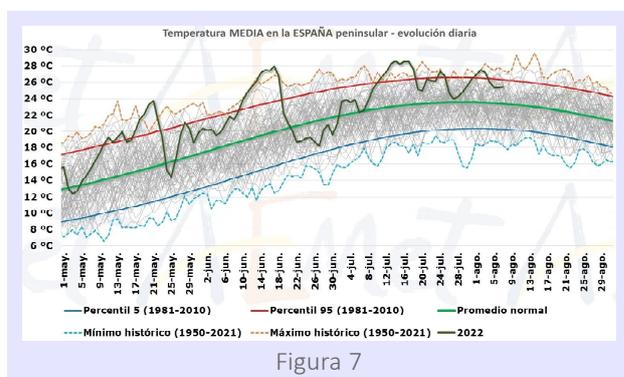
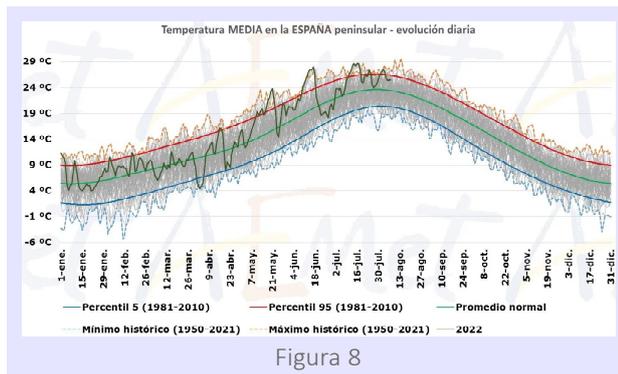


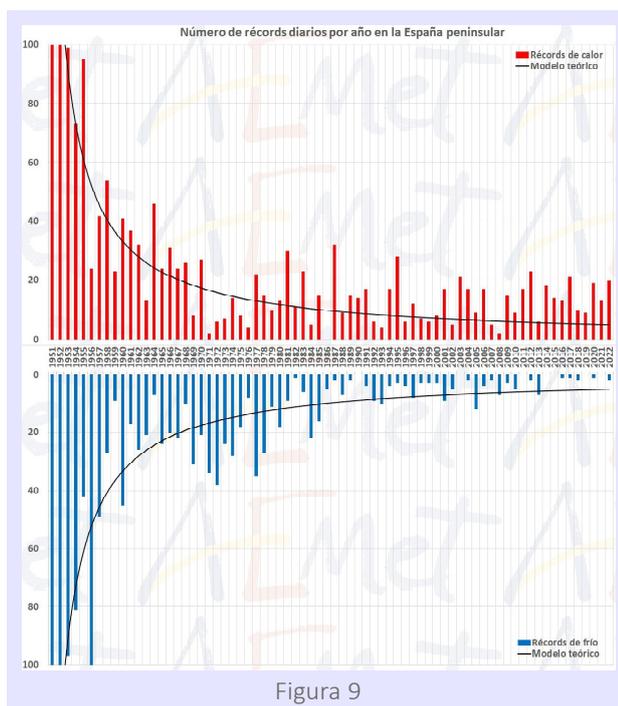
Figura 7

Si trazamos todos los datos de temperatura media diaria desde 1950 y los de 2022 frente a distintos umbrales (temperatura media diaria, percentil 95, percentil 5 y máximo y mínimo de la serie) aparece la gran anomalía que se viene registrando desde principio de mayo (fig. 7).

Entre el 10 de mayo y el 7 de agosto, el 40 % de los días han superado el percentil 95 de la fecha correspondiente (es decir, se encuentran entre el 5 % de días más cálidos) y nada menos que el 20 % (18 de 90), han superado el máximo histórico diario (fig. 8).



Frente a los múltiples episodios anormalmente cálidos de este año (además de los citados entre mayo y agosto también los días 1 y 2 de enero fueron muy cálidos), ha habido uno frío, el del 2 y 3 de abril, en el que se bajó del percentil 5 (el 5 % de los días más fríos para esas fechas).



Esta mayor frecuencia de días muy cálidos frente a la menor frecuencia de días muy fríos es coherente con el calentamiento observado en España en las últimas décadas, que presupone una mayor frecuencia en los récords de temperaturas altas frente a los de bajas, si bien los de estas últimas seguirán produciéndose.

Según el modelo teórico, basado en un clima estable, durante todo el año 2022 se deberían de producir 5 récords de temperaturas altas y 5 de temperaturas bajas (la probabilidad es igual en ambos casos), mientras que la realidad muestra que este año, hasta el 7 de agosto, ya se han registrado 20 récords de días cálidos (4 veces más que lo esperable para todo el año en un clima no modificado) frente a 2 récords de días fríos (fig. 9).

Pocas tormentas y mucho sol

Paralelamente al calor extremo, el mes de julio de 2022 ha sido muy seco, con unas lluvias que en el conjunto de España peninsular han quedado en torno a la mitad del promedio normal (se han recogido 8,5 l/m², cuando la media son 17,1 l/m²). Se trata del julio con menos precipitaciones de los últimos quince años. Y como ocurría con las precipitaciones, julio no ha sido un mes aislado, ya que el déficit de precipitación se viene arrastrando desde hace meses. Si el trimestre mayo/junio/julio fue el más cálido desde al menos 1961, a su vez fue también el más seco desde esa fecha, con un déficit de precipitación acumulado cercano al 60 % (fig. 10).

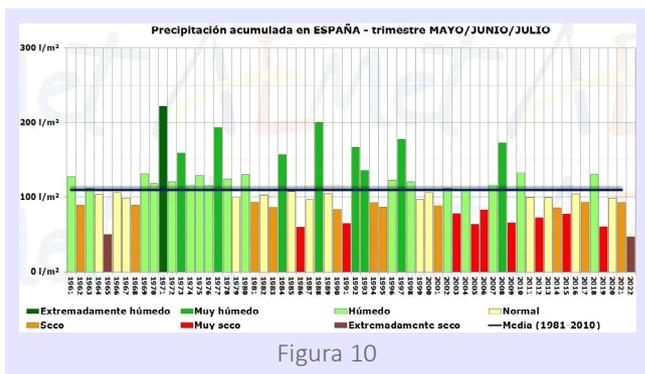


Figura 10

En verano, normalmente las precipitaciones están asociadas a fenómenos tormentosos, por lo que los meses muy secos, como el de este 2022, como el pasado 2021 o el 2007, suelen registrar pocos rayos y, de hecho julio de 2022 es el segundo con menos rayos registrados tras el mismo mes de 2007 (fig. 11).

Y también, los meses muy secos suelen ser muy soleados. Julio de 2022 (fig. 12) es el de mayor insolación desde al menos 1983, con un promedio nacional de 374,2 horas, que es un 6 % superior al promedio normal.

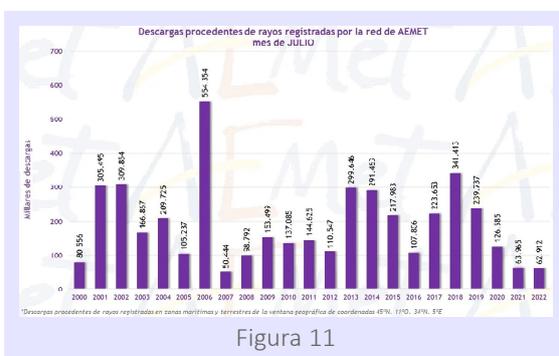


Figura 11

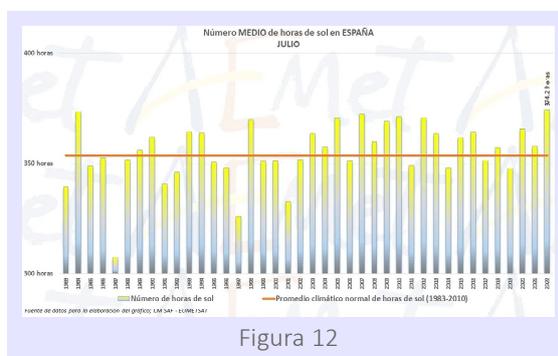


Figura 12

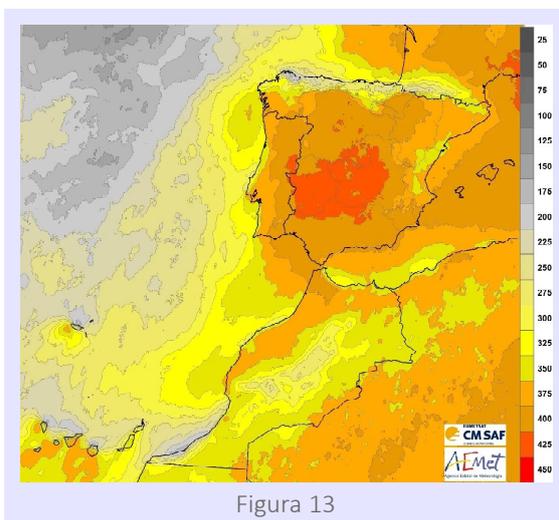


Figura 13

Las comunidades con más horas de sol en julio (fig. 13) han sido Extremadura (402,2 horas), la Comunidad de Madrid (401,8) y Castilla-La Mancha (395,5).

