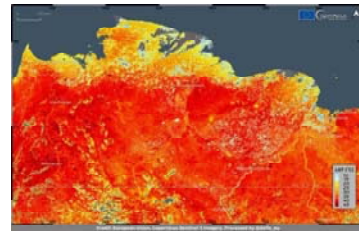
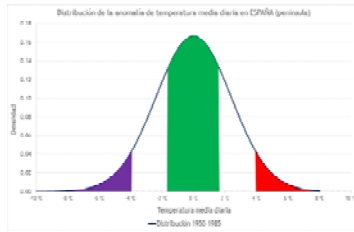
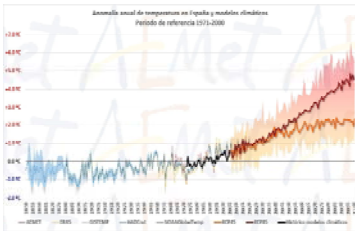
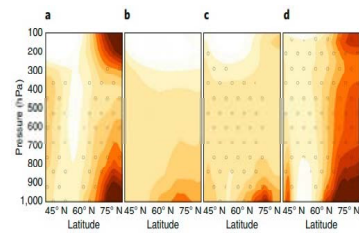
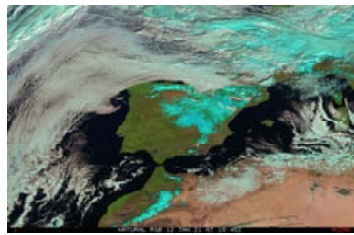


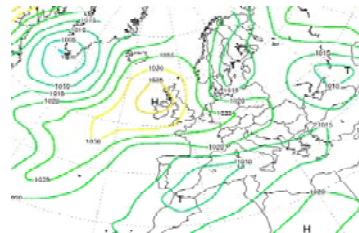
# Selecciones del blog

# AEMet 2021



**Composición química de las partículas de polvo**

Cuarzo (60%),  
Óxidos (SiO<sub>2</sub>, FeO<sub>2</sub>)  
Carbonatos (CaCO<sub>3</sub>),  
Acero,  
Titanio,  
Vanadio



*Este documento contiene una selección de algunos de los mejores artículos publicados en el blog de AEMET durante 2021. 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, 2022

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

NIPO: 666-20-025-9  
<https://doi.org/10.31978/666-20-025-9.2021>

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 2021

### Índice

---

<i>Los récords de frío tras la borrasca Filomena y el calentamiento global,</i> por Delia Gutiérrez Rubio .....	5
<i>Del General Invierno en la Guerra Civil: el hallazgo de datos históricos de Molina de Aragón confirma que la batalla de Teruel se libró a -20 °C,</i> por Vicente Aupí Royo .....	10
<i>Intrusiones de polvo del Sahara en España y su impacto en salud,</i> por Julio Díaz Jiménez y Cristina Linares Gil .....	19
<i>Las 7 vueltas al mundo en pandemia de los técnicos de AEMET,</i> por Manuel Lara Jaén .....	26
<i>La amplificación ártica, su conexión con los fenómenos de latitudes medias y la ola de calor de 2020 en Siberia,</i> por Peio Oria Iriarte .....	31
<i>Entonces, ¿es verdad que el clima está cambiando?,</i> por Delia Gutiérrez Rubio .....	41
<i>Tiempo, clima e intensificación de fenómenos extremos en España,</i> por José Ángel Núñez Mora .....	46
<i>Resumen de actividad y menciones a los mejores reportes del año 2021 en SINOBAS: selección de reportes,</i> por Delia Gutiérrez Rubio .....	57
ÍNDICE ALFABÉTICO DE AUTORES .....	63



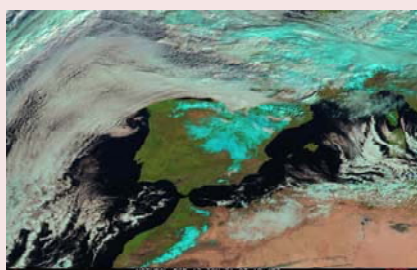


# LOS RÉCORDS DE FRÍO TRAS LA BORRASCA FILOMENA Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL

Delia Gutiérrez Rubio  
Meteoróloga de AEMET



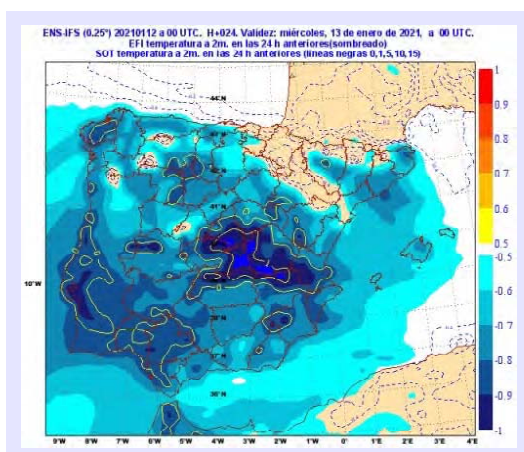
(publicado en el blog de AEMET  
el 12 de enero de 2021)



Tras el histórico temporal de nevadas al paso de la borrasca Filomena, la situación anticiclónica, con noches despejadas y vientos en calma, está favoreciendo una gran pérdida de calor por radiación en estas largas noches invernales, y temperaturas extremadamente bajas.

En la imagen RGB natural de hoy a las 10:45 UTC se aprecia muy bien, en colores azulados, la extraordinaria extensión de las zonas cubiertas todavía por nieve o hielo.

Como explicaba nuestra [cuenta de Twitter para Castilla - La Mancha](#) en este [tuit](#), con el calentamiento diurno la nieve se va fundiendo, y por la noche de nuevo se congela, perdiendo su estructura cristalina. Esta capa de hielo y nieve tiene un alto [albedo](#), es decir, refleja un alto porcentaje de la radiación solar, reduciendo el calentamiento diurno lo que, junto con el elevado enfriamiento nocturno de estas largas noches despejadas, está dejando las temperaturas medias diarias en valores muy excepcionales.



El [índice EFI](#) de temperatura media diaria para hoy martes 12 de enero da idea de lo poco frecuentes que son las temperaturas previstas, particularmente en zonas del centro-este peninsular.

## Los datos

Ayer 11 de enero ya se alcanzaron temperaturas mínimas con categoría de efeméride meteorológica en nuestros emblemáticos observatorios de Molina de Aragón, Calamocha y Teruel:

Efemérides de temperatura mínima absoluta registradas el día 11 de enero de 2021

Indic Estación	Mínima	MnAbs81-10	Fecha	AñosConDatos	MnAbsHisto	Fecha	AñosConDatos	ExtremoSerie	Fecha
08232 MOLINA DE ARAGÓN	-22,0*	-16,2	16/01/1985	1981-2010	-28,2	28/01/1952	1951-2020	-28,2	28/01/1952
08233 CALAMOCHA	-19,1**	-16,0	07/01/1997	1993-2010	-16,0	07/01/1997	1993-2020	-20,0	25/12/2001
08235 TERUEL	-17,4**	-16,2	28/01/2005	1987-2010	-16,2	28/01/2005	1987-2020	-19,0	26/12/2001

Las temperaturas mínimas registradas ayer (datos pendientes de validación posterior) fueron las más bajas registradas en un mes de enero durante toda la serie histórica (se señalan con \*\*) en nuestros actuales observatorios de Calamocha y Teruel, y quedaron por debajo de la mínima de enero del periodo de referencia 1981-2010 (se señala con \*) en Molina de Aragón. Volveremos a hablar de estos tres señalados observatorios, y del triángulo que delimitan.