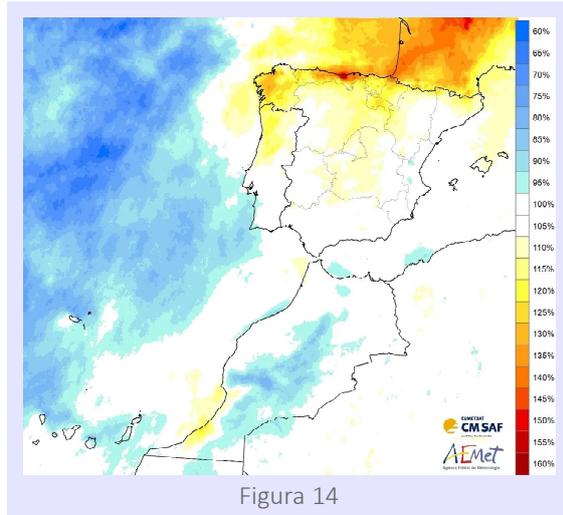
En términos relativos, la mayor anomalía se ha registrado en el norte peninsular, donde los cielos han estado mucho más despejados que de costumbre. Así, Cantabria, tuvo un 30 % más de horas de sol, un 22 % más de insolación se registró en el Principado de Asturias y un 19 % más en el País Vasco/Euskadi. En la otra cara de la moneda, hubo pequeñas anomalías negativas (los cielos estuvieron ligeramente más nublados de lo normal en julio) en Canarias (donde hubo un 4 % menos de insolación) y en la Comunitat Valenciana, con un 1 % menos (fig. 14).

Todos estos factores combinados (temperaturas altas que se prolongan durante un trimestre, precipitaciones escasas y prolongadas en el tiempo y gran insolación), acaban teniendo impacto en múltiples aspectos, como en la salud, sobre todo de los grupos

más vulnerables, en la sequedad del monte, en la mayor evaporación y evapotranspiración, que también influyen en la disminución de las reservas de agua en pantanos, o en los elevados índices de ignición, que han favorecido la propagación de los incendios que se han registrado estos meses.

El nivel de riesgo meteorológico de incendios forestales generado diariamente por la Agencia Estatal de Meteorología está basado en el sistema FWI, que es un índice meteorológico utilizado en todo el mundo para estimar el peligro de incendio. Las variables de entrada del modelo

son la temperatura del aire seco, la humedad relativa del aire, la velocidad del viento y la precipitación registrada en las últimas 24 horas, que pretenden simular el contenido de humedad de los combustibles, la velocidad de propagación inicial y la disponibilidad de combustibles pesados que se encuentran en el suelo y pueden alimentar un fuego. Por los componentes con los que se calculan los niveles de riesgo de incendios, un trimestre que ha sido simultáneamente extremadamente seco y extremadamente cálido ha dado lugar a niveles de riesgo muy altos o extremos durante todo el verano, lo que finalmente ha provocado multitud de incendios que han quemado decenas de miles de hectáreas de nuestros montes.

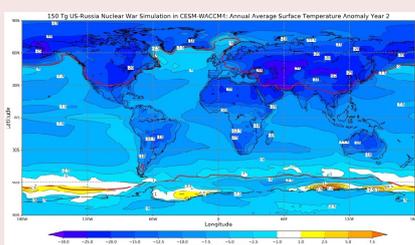


EL INVIERNO NUCLEAR

Benitro Fuentes López

Delegación territorial de AEMET en la Comunitat Valenciana

(publicado en el blog de AEMET
el 5 de noviembre de 2022)



Las devastadoras consecuencias de un conflicto nuclear a gran escala causarían una catástrofe sin precedentes, no solo por las muertes directas, la destrucción de industrias e infraestructuras, el colapso económico y administrativo y la contaminación radiactiva, sino también por las graves alteraciones climáticas a nivel global durante los años posteriores.

Los efectos en el clima darían lugar a una drástica reducción en la producción agrícola y aumentarían las enfermedades, agravando con ello la situación, ya de por sí extremadamente límite, a que se enfrentaría la sociedad.

En la década de los ochenta del siglo pasado se llevaron a cabo los primeros estudios de las consecuencias que un conflicto nuclear causaría en el sistema climático. En concreto, las explosiones nucleares y los posteriores incendios liberarían a la atmósfera ingentes cantidades de hollín, polvo y ceniza provocando un acusado enfriamiento a escala planetaria conocido como invierno nuclear y que se extendería durante al menos dos décadas. Los supervivientes del conflicto se enfrentarían a otros problemas derivados tales como sequías extremas, el colapso de la agricultura o un agujero de ozono planetario que, junto con la contaminación radiactiva, las enfermedades y la ausencia de servicios básicos podrían provocar el colapso de la sociedad.

Estas estremecedoras consecuencias llevaron a que los líderes de los Estados Unidos y la Unión Soviética tomaran conciencia de la gravedad del problema pues hasta entonces se pensaba que una de las dos naciones podría salir victoriosa de una contienda nuclear. En aras de una suavización de la guerra fría se llevó a cabo una reducción del número de armas nucleares que, sobre el papel, eran mera representación puesto que se desmantelaron las ojivas ya obsoletas al mismo tiempo que se desarrollaban otras más modernas y efectivas.

Así, de las 62 000 armas nucleares a mediados de los ochenta se pasó a las cerca de 14 000 que existen en la actualidad (2022), de las cuales el 90% pertenecen a EE. UU. y Rusia y el 10% restante se lo reparten Francia, Gran Bretaña, China, India, Pakistán, Israel y, quizás, Corea del Norte. El empleo de una mínima fracción sería suficiente para sumir el planeta en el caos más absoluto.

Uno de los efectos de una explosión nuclear es la formación de potentes corrientes ascendentes que arrastran verticalmente todo tipo de partículas y que confieren la característica forma de hongo. Asimismo, las detonaciones en áreas urbanas producen incendios virulentos, los llamados de sexta generación, indomables y capaces de consumir la práctica totalidad de los restos de las ciudades en tormentas ígneas o tormentas de fuego similares a las acontecidas en Dresde, Hamburgo o Tokio a finales de la Segunda Guerra Mundial.

En una conflagración nuclear tanto las bombas como los incendios posteriores inyectarían ingentes cantidades de polvo, hollín, humo y cenizas hasta alturas cercanas a los 80 km. Aproximadamente el 30-35% de las cenizas quedarían en la troposfera y serían barridas por la precipitación en las horas o días posteriores mientras que el 60-65% se inyectarían a la estratosfera, donde el tiempo de residencia es muy superior debido a la estabilidad de esta capa y al pequeño tamaño de las partículas. Aproximadamente la mitad del material permanecería entre cuatro y seis años en la estratosfera; a los siete o nueve años quedaría el 20% y a los diez o doce casi no quedaría nada.

La cantidad inyectada se mide en millones de toneladas o teragramos (Tg) y, según el escenario bélico, oscila entre 5 y 150 Tg. Para poner este dato en contexto, los grandes incendios forestales (Canadá en 2017, Siberia en 2019, Australia en 2020) liberan en promedio menos de 1 centésima de teragramo, entre 500 y 15 000 veces menos.

Para el estudio de las consecuencias de una guerra nuclear se utilizan modelos numéricos que simulan la descarga masiva de aerosoles en la estratosfera y sus efectos en el sistema climático. En el presente artículo se han seleccionado seis posibles escenarios tomados de las referencias consultadas y que se detallan al final del documento:

- Escenario 1: conflicto nuclear de pequeña escala entre India y Pakistán; 27 millones de fallecidos, tres veces superior al total de la Primera Guerra Mundial. Se inyectan 5 Tg de cenizas a la estratosfera como resultado del lanzamiento de cien ojivas nucleares de 15 kilotonas. (Las bombas lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki fueron de 16 y 21 kilotonas respectivamente).

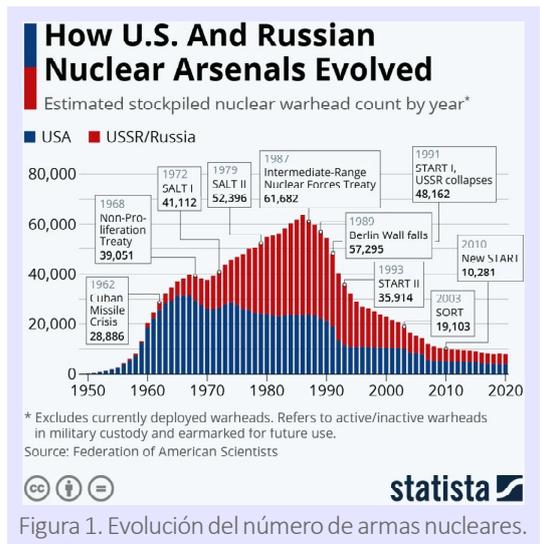


Figura 1. Evolución del número de armas nucleares.

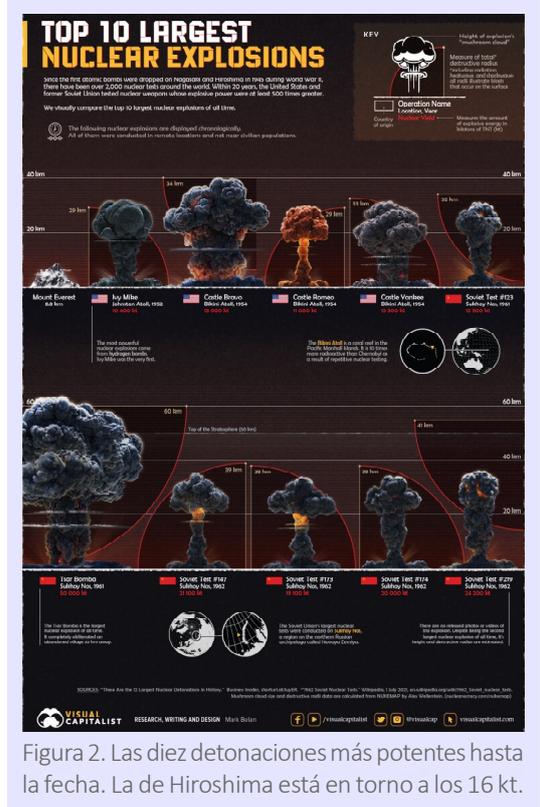


Figura 2. Las diez detonaciones más potentes hasta la fecha. La de Hiroshima está en torno a los 16 kt.

- Escenario 2: conflicto nuclear entre India y Pakistán. Se lanzan 295 ojivas de 15 kilotones; 52 millones de fallecidos, similar al total de la Segunda Guerra Mundial. Se inyectan 16,1 Tg.
- Escenario 3: conflicto nuclear entre India y Pakistán. Se lanzan 295 ojivas de 50 kilotones; 97 millones de fallecidos. Se inyectan 27,3 Tg.
- Escenario 4: conflicto nuclear entre India y Pakistán. Se lanzan 295 ojivas de 100 kilotones; 127 millones de fallecidos. Se inyectan 36,6 Tg.
- Escenario 5: conflicto nuclear entre EE. UU. y Rusia en el que se emplea un tercio de todo el arsenal nuclear; 164 millones de fallecidos. Se inyectan entre 46,8 y 50 Tg.
- Escenario 6: guerra nuclear total entre EE. UU. y Rusia en el que se emplea todo el arsenal nuclear; 360 millones de fallecidos. Se inyectan 150 Tg.

En todos ellos el enfrentamiento es corto. Una semana es suficiente para que los países beligerantes lancen todo o parte de su arsenal sobre el enemigo y se devasten mutuamente. Inmediatamente después acontecería lo peor: más allá de la destrucción a nivel regional, las consecuencias climáticas serían globales, lentas, agónicas y afectarían también a territorios neutrales que poco o nada tuviesen que ver con la conflagración.

Disminución de la radiación solar

La primera consecuencia sería una brusca e inmediata reducción de la radiación solar que incide sobre la superficie del planeta. Las finas partículas inyectadas en la estratosfera actúan como pequeños espejos reflejando parte de los rayos del sol y enviándolos de vuelta al exterior. Paradójicamente, las partículas que día a día libera la humanidad como consecuencia de la quema de combustibles fósiles, la construcción o la industria están limitando que el calentamiento global sea un tercio superior al ya registrado.

En los escenarios 2 al 4 la reducción estaría entre el 20% y el 40% mientras que en el 6 superaría el 75%. Para poner estos datos en contexto, la mayor erupción volcánica del siglo XX (Pinatubo, 1991) redujo la radiación solar incidente en un 2,5%. En contra del imaginario popular, en ningún escenario se produciría una noche perpetua. Más bien el

sol calentaría con extrema debilidad, similar a cuando está cerca del horizonte o cuando está velado por nubes altas. Probablemente el cielo luciese un azul muy vivo y los amaneceres y atardeceres lo teñirían de un intenso anaranjado y rojizo dotándolo de una inusual y cínica belleza.

A medida que las partículas fuesen cayendo por gravedad se iría reduciendo este efecto aunque no se registrarían valores normales hasta transcurrida una década. (En el caso de las grandes erupciones el periodo medio de residencia es solamente del orden de un año porque las partículas son inyectadas a altitudes inferiores y porque son de mayor tamaño; de modo que los efectos son menores).

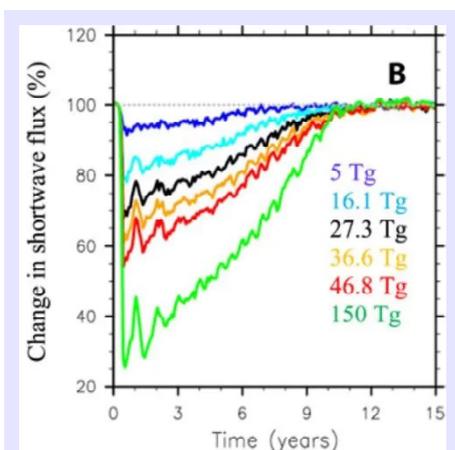
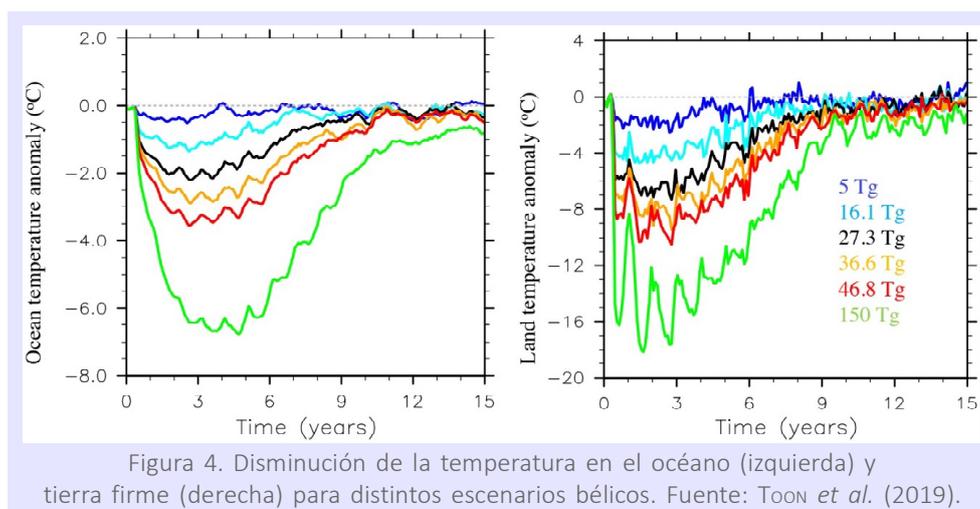


Figura 3. Disminución de la radiación solar (%) para distintos escenarios bélicos. Fuente: Toon *et al.* (2019).

Enfriamiento global de la superficie

La consecuencia climática más llamativa sería sin duda alguna el acusado enfriamiento en todos los puntos del planeta como consecuencia directa de la disminución de la intensidad de la radiación solar. En los escenarios 2 al 4 la reducción global de temperatura estaría entre dos y seis grados mientras que en el escenario 6 sería superior a diez grados. Para poner estos valores en contexto, durante el pico de la última glaciación la temperatura global fue solamente cinco grados inferior a la registrada al comienzo de la Revolución Industrial (y pone de relieve que, en contra de la percepción humana, el incremento casi asegurado de dos grados para el final del presente siglo es un dato muy relevante y significativo).

Este enfriamiento sin precedentes sería más acusado en tierra que en el océano y mayor en el hemisferio norte que en el sur al poseer más tierras emergidas. En los escenarios 2 al 4 la reducción en tierra estaría entre cuatro y ocho grados mientras que en el 6 sería superior a los diecisiete grados. El pico se alcanzaría entre el segundo y el tercer año tras el conflicto y las temperaturas en tierra no se recuperarían al menos hasta pasados quince años. En el caso oceánico habría que esperar más tiempo debido a la superior inercia y, por esta razón, a escala global la temperatura no alcanzaría valores normales hasta transcurridas unas cuantas décadas.



El peor escenario, el de una guerra total, es estremecedor. Muchas regiones del planeta registrarían temperaturas inferiores a cero grados durante al menos dos años seguidos. En Ucrania, por ejemplo, la temperatura superaría ese umbral durante pocos días de julio y agosto. En la figura 5 se observa que durante el segundo año de posguerra la temperatura media anual habría descendido en algunas regiones hasta veinticinco grados por debajo de los valores promedio anteriores al conflicto.

Los datos del estudio de ROBOCK *et al.* (2007) permiten reconstruir con más detalle los escenarios 5 y 6 en el caso de España. En la península algunas medias mensuales se desplomarían más de quince grados por debajo de su valor promedio. Para hacernos una idea, un mes con una anomalía negativa de cuatro grados suele considerarse extremadamente frío. El descenso en Canarias sería menos acusado pero con una duración

ligeramente superior debido a su influencia marítima. Habrían de transcurrir más de dos décadas para acercarnos a valores promedio anteriores a la guerra. Cabe observar cómo los efectos del escenario 6 (en el que se libera el triple de material) no triplican los del escenario 5. Si la cantidad de cenizas en la estratosfera es muy alta, las partículas de niveles superiores acaparan la mayoría de la radiación y dejan poca a sus vecinas de abajo, de modo que la adición de nuevo material no supone un cambio notable.

La cobertura de hielo marino también crecería en consonancia, lo que aumentaría el albedo medio planetario y realzaría el enfriamiento. En el escenario menos grave, el 1, el aumento de la cobertura sería del 20% en el Ártico y en torno al 50% en el Antártico. La cobertura nivosa en tierra también crecería.

Pese a todo, el planeta no se convertiría de la noche a la mañana en un mundo cubierto por hielo similar al de las pasadas glaciaciones, en parte porque el proceso necesitaría escalas temporales superiores, en torno a decenas de décadas, y porque a medida que avanzaran los años la temperatura se iría recuperando poco a poco. Otra razón importante se expone a continuación.