Pero, después de un día más con un manto helado sobre el suelo en una gran extensión del territorio y otra noche despejada y en calma, las temperaturas se han desplomado aún más. Estos son, de manera PROVISIONAL, los registros más bajos alcanzados hoy en nuestros observatorios principales y estaciones automáticas:

Ránking de temperaturas más bajas alcanzadas hoy martes 12 en nuestra red de estaciones principales y automáticas, con valores por debajo de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la capital de [Teruel](#) y en otros observatorios de la provincia y de Guadalajara.

Temperatura mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )				
Estación	Provincia	Hora	$^{\circ}\text{C}$	
Bello	Teruel	04:30	-25.4	
Molina de Aragón	Guadalajara	05:40	-25.2	
Santa Eulalia del Campo	Teruel	08:00	-23.0	
Calamocha	Teruel	06:10	-21.3	
Teruel	Teruel	08:20	-21.0	
Daroca	Zaragoza	05:30	-18.5	
Alhama de Aragón	Zaragoza	08:20	-18.0	
Sigüenza	Guadalajara	08:50	-16.8	
Puerto El Pico	Ávila	04:20	-16.4	
Salvacañete	Cuenca	07:40	-16.2	

Si miramos con detenimiento la ubicación de los observatorios donde hemos alcanzado los registros más bajos veremos que el conocido como «triángulo del frío», delimitado por los observatorios de Teruel, Calamocha y Molina de Aragón, ha recogido hoy, una vez más, los registros más bajos de toda España.



## Los récords

Pero entonces, ¿cuáles son los récords de frío en España?, ¿ha caído alguno en esta gélida mañana?

Veamos —con la debida cautela, puesto que se trata de datos pendientes de validación posterior, y de completar si fuera necesario— el listado de efemérides de temperatura mínima absoluta generado esta misma mañana:

Efemérides de temperatura mínima absoluta registradas el día 12 de enero de 2021

Indic	Estación	Mínima	MnAbs81-10	Fecha	AñosConDatos	MnAbsHisto	Fecha	AñosConDatos	ExtremoSerie	Fecha
08232	MOLINA DE ARAGÓN	-25,2*	-18,2	16/01/1985	1981-2010	-28,2	28/01/1952	1951-2020	-28,2	28/01/1952
08221	MADRID AEROPUERTO	-13,4*	-10,4	13/01/1985	1981-2010	-15,2	16/01/1945	1945-2020	-15,2	16/01/1945
08222	MADRID, RETIRO	-7,4*	-7,4	13/01/1985	1981-2010	-10,1	16/01/1945	1920-2020	-10,1	16/01/1945
08202	SALAMANCA AEROPUERTO	-11,9*	-11,2	30/01/2006	1981-2010	-15,6	17/01/1946	1945-2020	-20,0	05/02/1963
08233	CALAMOCHA	-21,3***	-16,0	07/01/1997	1993-2010	-16,0	07/01/1997	1993-2020	-20,0	25/12/2001
08235	TERUEL	-21,0***	-16,2	28/01/2005	1987-2010	-16,2	28/01/2005	1987-2020	-19,0	26/12/2001
08272	TOLEDO	-13,4***	-9,6	27/01/2005	1983-2010	-9,6	27/01/2005	1983-2020	-9,6	27/01/2005
08157	DAROCA	-18,5*	-16,8	16/01/1985	1981-2010	-21,2	17/01/1945	1920-2020	-24,2	02/01/1918

Como en la tabla anterior, los registros marcados con \* indican que se ha superado el valor extremo para el mes de enero del periodo 1981-2010. Ahora bien, en esta ocasión vemos también registros marcados con \*\*\*, que nos indican que hoy se ha alcanzado en esos observatorios la **temperatura más baja registrada en toda su serie histórica**, para cualquier mes del año.

NOMBRE	ALTITUD	MIN_T_MIN	F_MIN_T_MIN
CALAMOCHA-VOR (TERUEL)	932	-30,0	17/12/1963
MOLINA DE ARAGÓN (GUADALAJARA)	1062	-28,2	28/01/1952
ALBACETE/LOS LLANOS	702	-24,0	03/01/1971
DAROCA I (ZARAGOZA)	779	-22,4	17/12/1963
BURGOS/VILLAFRÍA	891	-22,0	03/01/1971
LA MOLINA (GIRONA)	1703	-21,4	11/02/1956
VITORIA AERODROMO (ARABA/ALAVA)	521	-21,0	25/12/1962
NAVACERRADA PI/FRTO (MADRID)	1894	-20,3	25/12/1967
CALAMOCHA (TERUEL)	890	-20,0	25/12/2001
SALAMANCA/MATACAN	790	-20,0	05/02/1963
PUERTO DE SAN ISIDRO (LEON)	1510	-19,3	02/03/2004
TERUEL	900	-19,0	26/12/2001
ALBACETE,OBS.	676	-19,0	14/02/1983
VALLADOLID/VILLANUBLA	846	-18,8	03/01/1971
LA PINILLA, ESTACIÓN DE ESQUÍ	1798	-18,7	15/12/2001
CUENCA	948	-17,8	03/01/1971
FORONDA-TXOKIZA	513	-17,8	08/01/1985
CARRIÓN DE LOS CONDES	830	-17,4	20/12/2009
IFÓN/VIRGEN DE CAMINO	917	-17,4	13/01/1945
UTIEL, LA CUBERA	758	-17,4	29/01/2006

El récord de frío en observatorios de AEMET es de  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el observatorio Calamocha-VOR.

Por tanto, los actuales observatorios de Calamocha (Teruel), con datos desde 1993, Teruel, con datos desde 1987 y Toledo, con datos desde 1983, han batido su récord de temperatura mínima.