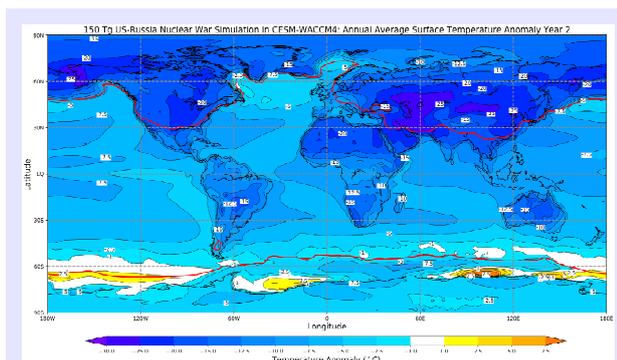


Figura 5. Anomalía de temperatura media anual durante el segundo año tras el conflicto en el escenario 6. Fuente: ROBOCK *et al.* (2007).

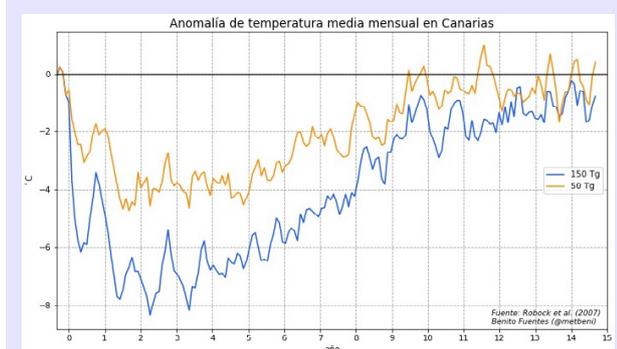
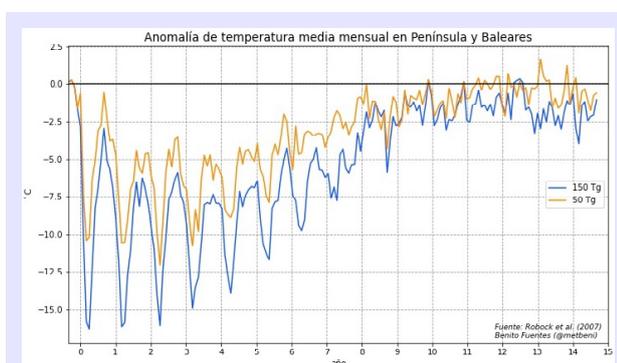


Figura 6. Anomalías de temperatura media mensual en Península y Baleares (izquierda) y Canarias (derecha) en los escenarios 5 (naranja) y 6 (azul). Fuente: elaboración propia a partir de datos cedidos por Robock *et al.* (2007).

Reducción de las precipitaciones globales

El tercer efecto sería una consecuencia de los dos anteriores: si se reducen la cantidad de calor y la temperatura, disminuyen la evaporación y la convección, esto es, las precipitaciones. En los escenarios 2 al 4 la reducción estaría entre el 15% y el 30% mientras que en el caso 6 sería del 60%. El pico de la disminución se alcanzaría a los cuatro años y no se recuperaría como mínimo hasta transcurridos veinte años.

Aun habiendo una reducción en conjunto, en ciertas regiones se incrementarían. En un escenario normal estas zonas están bajo las ramas descendentes de la célula de Hadley.

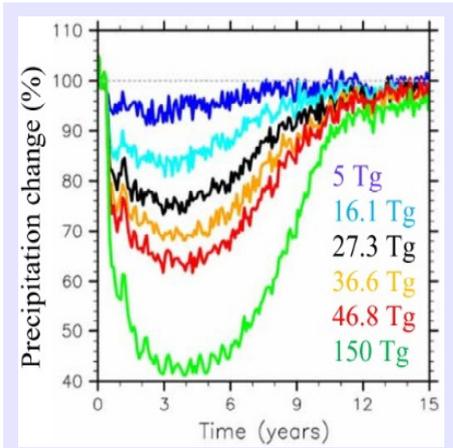


Figura 7. Disminución de la precipitación global (%) para distintos escenarios bélicos. Fuente: TOON *et al.* (2019).

Los descensos verticales disminuyen la humedad relativa y suprimen las precipitaciones. En un escenario nuclear el enfriamiento disminuiría la intensidad de la célula de Hadley y sus ramas descendentes, de modo que en promedio la precipitación aumentaría ligeramente, como es el caso del Mediterráneo. Incluso en un escenario medio como el número 3, las precipitaciones prácticamente desaparecerían en áreas de India, China Central y el sureste asiático como consecuencia de la supresión del monzón.

Particularizando para España y los escenarios 5 y 6, existen dos áreas claramente diferenciadas en la Península. La mitad norte (por encima del paralelo 40) acusaría una drástica reducción de la precipitación media mensual en ambos escenarios mientras que la mitad sur registraría un régimen irregular alternando épocas secas y húmedas. El archipiélago canario incrementaría considerablemente sus precipitaciones durante una década.

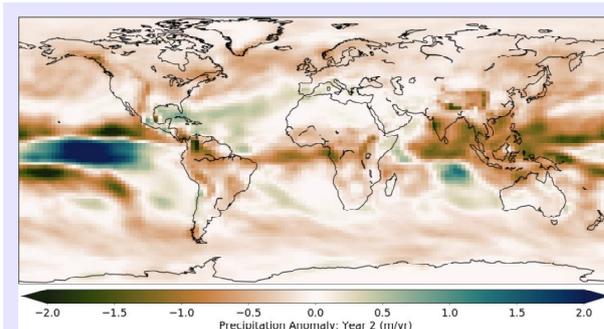


Figura 8. Anomalía de precipitación media anual tras el segundo año de la contienda para el escenario 3. Los valores han de multiplicarse por mil para obtener el equivalente en litros por metro cuadrado. Fuente: TOON *et al.* (2019).

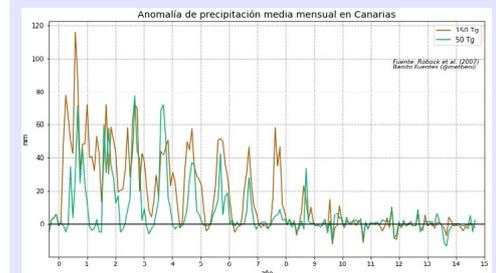
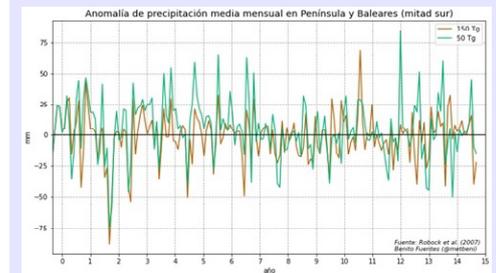
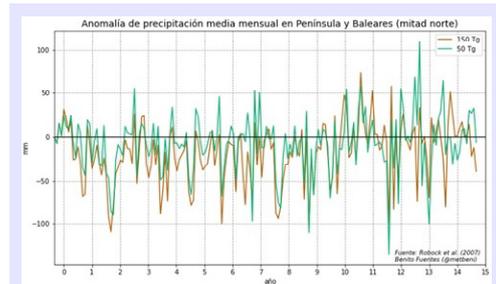


Figura 10. Anomalías de precipitación media mensual (mm) en la España situada al norte del paralelo 40, al sur del paralelo 40 y en Canarias para los escenarios 5 (verde) y 6 (marrón). Fuente: elaboración propia a partir de datos cedidos por ROBOCK *et al.* (2007).

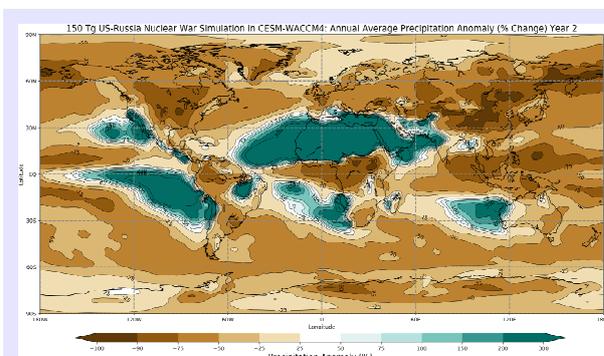


Figura 9. Anomalía de precipitación media anual (%) tras el segundo año de la contienda para el escenario 6. Fuente: ROBOCK *et al.* (2007).

Reducción de la capa de ozono

Los aerosoles reflejan una fracción alta de la radiación que incide sobre ellos pero también absorben una parte. Como consecuencia, la capa en la que se encuentran se calienta. El aumento de temperatura en la estratosfera aumenta las reacciones químicas que destruyen ozono y, por tanto, su abundancia decrece. Adicionalmente, las corrientes que elevan las cenizas también redistribuyen e incrementan el aporte de óxidos de nitrógeno (NO_x), vapor de agua y clorofluorocarbonos, todos ellos eficientes catalizadores en los procesos de destrucción de ozono.

El espesor de la capa de ozono se mide en unidades Dobson y presenta un valor medio igual a 300. En el caso del agujero antártico es inferior a las 220 unidades Dobson. Incluso en el escenario menos severo, el 1, el aumento de temperatura sería superior a cincuenta grados en puntos de la estratosfera y el espesor de ozono reduciría su valor medio por debajo de 220 unidades, es decir, el agujero se haría global y no se recuperaría hasta transcurrida más de una década. La reducción en latitudes polares del hemisferio norte alcanzaría el 60%, en latitudes medias el 40% y en el ecuador el 10%.

La consecuencia más dramática sería el incremento en la radiación ultravioleta que alcanza la superficie terrestre. Se estima que los carcinomas aumentarían más del 200% y la fotoinhibición más de un 130%, así como otros daños a materiales y estructuras. El sol calentaría menos pero, a la vez, sería más peligroso.

El índice UVI es una medida de la intensidad de la radiación ultravioleta incidente. La Organización Mundial de la Salud recomienda usar protección solar cuando el UVI es superior a 3 y evitar salir al exterior a partir de un UVI igual o superior a 8. Los valores típicos en la península ibérica en junio están entre 8 y 11. Bajo el escenario 1, el menos grave, el índice registraría valores entre 15 y 21. Los efectos sobre la piel que producen treinta minutos de exposición al sol en el mundo actual con un UVI igual a 8 serían equivalentes a los que producirían once minutos en el escenario 1 con un UVI igual a 21.

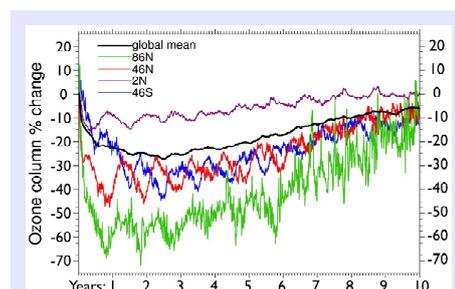
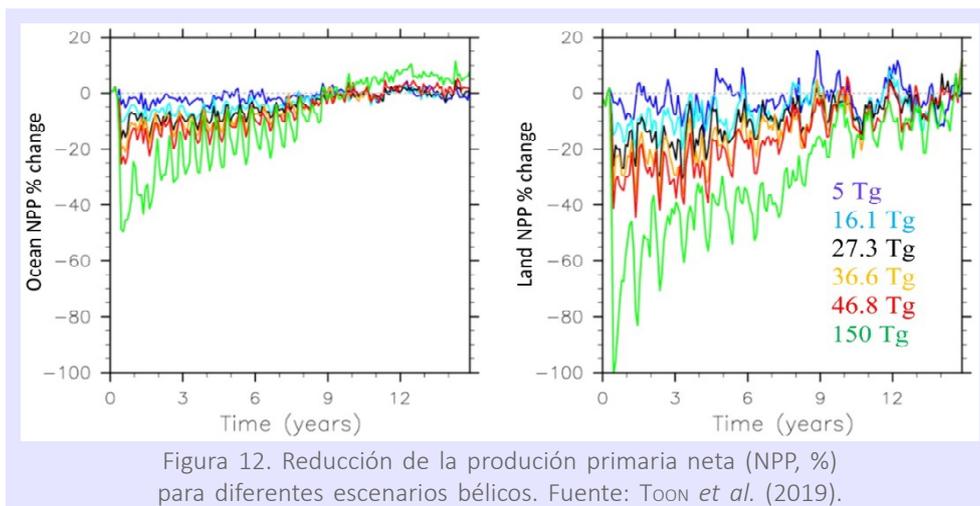


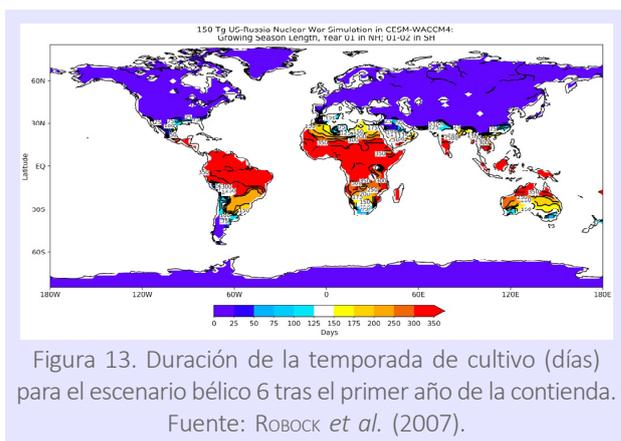
Figura 11. Pérdida de espesor de ozono (%) para el escenarios bélico 1. Fuente: MILLS *et al.* (2008).

Colapso mundial de la agricultura y fallecimientos en masa

Grosso modo, la producción primaria neta representa la cantidad neta de CO_2 atmosférico que pasa a formar parte de la materia orgánica a través de la fotosíntesis. La disminución sería más acusada en tierra que en el océano. En el escenario 3 alcanzaría el 100% por encima del paralelo 60 del hemisferio norte los tres primeros años; la mayoría de las cosechas en Norteamérica y Eurasia se reducirían entre el 25% y el 50% y mucho más en la costa este de EE.UU.-Canadá y el sureste asiático, donde las densidades de población son altísimas. En el océano también se empobrecerían los caladeros de pesca. En el escenario 6 se detendría la producción primaria a escala global pues la duración de la temporada de cultivo sería inferior a dos meses en gran parte del hemisferio norte y durante al menos cuatro años; a los siete años la reducción aún sería del 50%. En la figura 12 se observa que la duración de la temporada de cultivo en la



península ibérica el primer año y en el escenario 6 sería inferior a un mes cuando lo normal es que exceda los doscientos días, es decir, una reducción de casi el 90%.



Sin sol, lluvias ni calor la humanidad estaría condenada a la hambruna más longeva, severa, extensa y mortífera de toda su historia. El número de fallecidos por hambre sería entre diez y quince veces superior al de los fallecidos por las explosiones.

En resumen, una guerra nuclear incluso a escala local sería suficiente para sumir todo el planeta en una catástrofe de proporciones bíblicas. Las regiones afectadas por las deto-

naciones se enfrentarían a la pérdida de ciudades, infraestructuras, comunicaciones, medicinas, contaminación radiactiva, etc. El resto del planeta también acusaría problemas de otra índole tales como la falta de agua, alimentos, olas de frío extremas, enfermedades, etc. El número de personas que podrían morir de hambre al final del segundo año es escalofriante y se expone en la siguiente tabla:

ESCENARIO	1	2	3	4	5	6
Millones de fallecidos en las explosiones nucleares	27	52	97	127	164	360
Millones de personas sin alimento al final del segundo año	255	926	1426	2081	2512	5341

En el caso español se estima que solamente en el peor escenario habría fallecidos por hambre al final del segundo año: 42 millones de un total estimado de 46 millones, más del 91%. Pero teniendo en cuenta que un invierno nuclear se extendería al menos dos décadas, es de suponer que en cualquier escenario, tarde o temprano fallecerían (mejor dicho, falleceríamos) muchos millones de habitantes. Además, la falta de recursos mermaría sobremanera el sistema sanitario de modo que se producirían fallecimientos indirectos por otras enfermedades no detectadas o imposibles de tratar que, hoy día sí son posibles.

Dependiendo del escenario, el sistema climático podría mostrar signos de recuperación transcurridas varias décadas o algunos siglos y, tras la pausa, seguir con su inexorable tendencia al calentamiento. Los escasos supervivientes se enfrentarían a un mundo totalmente distinto al que conocieron y con el que jamás podrían volver a soñar.

Agradecimientos

Alan Robock, Josh Coupe y Charles Bardeen por haber proporcionado datos de su modelización numérica para los escenarios 5 y 6.

Enlaces de interés

Simuladores de explosión nuclear:

<https://nuclearsecrecy.com/nukemap/>

<https://nuclearsecrecy.com/missilemap/>

No hay dónde esconderse, cómo una guerra nuclear te mataría a ti y a casi todos los demás:

<https://thebulletin.org/2022/10/nowhere-to-hide-how-a-nuclear-war-would-kill-you-and-almost-everyone-else/>

Simulación de guerra nuclear entre Rusia y OTAN (vídeo):



Lapsos de tiempo de todas las pruebas nucleares desde 1945 (vídeo):



Ensayos nucleares reales (vídeos):



<https://www.youtube.com/watch?v=30EoIh2kADk>

Referencias

TOON, O. B., BARDEEN, C. G., ROBOCK, A., XIA, L., KRISTENSEN, H., MCKINZIE, M., PETERSON, R. J., HARRISON, C. S., LOVENDUSKI, N. S. y TURCO, R. P., 2019. Rapidly expanding nuclear arsenals in Pakistan and India portend regional and global catastrophe. *Sci. Adv.*, 5 (10):eaay5478. doi: 10.1126/sciadv.aay5478.

ROBOCK, A., OMAN, L. y STENCHIKOV, G. L., 2007. Nuclear winter revisited with a modern climate model and current nuclear arsenals: Still catastrophic consequences. *J. Geophys. Res.*, 112, D13107. doi:10.1029/2006JD008235.

MILLS, M. J., TOON, O. B., TURCO, R. P., KINNISON, D. E. y GARCÍA, R. R., 2008. Massive global ozone loss predicted following regional nuclear conflict. Proceedings of the National Academy of Sciences, pp. 5307-5312, vol. 105. doi:10.1073/pnas.0710058105.

MILLS, M. J., TOON, O. B., LEE-TAYLOR, J. y ROBOCK, A., 2014. Multidecadal global cooling and unprecedented ozone loss following a regional nuclear conflict. *Earth's Future*, 2, 161-176. doi: 10.1002/2013EF000205.