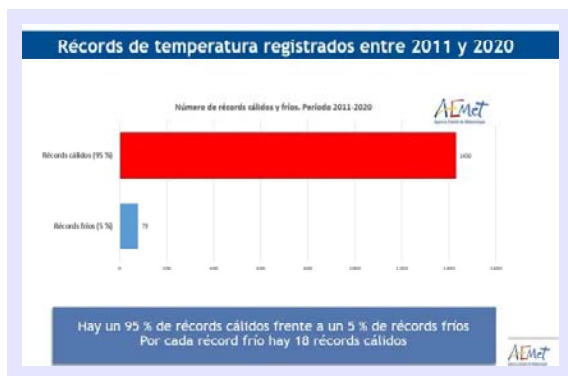
Pero, ¿cuál es la temperatura más baja registrada en nuestra red de observación?, ¿la hemos alcanzado o superado? Veamos la tabla de los veinte registros más bajos de las estaciones OpenData (una selección de 291 estaciones, que incluye todas las principales —tanto las activas actualmente, como las que lo estuvieron en el pasado— y un grupo de automáticas pertenecientes a la red mesoescalar) con al menos 240 meses de datos, considerando datos desde 1920:

El récord alcanzado hoy en nuestro observatorio de Calamocha está registrado en una estación distinta de la denominada «Calamocha-VOR», que ostenta el récord de esta serie de registros de temperaturas mínimas, y que estuvo en operación, en una ubicación distinta a la de la estación actual, desde 1942 hasta 1985.

## ¿Dónde está el calentamiento global?

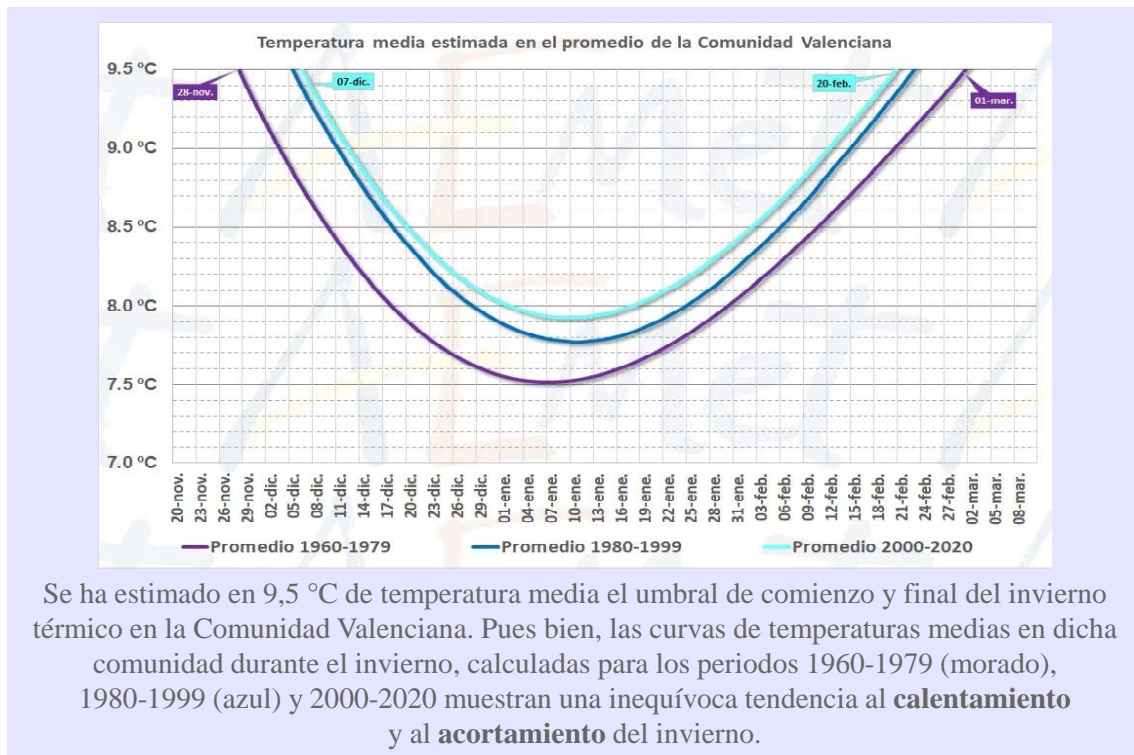
Como ocurre cada vez que hay un episodio de frío extremo, esta pregunta, bien sea inocente y bienintencionada, o retardadora y llena de sospecha, vuelve a plantearse en estos días, e incluso algunas personas, de mayor o menor relevancia social, pero poco o mal informadas o, aún peor, malintencionadas, ni siquiera plantean preguntas, sino afirmaciones que pueden sembrar confusión.

Por eso, no nos cansaremos de repetir algo muy sencillo: **el tiempo no es el clima**. Si un día cae una tromba de agua en el desierto de Almería, ¿alguien pondrá en cuestión que el clima allí es muy seco? Lo cierto es que las evidencias del [calentamiento global](#) del planeta son abrumadoras, y se constatan mes tras mes y año tras año en un aluvión de datos científicos que, en la [cuenta de Twitter de AEMET](#) venimos etiquetando como [#ElPlanetaHabla](#).



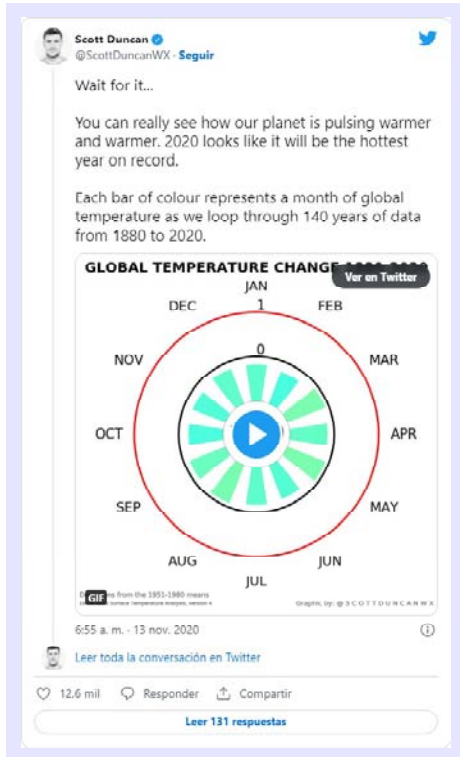
Sin ir más lejos, el pasado 17 de diciembre, AEMET daba a conocer un dato relevante: El número de récords en España de temperaturas cálidas en la última década ha sido extraordinariamente superior al número de récords de temperaturas frías.

Para abundar más, nuestro compañero J. A. Núñez preparaba ayer mismo un revelador [estudio sobre el acortamiento de los inviernos en la Comunidad Valenciana](#) del que extraemos este gráfico:



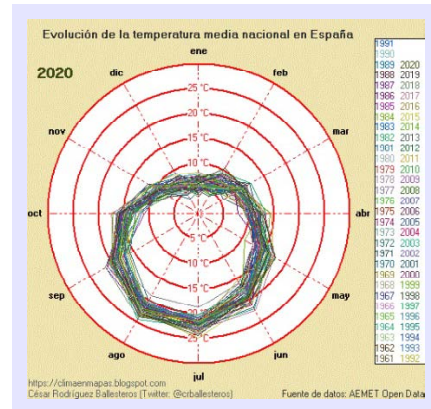
Se ha estimado en 9,5 °C de temperatura media el umbral de comienzo y final del invierno térmico en la Comunidad Valenciana. Pues bien, las curvas de temperaturas medias en dicha comunidad durante el invierno, calculadas para los periodos 1960-1979 (morado), 1980-1999 (azul) y 2000-2020 muestran una inequívoca tendencia al **calentamiento** y al **acortamiento** del invierno.





En el ámbito global, el gráfico animado de la izquierda, del meteorólogo británico Scott Duncan, que presenta la evolución de la temperatura media mensual global desde 1880, es muy elocuente.

Y, a nivel de España, no lo es menos la animación inferior, extraída del blog de nuestro compañero César, que presenta la evolución de la temperatura media mensual en nuestro país desde 1961.



Por lo que sabemos de la crisis climática que nuestra civilización ha provocado, nos enfrentamos a **un clima más cálido, pero también más extremo**, por tanto, debemos estar preparados tanto para el aumento de la temperatura y de las olas de calor como para episodios como la [#borrascaFilomena](#) de este invierno o la [#borrascaGloria](#) del pasado, pero, sobre todo, debemos comprometernos con una transformación de nuestro modelo económico y de consumo que nos permita frenar esta tendencia al calentamiento, y armonizar nuestro modo de vida con el respeto al [sistema climático](#) en el que lo desarrollamos.

## Agradecimientos

A César Rodríguez Ballesteros por proporcionarnos esta misma mañana los datos provisionales de nuestra Base de Datos Climatológica.

A Miguel Ángel Martínez por la imagen de satélite procesada.

A José Ángel Núñez por el excelente estudio que nos facilitó ayer.

A las compañeras y compañeros de AEMET que, incluso en condiciones tan adversas, facilitan las observaciones y los datos, a quienes ponen los medios para hacerlos llegar a su destino, a quienes construyen las bases de datos y elaboran los estudios que nos permiten interpretarlos, a quienes vigilan día y noche la evolución de la atmósfera y emiten avisos y predicciones con el fin de salvaguardar nuestra seguridad y nuestros bienes.

A quienes nos siguen en las redes y los medios, colaboran, complementan con sus datos, sugieren, critican, y a veces, con una generosidad que agradecemos infinitamente, hasta nos felicitan por nuestro trabajo.

## DEL GENERAL INVIERNO EN LA GUERRA CIVIL: EL HALLAZGO DE DATOS HISTÓRICOS DE MOLINA DE ARAGÓN CONFIRMA QUE LA BATALLA DE TERUEL SE LIBRÓ A $-20^{\circ}\text{C}$

Vicente Aupí

Autor del libro “El General Invierno y la Batalla de Teruel”



(publicado en el blog de AEMET  
el 27 de enero de 2021)

*El próximo mes de febrero se cumplirán 83 años del final de la dramática y decisiva batalla de Teruel, en plena guerra civil española. El periodista, escritor y divulgador científico —y además colaborador de AEMET en la estación de Torremocha del Jiloca— [Vicente Aupí](#), se ha prestado a colaborar con AEMETBlog para recordarnos las extremas condiciones meteorológicas que padecieron los combatientes y la población civil afectada, y nos ofrece además, en primicia, un revelador descubrimiento. Cuando aún tenemos en la memoria las consecuencias de la borrasca Filomena y la ola de frío posterior en nuestra España actual, resulta estremecedor pensar en cómo vivirían aquel gélido invierno en pleno campo de batalla hace cerca de un siglo.*



Soldados del Batallón Británico de la Brigada internacional XV en la población turolense de Fuentes Calientes. Los brigadistas internacionales que llegaron a la «cálida España» no imaginaron un invierno tan crudo como el que se vivió entre diciembre de 1937 y febrero de 1938. Fotografía de Harry Randall, Archivo de la Brigada Lincoln (ALBA).

La legendaria figura del General Invierno suele asociarse a las fallidas invasiones de Rusia por Napoleón y Hitler, pero hay un episodio de la historia de España que comparte la épica y la tragedia de aquellas dos: la Batalla de Teruel. Por las fechas en las que se desarrolló, entre el 15 de diciembre de 1937 y el 22 de febrero de 1938, y por su carácter decisivo en la evolución posterior de los acontecimientos, podemos considerarla el episodio central de la Guerra Civil Española.

En primer lugar, fue una de las batallas más cruentas desde el punto de vista bélico, porque tanto la ciudad de Teruel como muchas poblaciones cercanas sufrieron los ataques sucesivos de los dos bandos, que dejaron una de las mayores devastaciones en una capital de provincia, así como una tragedia humana inconcebible, tanto por los miles de muertos y heridos (militares y civiles), como por la diáspora que produjo. Sin embargo, lo peor de todo fue el terrible impacto añadido por el frío y la nieve en plena batalla durante uno de los inviernos más crudos del siglo XX, con temperaturas de entre  $-20\text{ °C}$  y  $-25\text{ °C}$  en Teruel y su entorno, donde hubo miles de bajas por congelación entre los combatientes, tanto de las fuerzas sublevadas como de las republicanas.



Aspecto que presentaba la ciudad de Teruel al final de la batalla que se desarrolló entre mediados de diciembre de 1937 y finales de febrero de 1938. La devastación causada por los continuos ataques y contraataques entre ambos ejércitos fue una de las mayores en una capital de provincia. Foto de autor desconocido perteneciente a los fondos de la Biblioteca Nacional de España.



Brigadistas internacionales del Batallón Lincoln-Washington en el Frente de Teruel, al que llamaron “el Polo Norte”. Fotografía de Harry Randall, Archivo de la Brigada Lincoln (ALBA).

La presencia de aire polar sobre España fue mucho más persistente de lo habitual, en un invierno en el que las singularidades del clima de esta provincia aragonesa se aliaron con las carencias propias del frente (hambre, desnutrición, falta de indumentaria de abrigo y pernoctas a la intemperie) para causar entre las tropas efectos tanto o más desastrosos como el de los propios combates. Tanto fue así, que entre el 15 de diciembre de 1937 y el 22 de febrero de 1938, las fechas en las que se desarrolló la batalla, más de 15 000 combatientes de los dos ejércitos sufrieron congelaciones, que causaron la muerte de muchos de ellos y amputaciones de miembros (pies fundamentalmente) en el resto.



## Hallazgo de datos de Molina de Aragón que confirman mínimas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Aunque durante la Guerra Civil se interrumpió la toma de datos meteorológicos en el Observatorio de Teruel, las condiciones del invierno 1937-38 se pudieron conocer hace años gracias al cercano [Observatorio de Daroca](#), uno de los pocos que se mantuvo en funcionamiento durante la contienda. Pero en enero de 2021 ha aparecido en los archivos de AEMET un documento histórico no conocido hasta la fecha: una hoja de observaciones meteorológicas de Molina de Aragón de enero de 1938, en plena guerra y en plena Batalla de Teruel. Este hallazgo aporta mucha luz al conocimiento de las condiciones extremas que se vivieron en aquellos días, porque Molina de Aragón es junto a Calamocha y Teruel uno de los vértices del triángulo geográfico que forma el Polo del Frío español, y su clima, en especial en este tipo de condiciones invernales extremas, guarda un mayor paralelismo con Teruel que el de Daroca.