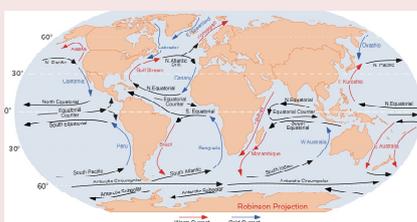
XIA, L., ROBOCK, A., SCHERRER, K. *et al.*, 2022. Global food insecurity and famine from reduced crop, marine fishery and livestock production due to climate disruption from nuclear war soot injection. *Nat. Food*, 3, 586-596. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00573-0>.

¿CÓMO SE MUEVEN LOS OCÉANOS Y CÓMO INFLUYE ESTO EN EL CLIMA?

Enrique Fernández Barrera
Meteorólogo de AEMET



(publicado en el blog de AEMET
el 4 de diciembre de 2022)



Las corrientes oceánicas juegan un papel fundamental en el funcionamiento del sistema climático. Repasaremos en este artículo algunos conceptos básicos para entender dicho papel y cómo el estudio de los mares puede ayudarnos a comprender, tanto el clima del pasado, como su posible evolución futura.

Tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta están ocupadas por los océanos. Como componente del sistema climático, la hidrosfera, y por tanto, los océanos, juegan un papel importante en el clima. Entre sus principales características podemos destacar que los océanos son la fuente principal de vapor de agua en la atmósfera, regulan el clima de zonas costeras, reducen el gradiente de temperatura entre los polos y el ecuador; por lo que suavizan el clima de latitudes medias y son una importante reserva de carbono y energía. El movimiento global de los océanos, la circulación, es un mecanismo físico fundamental que regula todos estos factores.

La circulación de los océanos es diferente según la profundidad de los océanos. Desde la superficie hasta los 200 m de profundidad (capa Ekman), aproximadamente, el principal factor que controla el movimiento de los océanos es el viento y a partir de esa profundidad, en el océano profundo, son los cambios en la temperatura y en la salinidad del agua los factores que controlan la circulación oceánica.

La fig. 1 muestra: a) la dirección y velocidad del viento promedio en enero; b) en julio; c) las principales corrientes oceánicas. Se aprecia como la dirección de las principales corrientes es similar a la del viento, por ejemplo, en los giros subtropicales sobre el Atlántico norte, que coinciden con los grandes anticiclones subtropicales atmosféricos. La explicación de esta aparente coincidencia nos la dio el oceanógrafo Vagn Walfrid Ekman, a través de un modelo físico. Este modelo surgió gracias a las observaciones que hizo el explorador Fridtjof Nansen durante una expedición al Ártico. Nansen observó que los icebergs no se desplazaban siguiendo la dirección del viento, sino que se movían a la derecha de la dirección del viento y compartió estos conocimientos con Ekman.

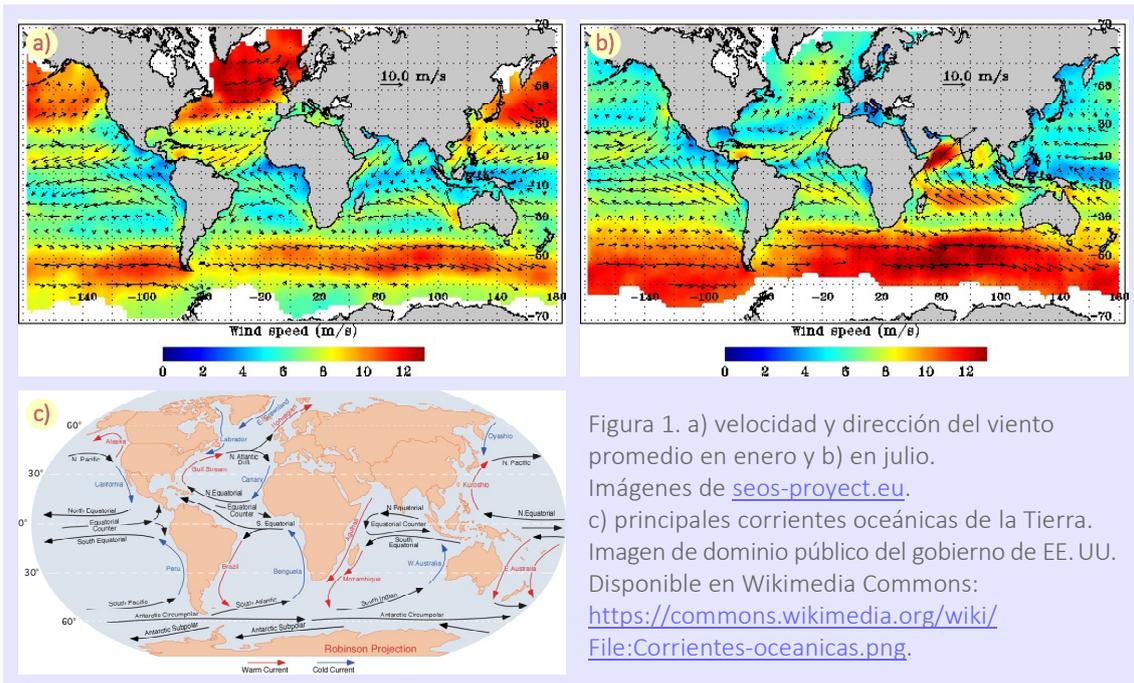


Figura 1. a) velocidad y dirección del viento promedio en enero y b) en julio. Imágenes de seos-proyect.eu. c) principales corrientes oceánicas de la Tierra. Imagen de dominio público del gobierno de EE. UU. Disponible en Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Corrientes-oceanicas.png>.

Circulación en superficie: el modelo de Ekman

Según el modelo teórico de Ekman, el viento ejerce una tensión mecánica en el océano, de forma similar a cuando alguien empuja una mesa y esta se mueve. Esta tensión mecánica hace que el agua en superficie siga la dirección del viento, pero con la profundidad, la influencia de esta tensión es menor y el agua va cambiando su dirección, es decir, el vector de corrientes gira en espiral (figura 2). La forma que toma el vector de corrientes se conoce como la espiral de Ekman y abarca toda la capa Ekman.

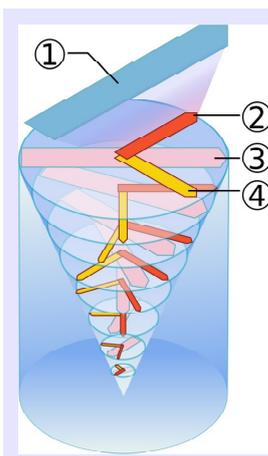


Figura 2. Corrientes oceánicas cambiando de dirección en un cierto ángulo respecto a los vientos de la superficie a causa de la fuerza de Coriolis. Efecto de la espiral de Ekman. 1: viento; 2: fuerza aplicada desde arriba; 3: dirección efectiva del flujo de corriente; 4: efecto Coriolis. Imagen de dominio público de Wikimedia Commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ekman_spirale.svg.

El efecto neto es transportar la masa de agua unos 90° a la derecha del viento, en el hemisferio norte, y a la izquierda en el hemisferio sur. Esta diferencia se da porque en este movimiento también influyen la fuerza de Coriolis y las fuerzas que producen los cambios espaciales de la presión.

Otra consecuencia importante de este movimiento es un afloramiento de las aguas profundas. Esto es lo que se produce en los límites

costeros occidentales de los continentes, como en la costa de California, en Estados Unidos. En esta zona el viento va dirigido hacia el ecuador, por lo que el transporte de masa es en dirección oeste, de acuerdo con la teoría de Ekman. Como resultado, se produce un afloramiento de aguas frías. Estas aguas frías son las responsables de las típicas nieblas que se producen en San Francisco. Otro ejemplo se da cuando sopla el viento de poniente sobre las costas de Málaga, que produce un afloramiento de aguas

frías en las costas, por eso el agua de la playa de esa zona está más fría en esas situaciones.

Cerca del ecuador, los vientos alisios del noreste en el hemisferio norte y del sureste en el sur producen un transporte de agua hacia el norte y al sur, respectivamente, favoreciendo también el afloramiento de aguas frías. Esto produce, por ejemplo, que no se formen nubes en la zona exacta donde convergen y ascienden los alisios de ambos hemisferios (la zona de convergencia intertropical) sino que las nubes aparecen algo desplazadas sobre esta zona, ya que se inhibe la convección.

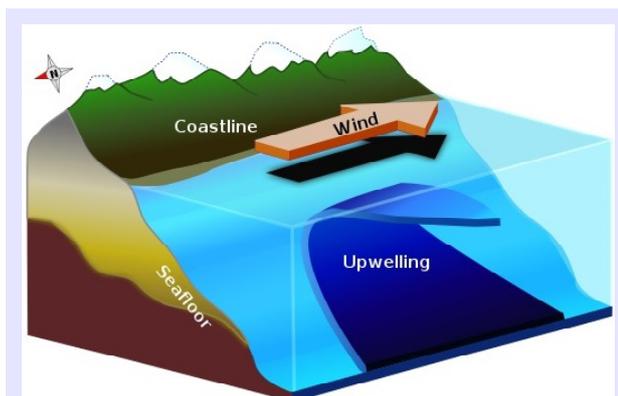


Figura 3. Afloramiento de aguas por el transporte de Ekman. Imagen de Dominio público de Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Upwelling-labels-en.svg>.