La hoja de observaciones de Molina de Aragón de enero de 1938 aporta datos excepcionales: los días 3 y 6 de enero de 1938 se anotan a las 7 horas temperaturas de  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y el día 7 se observan  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Es lo que marcaba el termómetro a esa hora, por lo que las mínimas debieron ser todavía más bajas. Es probable que en aquellos primeros tiempos los observadores no dispusieran todavía de termómetros de máxima y mínima, por lo que los datos se circunscribían a los valores observados en tiempo real. Por tanto, a los  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$  que se leyeron a las 7 horas debieron seguir valores todavía más bajos poco después. Hay que recordar que se trata de la primera semana de enero, en la que a pesar de que el día en conjunto no es tan corto como en el solsticio de diciembre, el Sol sale muy tarde y las noches todavía son muy largas.

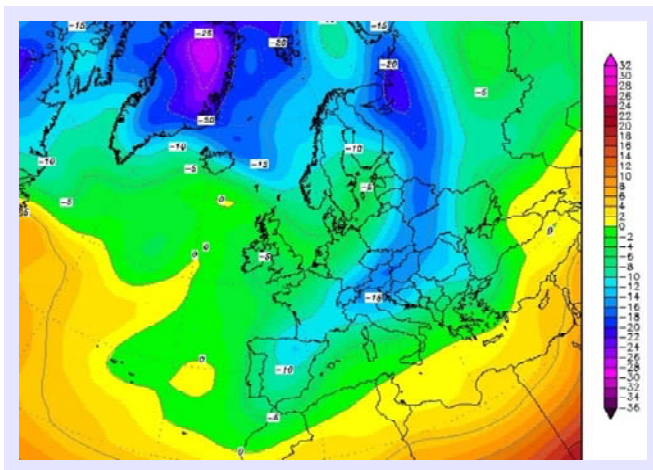
Día	TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL AIRE												TEMPERATURAS EXTREMAS																				
	7h						13h						21h						Máxima						Mínima								
1	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	3.5	4.0	4.0	3.1	3.0	3.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2	16.0	16.0	14	13	12	11	7.0	7.0	7.0	2.7	10.0	10.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
3	21.0	21.0	19	18	17	16	11.0	11.0	11.0	2.5	7.5	7.5	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
4							0.5				4.5		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
5							3.5				9.0		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
6							4.5				8.0		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
7							1.0				9.0		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
8							4.0				8.0		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
9							5.0				8.0		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
10							1.0				5.0		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
11							1.0				5.0		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
12							0.5				2.0		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
13							5.0	4.5	7.0	3.1	4.0	4.0	2.0	6.0	9.0	6.4	7.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
14							3.0	3.0	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
15							4.0	4.0	4.0	4.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
16							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
17							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
18							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
19							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
20							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
21							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
22							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
23							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
24							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
25							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
26							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
27							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
28							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
29							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
30							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
31							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
32							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
33							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
34							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
35							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
36							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
37							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
38							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
39							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
40							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
41							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
42							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
43							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
44							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
45							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
46							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
47							4.0	3.5	4.0	5.0	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
48							4.0	3.5	4.0	5																							

Si los datos de Daroca ya permitían deducirlo, la hoja de observaciones de Molina de Aragón de enero de 1938 avala definitivamente las extremas condiciones que se dieron en la zona de combate de Teruel, tanto en la capital como en sus alrededores, en especial en las depresiones del Jiloca y el Alfambra, así como en el amplio cerco junto al río Turia que bordea la ciudad aragonesa, donde muy probablemente también se alcanzaron temperaturas del orden de los  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  o inferiores. Es importante, en este sentido, el detalle de que la hoja de Molina de Aragón recoge valores de  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$  dos días, pero no como temperatura mínima, sino como lectura a las 7 horas, por lo que la mínima real todavía tuvo que ser más baja, presumiblemente de  $-22$  a  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Los fríos durante la Batalla de Teruel dieron pie históricamente a todo tipo de teorías y leyendas. Si los datos de Daroca ya permitieron conocer hace años la magnitud de la tragedia añadida que supuso el frío, el hallazgo de la hoja de observación de enero de 1938 en Molina de Aragón confirma y avala la realidad vivida en los combates del Frente de Teruel durante aquel crudo invierno, y explican también por qué se produjeron tantos casos de congelaciones entre los combatientes.

### España bajo el aire polar

Por otra parte, durante el trimestre de diciembre de 1937 a febrero de 1938 España quedó envuelta por una persistente masa de aire frío merced a la notable frecuencia de advecciones de aire polar, muy superior a la de un invierno normal. El aire de procedencia polar se mantuvo aquel trimestre más de 45 días sobre España, dando lugar a un invierno muy frío.

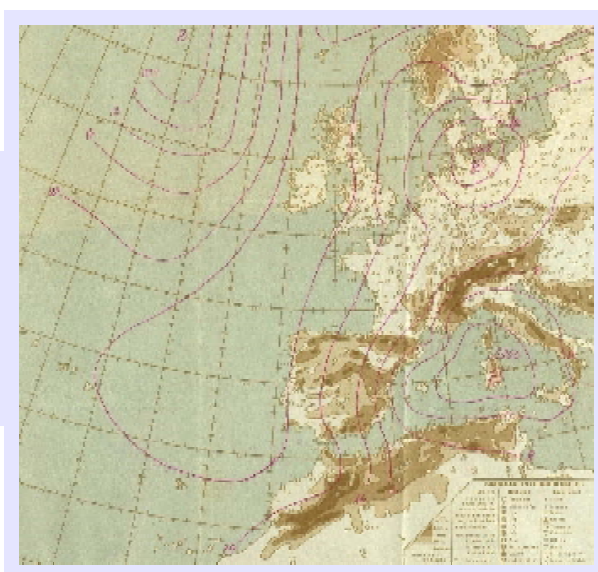


Perfil térmico a 850 hPa del día 6 de enero de 1938, durante la semana más cruda del invierno 1937-38, en la que estuvo helando de forma continua en el cerco de Teruel, donde las temperaturas debieron bajar de los  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la zona de combate. Reanálisis vía Wetterzentrale.

A los pocos días de producirse el alzamiento de julio de 1936, la ciudad de Teruel fue rápidamente controlada por los sublevados. Un año después, en otoño de 1937, el Gobierno Republicano y los principales mandos de su ejército temieron un ataque de Franco sobre Madrid, que hubiese supuesto en aquel momento su derrota definitiva y el final de la guerra. Por ello, planean una ofensiva sobre Teruel como maniobra de distracción para evitar que el enemigo atacara Madrid, y la inician el 15 de diciembre de 1937, sorprendiendo a las fuerzas franquistas. Empieza ese día uno de los episodios decisivos de la Guerra Civil Española, que se prolonga hasta el 22 de febrero de 1938 y la historia conoce como Batalla de Teruel.

En lo que concierne a los hechos de la guerra, tras su ofensiva del 15 de diciembre, los republicanos culminan sus propósitos entre el 7 y el 8 de enero y logran su gran victoria, en lo que momentáneamente se convierte en una inyección de moral además de su primera y única conquista de una capital de provincia. Aunque los hechos demostrarían después que Teruel tenía un papel estratégico mucho más importante de lo que se pensaba desde ambos mandos militares y políticos, la realidad fue que en aquellos momentos no se otorgaba a esta ciudad mucha importancia desde el punto de vista militar, por lo que la cúpula republicana cometió el error de suponer que Franco no contraatacaría. Sin embargo, el líder de los sublevados hizo de Teruel su máxima prioridad y, aunque sus intentos de un contraataque frontal no dieron fruto, el 22 de febrero de 1938 lograría recuperar la plaza merced a la llamada Maniobra del Alfambra, llevada a cabo las semanas previas por los pueblos próximos al río del mismo nombre.

Mapa meteorológico del 17 de diciembre de 1937, elaborado durante la ofensiva republicana en Teruel por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), todavía en manos del Gobierno de la República. Cortesía del Centro Documental de la Memoria Histórica.



Dicho así, sin más, podría parecer que el resultado de los combates entre los dos ejércitos contendientes fue producto únicamente de sus respectivas fuerzas, pero el caso de la Batalla de Teruel tiene una peculiaridad muy importante: la influencia trascendental de los temporales de nieve y del frío que milimétricamente acompañaron el curso de la guerra entre el 15 de diciembre de 1937 y el 22 de febrero de 1938. Los datos de reanálisis disponibles en la actualidad permiten comprobar fácilmente que en el invierno 1937-38 la masa de aire que descansaba sobre la Península fue muy fría, con la salvedad de una pequeña bonanza que se dio en la segunda quincena de enero de 1938. Desde el punto de vista meteorológico y de la influencia del estado del tiempo en los acontecimientos de la guerra, hay que destacar tres oleadas fundamentales: la primera, a mediados de diciembre, coincidiendo con el inicio de la ofensiva republicana; la segunda, desde la nochevieja de 1937 al 8 de enero de 1938, pieza clave en la evolución de la guerra y la de mayor magnitud meteorológica, y una tercera a mediados de febrero de 1938, que marcó los días finales de la batalla.

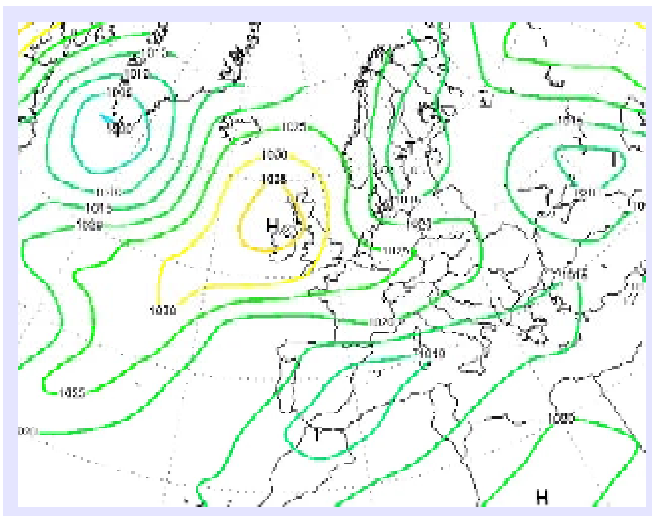
La ofensiva republicana del 15 de diciembre de 1937 pilla totalmente desprevenido al bando sublevado en Teruel y permite que las tropas leales al Gobierno de la República tomen el control de la capital durante los días siguientes, a excepción de algunos edificios

del centro, en los que resisten varios reductos franquistas, al mando de los cuales está el coronel Domingo Rey d'Harcourt. Pero el ataque republicano no fue la única sorpresa, ya que llegó junto a un temporal de nieve en un mes de diciembre frío, gris y especialmente nevoso. Aunque las condiciones fueron muy duras para todos los combatientes, las nevadas de mediados de diciembre favorecieron el avance republicano, al dificultar la reacción franquista, que no solo no esperaba una ofensiva del enemigo sobre Teruel, sino que tampoco imaginaba el protagonismo que la nieve tuvo aquellos días.

Pese a la lentitud de los primeros días en la respuesta de las filas sublevadas y la paulatina toma de posiciones del ejército leal a la República en la mayor parte de Teruel, durante la navidad de 1937 se producen avances de las tropas franquistas comandadas por los generales Antonio Aranda y José Enrique Varela, que desde el exterior intentan llegar hasta la capital en ayuda de los reductos que resisten la ofensiva republicana en varios edificios del centro histórico. El día de nochevieja, mientras se produce un inexplicable vacío entre las defensas republicanas, grupos de soldados rebeldes consiguen entrar en la ciudad de Teruel y toman posiciones junto al cauce del río Turia a la espera de la orden para atacar el centro histórico y alcanzar los edificios en los que permanecen bloqueados sus compañeros de filas en los reductos al mando de Rey d'Harcourt.

### **La épica nevada de la Nochevieja de 1937**

Lo sucedido en las horas siguientes en Teruel ha dado pie a todo tipo de opiniones y versiones y es parte de la epopeya. Aquella última tarde de 1937, las tropas de Franco están en disposición de recuperar la ciudad y socorrer a sus compañeros sitiados en el centro, pero en lugar de proseguir su avance, reciben la orden de detenerse junto al cauce del Turia a la espera del momento en que se decida un ataque definitivo. La historia no ha dado una respuesta unánime a las causas de aquella contradictoria orden, pero mientras el mando sublevado vacilaba acerca del mejor momento para atacar, la atmósfera da un giro implacable y la tarde de nochevieja se desata una de las mayores nevadas sobre Teruel en los años 30, dejando un extraordinario manto blanco que lo congela todo, incluida la entrada de las tropas de Franco, que se quedaron a un paso de reconquistar la ciudad. Mientras se abate la gran nevada, el mando republicano logra reorganizarse y forma un nuevo



Presión atmosférica en superficie del día 31 de diciembre de 1937 a partir del reanálisis de la NOAA. La nochevieja, con la gran nevada que bloqueó a las tropas franquistas cuando estaban a punto de recuperar Teruel, fue una de las jornadas decisivas. Imagen vía Wetterzentrale.



cordón defensivo para impedir la entrada del enemigo, lo que deja definitivamente aislados y sin posibilidad de auxilio exterior a los militares sublevados que ocupan el Seminario, la Comandancia, el Gobierno Civil y otros edificios estratégicos.

Cubierta por la nieve en nochevieja y expuesta a los cielos despejados de las jornadas siguientes, Teruel se transforma en una ciudad helada entre el día de año nuevo y el 7 de enero, en la semana más gélida del invierno 1937-38. Los datos del Observatorio de Daroca y los recientemente encontrados de Molina de Aragón muestran que el termómetro no subió de los 0 °C en todo ese periodo, salvo breves momentos. Las temperaturas mínimas en Daroca se movieron los peores días entre los -13 °C y los -16 °C, mientras que en Molina de Aragón se bajó de los -21 °C, por lo que en la ciudad de Teruel es muy probable que se alcanzaran valores en el entorno de los -18 °C o -20 °C, que en las zonas exteriores del cerco debieron caer claramente por debajo de los -20 °C.