El afloramiento de aguas genera altas presiones cerca del ecuador y bajas presiones en los alrededores. Se crea, entonces, un equilibrio entre la fuerza de Coriolis y las de presión (equilibrio geostrófico). El equilibrio geostrófico genera corrientes con bajas presiones a la izquierda en el hemisferio norte y a la derecha en el sur, que fluyen en dirección contraria a los vientos alisios, dando forma a una contracorriente ecuatorial. Las contracorrientes del Pacífico se intensifican en los años que se produce El Niño, por el aumento de presión en el Pacífico occidental.

Circulación en el océano profundo: la circulación termohalina y su influencia en el clima

Por debajo de la capa Ekman, la circulación es completamente diferente y depende de las propiedades del agua: densidad, salinidad y temperatura. Por este motivo, a la circulación del océano profundo se le llama circulación termohalina (figura 4), su nombre proviene del griego *thermos* y *halos*. Estas propiedades están relacionadas entre sí:

1. A menor temperatura del agua, más densa es, y por tanto se hunde más fácilmente.
2. A más salinidad, más densidad.
3. A más profundidad en el océano, más densidad.

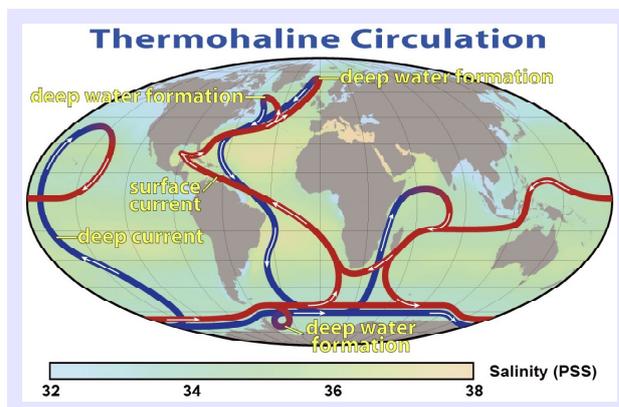


Figura 4. La circulación termohalina. El color azul representa las corrientes de aguas profundas y el color rojo las corrientes de aguas superficiales. Imagen de dominio público de NASA. Disponible en Wikimedia Commons: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermohaline_Circulation_2.png.

Las propiedades de esta circulación se conocen por medidas indirectas, como los gases disueltos en los océanos. Gracias a las propiedades de estos gases podemos conocer la fuente de la formación del agua y el momento en el que el agua estuvo en la superficie debido a que, con la profundidad, la concentración de gases como el oxígeno disuelto disminuye debido a, por ejemplo, las bacterias marinas que consumen este gas. Hay un valor para el cual el agua no puede contener más cantidad de un gas disuelto y este acaba siendo expulsado del agua. Este valor se llama punto de saturación y depende de la temperatura y salinidad del agua. La saturación aumenta al disminuir la temperatura.

Actualmente, el cambio climático está alterando la fuerza de la circulación termohalina. El derretimiento del hielo ártico hace que el agua se vuelva más dulce, con lo que es más difícil que se hunda. Una pista de este hecho nos la da la comparación de temperaturas medias entre 2020 y el promedio de 1981-2010, en la figura 6. Se observa como, en el Atlántico norte, al sur de Islandia hay una diferencia negativa de temperatura, al contrario que en el resto de la zona. Esto parece que se está produciendo por el enfriamiento de las aguas del Atlántico norte.

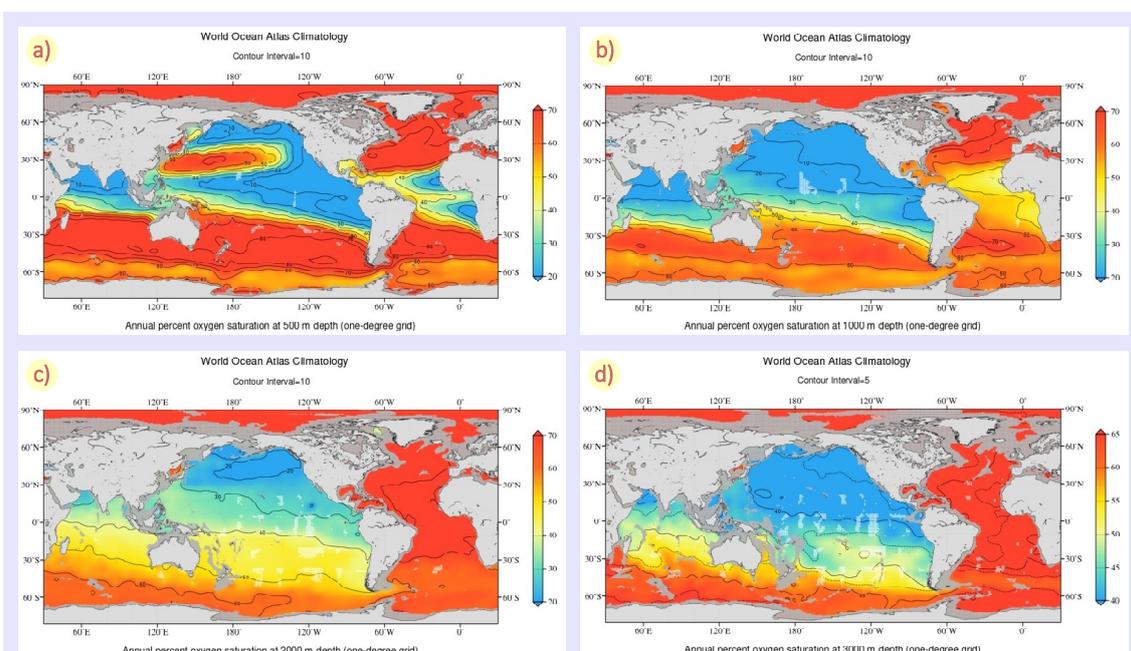
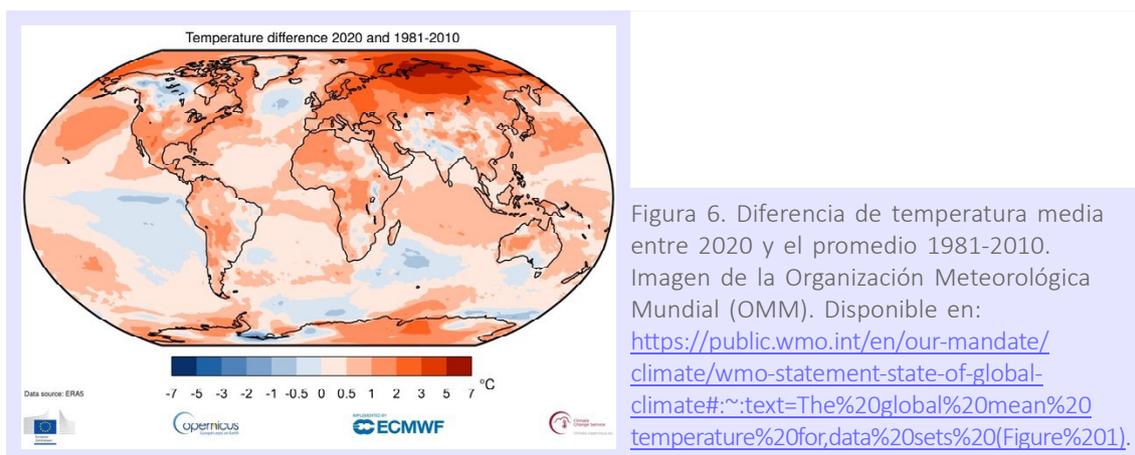


Figura 5. Mapas anuales del porcentaje de saturación del oxígeno a profundidades de 500, 1000, 2000 y 3000 m. Las zonas grises oceánicas muestran lugares donde no hay datos disponibles.

Fuente: [Atlas oceánico de la NOAA](#).

En el atlas oceánico de la NOAA, se pueden ver los mapas globales del porcentaje de saturación del oxígeno en el mundo para distintas profundidades. En la figura 5, se muestra el porcentaje de saturación del oxígeno para profundidades de 500, 1000, 2000 y 3000 m, donde influye la circulación termohalina (en el enlace podéis ver otras profundidades). Se observa como el Atlántico norte registra los porcentajes de saturación más altos (tonos más rojizos). Además los tonos de esta zona apenas se modifican al aumentar la profundidad. Esto permite ver que la fuente de formación de aguas profundas está en el Atlántico norte (NADW, North Atlantic Deep Waters). La fuente de agua es esta zona porque que el agua en estas latitudes es más fría y, por tanto, más

densa, con lo que se hunde más fácilmente. En el Atlántico tropical la saturación del oxígeno es pequeña porque hay una fuerte capa estable que impide la mezcla del agua, de ahí los tonos más azulados de los mapas a menor profundidad. A continuación, el agua continúa su recorrido por el hemisferio sur, hasta llegar al océano Glacial Antártico. En esta zona se forman también aguas profundas, ya que las aguas de esta zona tienen una baja temperatura, aunque el mecanismo de formación de aguas profundas es diferente porque aquí las corrientes son diferentes. Observad que los tonos rojizos y anaranjados son algo diferentes a los del Atlántico norte si se comparan profundidades. Después, estas aguas se desplazan al océano Índico y al Pacífico, donde afloran. Las aguas más antiguas se encuentran en profundidades **intermedias** en el Pacífico norte. En esta zona no se forman aguas profundas, como se puede observar en la figura 5, de ahí que el porcentaje de saturación del oxígeno disminuya tanto a partir de los 500 m. Las masas de agua continúan por el Índico, hasta unirse con las de esta zona y ser transportadas al Atlántico norte, volviéndose a repetir el ciclo. Una vuelta al circuito completo lleva unos 1000 años, de ahí que los cambios que se den en la circulación termohalina tarden en notarse. Esto repercute en la absorción de CO₂, ya que el océano es uno de los principales sumideros de este gas, por lo que la liberación de este gas por parte de las actividades humanas tendrá un impacto más duradero en los océanos.