Aunque durante todo el invierno el impacto del frío fue generalizado, la primera semana de 1938 es la que concentra el mayor número de bajas por congelación entre las dos tropas. De la misma forma que en la Primera Guerra Mundial aparecen dolencias entre los soldados que pasaban demasiado tiempo en suelos encharcados o cubiertos por la nieve, en la Batalla de Teruel la sanidad militar se enfrenta a un nuevo reto: el de las congelaciones en el teatro de operaciones. Nace en plena batalla el mal de los pies negros, así denominados por las necrosis generalizadas que causaban las bajísimas temperaturas. De los [Pies de Trincheras](#) de la gran guerra se derivó a los Pies de Teruel en la Guerra Civil Española, como se denominó entre los médicos a la dolencia que presentaban miles de combatientes, a los que fue necesario realizar dolorosas amputaciones, en la mayoría de los casos de dedos. Digno de mención a este respecto es el [estudio que realizaron Pablo Larraz y Cristina Ibarrola](#), basado en la oleada de soldados nacionales que fueron derivados desde el Frente de Teruel a los hospitales de Navarra durante el invierno 1937-38. Pese a que existan menos datos, las bajas y amputaciones por el frío entre la tropa republicana también fueron muy numerosas, de manera que este episodio dio lugar a muchos análisis y artícu-

los especializados por parte de médicos que tuvieron que atender directamente a las víctimas, tanto en hospitales de sangre como de segunda línea. Uno de los testimonios más notables fue el del doctor [Vicente Rojo Fernández](#), destinado al Frente de Teruel e hijo del general Vicente Rojo Lluch, principal responsable republicano de la estrategia y operaciones militares en la ciudad aragonesa.

TEMPERATURAS Y TIEMPO DEL 28 DE DICIEMBRE DE 1937 AL 8 DE ENERO DE 1938 DURANTE LA BATALLA DE TERUEL				
DÍA	MED	MAX	MIN	TIEMPO
28	0,5	4,5	-3,6	Niebla
29	0,7	6,6	-5,2	Escarcha
30	-1,3	4,9	-7,4	Escarcha
31	-2,8	0,8	-6,3	Nieve
1	-4,1	-1,2	-7,0	Nuboso
2	-5,3	3,1	-13,7	Escarcha
3	-6,6	0,0	-13,1	Escarcha
4	-8,7	-1,6	-15,8	Escarcha
5	-2,9	0,0	-5,8	Escarcha
6	-7,4	1,0	-15,8	Escarcha
7	-6,3	1,2	-13,8	Escarcha
8	1,0	7,6	-5,6	Nuboso
MEDIAS	-3,6	2,2	-9,4	

Temperaturas en °C. Elaboración propia a partir de los datos oficiales de Aemet en el Observatorio de Daroca. Med: Temperatura media. Max.: Temperatura máxima. Min.: Temperatura mínima.

## **Capitulación en una ciudad devastada y congelada**

---

En medio de las espantosas condiciones que se vivieron durante la gran nevada de la nochevieja de 1937 y la helada continua a la que quedó sometido el cerco de Teruel durante la primera semana de 1938, sin agua, sin víveres y con las tropas de auxilio enviadas por el mando franquista totalmente bloqueadas, el jefe militar de la plaza, Domingo Rey d'Harcourt, capitula ante el coronel republicano Juan Hernández Saravia entre los días 7 y 8 de enero. Teruel se convierte en la primera y única ciudad que el ejército leal a la República arrebató a los sublevados, pero además de ello la rendición genera uno de los capítulos más lamentables entre los propios rebeldes, ya que Franco y sus generales acusan absurda e injustamente a Rey d'Harcourt de traición por aceptar la capitulación, a pesar de que la historia ha demostrado que su decisión sirvió para salvar miles de vidas, ya que junto a los efectivos militares en los edificios del centro de Teruel había miles de civiles, muchos de ellos heridos o enfermos, a los que era absolutamente imposible atender y alimentar, ya que no se disponía de agua ni comida.

Aunque la rendición franquista del 7-8 de enero de 1938 fue el momento culminante, en las semanas siguientes la Batalla de Teruel mantiene el paralelismo entre los hechos de la guerra y las condiciones atmosféricas. Si bien durante la segunda quincena de enero hay un periodo sin nevadas y con temperaturas más benignas, el General Invierno regresa en febrero. En contra de lo que imaginaba el mando republicano, Franco no asume la derrota y hace de la caída de Teruel un asunto personal, desoyendo incluso las continuas advertencias de los asesores de Hitler y Mussolini, sus aliados en la Guerra Civil, que insisten en que olvide la pequeña ciudad aragonesa y centre su estrategia en objetivos teóricamente más importantes. El Generalísimo, en cambio, contraataca abiertamente y, a pesar de que durante la segunda quincena de enero no logra su objetivo, los combates sí que causan un efecto secundario entre los republicanos: desgaste, desmoralización y pérdida de medios y armamento tras el brutal precio que supuso la victoria momentánea de la primera semana del año en medio de unas condiciones meteorológicas extremas.

## **El General Invierno, aliado final de Franco**

---

Entrado febrero, Franco y sus generales optan por un ataque exterior, a través del flanco indirecto del río Alfambra, por el que apenas encuentran oposición republicana y se aproximan casi sin obstáculos a la capital turolense. Este avance decisivo, que discurre en medio de un evidente abandono y desmoralización general entre la tropa leal a la República, coincide con la tercera y última advección de aire polar de aquel invierno. La nieve y el frío regresan al frente y, en contra de lo sucedido en diciembre y enero, esta vez el General Invierno se convierte en aliado de Franco, que el 22 de febrero culmina la reconquista de Teruel. Los republicanos pierden de forma sorprendente la ciudad que tanto sufrimiento les había costado ganar a principios de enero, y los ecos internacionales de su victoria se apagan con su caída, que trae de la mano la certeza de que la Guerra Civil Española está sentenciada, como más tarde demostraron los hechos.

Tras la reconquista de Teruel, los sublevados se abren camino por el Maestrazgo hasta el Mediterráneo en pocas semanas y parten en dos el eje republicano Valencia-Barcelona. Nada sería igual después de la Batalla de Teruel. Ya conocemos cómo acabó la guerra y lo





# INTRUSIONES DE POLVO DEL SAHARA Y SU IMPACTO EN LA SALUD

Julio Díaz y Cristina Linares

Instituto de Salud Carlos III. Escuela Nacional de Sanidad

(publicado en el blog de  
AEMET el 11 de marzo  
de 2021)



Sucesivas oleadas de polvo sahariano han sido noticia en nuestro país en las últimas semanas, y han dejado rastro incluso en la nieve de nuestras montañas, como se aprecia en la cata de la imagen de la izquierda, tomada en la sierra de Guadarrama el 3 de marzo por nuestro compañero [@TFCanadas](#).