Este debilitamiento de la circulación termohalina puede tener consecuencias importantes. La corriente del Golfo y la corriente noruega ejercen una importante influencia en el clima de latitudes medias en el hemisferio norte, ya que traen aguas cálidas, evitando así que el clima europeo sea más frío y más seco.

Alteraciones de la circulación termohalina se han dado en el pasado. Cuando se producía una desglaciación, el hielo ártico se derretía, por lo que disminuía la circulación termohalina. Durante la última era glacial se desprendieron grandes cantidades de hielo, los llamados eventos Heinrich, que enfriaban el Ártico, y alteraban el clima a nivel mundial, por ejemplo calentando de forma rápida la Antártida o el régimen de precipitaciones en varias partes del mundo. Cuando estos desprendimientos cesaban (eventos interstadiales) y el Ártico volvía a enfriarse, aumentaba de nuevo la cantidad de hielo y la circulación termohalina volvía a aumentar su fuerza. En la figura 7 se muestra la fuerza de la corriente del Golfo (AMOC) y la formación de aguas profundas durante esos

eventos. El freno de la circulación termohalina por la fusión del hielo es una de las principales hipótesis que intentan explicar el periodo frío que se dio hace 12 000 años, el Reciente Dryas.

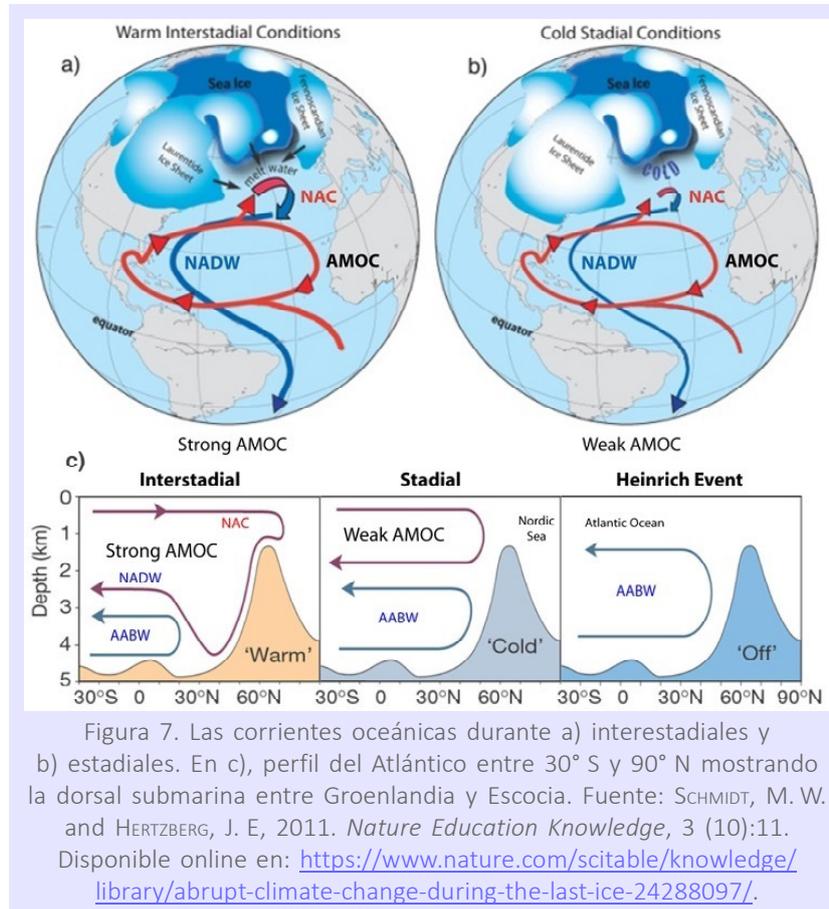


Figura 7. Las corrientes oceánicas durante a) interstadales y b) estadales. En c), perfil del Atlántico entre 30° S y 90° N mostrando la dorsal submarina entre Groenlandia y Escocia. Fuente: SCHMIDT, M. W. and HERTZBERG, J. E., 2011. *Nature Education Knowledge*, 3 (10):11. Disponible online en: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/abrupt-climate-change-during-the-last-ice-24288097/>.

Bibliografía

CRONIN, T. M., 2010. *Paleoclimates: Understanding Climate Change Past and Present*. Columbia University Press.

CAESAR, L., MCCARTHY, G. D., THORNALLEY, D. J. R. *et al.*, 2021. Current Atlantic Meridional Overturning Circulation weakest in last millennium. *Nat. Geosci.*, 14, 118-120. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00699-z>.

HARTMANN, D., 2015. *Global Physical Climatology*. Capítulo 7. Elsevier Science. De este libro recomendamos especialmente la figura 16, que muestra la variación vertical de saturación de oxígeno con la latitud en el Atlántico y el Pacífico, y disponible online, para que los profesores hagan presentaciones académicas, en: https://www.atmos.washington.edu/~dennis/GPC16_Figures/.

SALBY, M. L., 2012. *Physics of the Atmosphere and Climate*. Capítulo 17. Cambridge University Press.

BARRY, R. G. y CHORLEY, R. J., 2009. *Atmosphere, Weather and Climate*. Capítulo 7. Routledge.

ÍNDICE ALFABÉTICO DE AUTORES

(con indicación del año y del número de página en que el artículo de cada autor aparece en la Selección del blog)

- ARTECHE GARCÍA, JOSÉ LUIS: 2018 ([5](#)).
- AUPÍ ROYO, VICENTE: 2021 ([10](#)).
- BAÑÓN PEREGRÍN, LUIS MARÍA: 2020 ([5](#)).
- BERMEJO TRIMIÑO, NICOLÁS: 2018 ([32](#), [64](#)).
- CAMPO HERNÁNDEZ, RUBÉN DEL: 2019 ([47](#)), 2022 ([30](#)).
- CANO BARBACIL, CARLOS: 2017 ([17](#)).
- CANO ESPADAS, DARÍO: 2019 ([84](#)).
- CANO SÁNCHEZ, JAVIER: 2017 ([17](#)), 2018 ([25](#)).
- DÍAZ JIMÉNEZ, JULIO: 2021 ([19](#)).
- FERNÁNDEZ BARRERA, ENRIQUE: 2022 ([46](#)).
- FUENTES LÓPEZ, BENITO JOSÉ: 2016 ([30](#)), 2017 ([5](#)), 2022 ([36](#)).
- GARCÍA DE PEDRAZA, LORENZO: 2018 ([14](#)).
- GARCÍA VEGA, JOAQUÍN: 2018 ([14](#)).
- GONZÁLEZ HERRERO, SERGI: 2016 ([23](#)), 2017 ([29](#)).
- GRUPO ANTÁRTICO DE AEMET: 2020 ([9](#)).
- GUTIÉRREZ RUBIO, DELIA: 2016 ([50](#)), 2018 ([59](#)), 2019 ([5](#), [47](#)), 2020 ([61](#)), 2021 ([5](#), [41](#), [57](#)), 2022 ([5](#), [10](#)).
- HIERRO CARNICERO, JOSÉ: 2020 ([68](#)).
- LARA JAÉN, MANUEL: 2021 ([26](#)).
- LINARES GIL, CRISTINA: 2021 ([19](#)).
- LOMAS GONZÁLEZ, ALEJANDRO: 2022 ([25](#)).
- LÓPEZ DÍAZ, JOSÉ ANTONIO: 2022 ([25](#)).
- LÓPEZ-REY, DAVID: 2019 ([84](#)).
- MARTÍN GIMÉNEZ, MARGARITA: 2016 ([42](#)).
- MARTÍN LEÓN, FRANCISCO: 2018 ([50](#)).
- MARTÍN VIDE, JAVIER: 2020 ([52](#)).
- MORA GARCÍA, MANUEL: 2016 ([12](#)), 2019 ([11](#)), 2020 ([20](#)).
- NÚÑEZ MORA, JOSÉ ÁNGEL: 2016 ([5](#)), 2019 ([61](#), [69](#)), 2020 ([45](#), [55](#)), 2021 ([46](#)), 2022 ([30](#)).
- ORIA IRIARTE, PEIO: 2018 ([80](#)), 2020 ([35](#)), 2021 ([31](#)), 2022 ([18](#)).
- ORY AJAMIL, FERNANDO DE: 2016 ([59](#)).
- PASCUAL BERGHAENEL, RAMÓN: 2020 ([13](#), [68](#)).
- PASTOR SAAVEDRA, ASUNCIÓN: 2019 ([47](#)).
- PINAR SOLÉ, ANDRÉS: 2017 ([32](#), [39](#)).
- SECCIÓN CLIMATOLOGÍA (DT GALICIA): 2017 ([12](#)).
- SORIANO ROMERO, JUAN DE DIOS: 2016 ([50](#)).
- TORRIJO MURCIANO, RICARDO: 2019 ([84](#)), 2022 ([25](#)).

AEmet