Pero el polvo en suspensión en la atmósfera no es solo un problema porque «ensucia los coches» o porque reduce la visibilidad, sino que también empeora la calidad del aire. Para conocer qué impacto en nuestra salud tienen las intrusiones de polvo del Sahara en España hemos contactado con dos expertos del Grupo de Investigación en Salud y Medio Ambiente Urbano. Gracias [@ensgismau](#) por esta colaboración en AEMETblog.



Las advecciones de polvo del Sahara son relativamente comunes en España, oscilando su frecuencia de aparición entre el 9,6% de los días en la región Noroeste de España y el 30,1% en la región Sureste, pasando por el 18,2% en la región Centro y el 22,4% en las islas Canarias según un estudio realizado en España con datos del periodo 2004-2009 (DÍAZ *et al.*, 2017).

Estos valores de frecuencia de aparición son muy similares a los registrados en otros países del sur de Europa oscilando con un 28,5% en Palermo y el 8,8% de Emilia-Romagna (STAFOGGIA *et al.*, 2016).

Desde el punto de vista de su **distribución temporal**, en la Península estas intrusiones están presentes en todas las épocas del año y varían según las diferentes regiones, pero como regla general, suelen darse con mayor frecuencia en los meses de junio, julio y agosto y son menores las intrusiones en los meses de invierno. Por el contrario, las islas Canarias suelen mostrar mayor frecuencia de eventos en invierno y menos en verano y en las islas Baleares las mayores frecuencias de intrusión se dan de abril a octubre (DÍAZ *et al.*, 2018; RUSSO *et al.*, 2020).

En general, cuando se produce una intrusión de polvo de origen sahariano se produce un incremento estadísticamente significativo en las concentraciones del [material particulado](#) con un aumento estadísticamente significativo en las concentraciones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ , en algunos casos pueden llegar a incrementos del 110 % para el caso de las  $PM_{10}$  o del 104 % para las del  $PM_{2,5}$  (DÍAZ *et al.*, 2017).

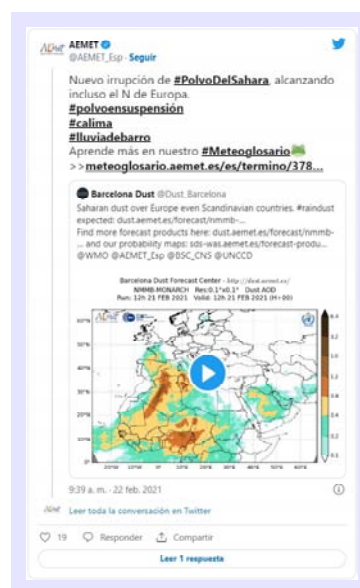


Las partículas del polvo del Sahara son de origen mineral y, en general, son el resultado de la erosión de las rocas (GRIFFIN, 2007), su composición química incluye elementos minerales tales como: cuarzo (60 %), óxidos ( $SiO_2$ ,  $FeO_2$ ) y carbonatos ( $CaCO_3$ ), acero, titanio y vanadio; en algunos casos, pueden aparecer picos de sulfatos re-

resultantes de la reacción química entre el carbonato contenido en el polvo y los gases resultantes de la contaminación ambiental presente localmente ( $NO_2/SO_2$ ) (TOBIÁS *et al.*, 2011a).

## Impacto en la composición química de la atmósfera

Nuevas investigaciones establecen que las intrusiones de polvo del Sahara no solo aportan material particulado a la atmósfera, sino que las condiciones meteorológicas a escala sinóptica que favorecen estas advecciones, modifican la estructura de la atmósfera, haciendo que la altura de la capa de mezcla disminuya (PANDOLFI *et al.*, 2014; SALVADOR *et al.*, 2019). Esta modificación tiene un impacto no solo en el incremento del material particulado sino también en la dificultad de la dispersión convectiva de todos los contaminantes atmosféricos, lo que supone el incremento de las concentraciones de otros contaminantes como los óxidos de nitrógeno, especialmente preocupantes en atmósfera urbanas (SALVADOR *et al.*, 2019; MOREIRA *et al.*, 2019). Además, las condiciones atmosféricas en las que se produce la entrada de polvo del Sahara en España suelen llevar asociadas elevadas temperaturas y una alta insolación, por lo que



deben considerarse otros factores que inciden conjuntamente sobre la salud de la población como es el caso del ozono troposférico y el impacto de las olas de calor sobre la población (GARCÍA *et al.*, 2015).

## Impacto en la salud

Es evidente que la entrada de polvo procedente del Sahara en nuestro país produce un incremento en los niveles de las PM en la atmósfera, este hecho, junto con el cambio de la composición de la atmósfera conlleva una modificación en el patrón de morbi-mortalidad asociado a los niveles de PM en el aire y al de otros contaminantes como NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> (MOREIRA *et al.*, 2019).

En general, en nuestro país, son relativamente escasos los estudios que analizan el impacto sobre la salud de las advecciones de polvo sahariano, centrándose estos trabajos a nivel ciudad en Barcelona, Madrid, así como en las islas Canarias.

En el caso de **Barcelona**, una investigación relaciona las intrusiones de polvo del Sahara con el aumento de los casos de enfermedad meningocócica cuatro semanas después de una intrusión de polvo sahariano (TOBÍAS *et al.*, 2011b).

En relación a la mortalidad diaria, otro trabajo realizado en esta ciudad (PÉREZ *et al.*, 2008) refiere un aumento de la mortalidad en los días con intrusiones de polvo sahariano frente a los que no se da esta circunstancia, relacionándolo con la fracción gruesa PM<sub>10-2,5</sub> y no detectándose asociación estadística entre mortalidad y PM<sub>2,5</sub>. En esta misma línea, pero en relación a mortalidad diaria y por diferentes causas específicas y varios tamaños de PM es destacable la investigación llevada a cabo por PÉREZ *et al.* (PÉREZ *et al.*, 2012), en ella se detecta un efecto diferenciado sobre la mortalidad por diferentes patologías según el tamaño de las partículas y la existencia o no de intrusiones de polvo del Sahara.

Para la ciudad de **Madrid**, existen diversos trabajos realizados en los dos últimos años sobre este tema. Así, un estudio realizado sobre la mortalidad diaria por todas las causas los días con y sin intrusión muestra un comportamiento diferenciado con respecto a la mortalidad. Los días con intrusiones de polvo sahariano la mortalidad asociada a las PM<sub>10</sub> es mayor que en los que no se dan intrusiones (PÉREZ *et al.*, 2008). Otros trabajos realizados en Madrid tanto para población general como para mayores de 65 años (JIMÉNEZ *et al.*, 2010) indican que, si bien los días sin intrusiones de polvo del Sahara son las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> (principal origen en el tráfico rodado) las que muestran una mayor asociación con la mortalidad diaria; durante los días con intrusión de polvo sahariano, esta asociación pasa a tener una mayor significación estadística para las PM<sub>10</sub>. Este comportamiento detectado en la mortalidad también se ha evidenciado en el patrón de los ingresos hospitalarios por urgencias (REYES *et al.*, 2014).

Por último, en relación a los estudios realizados sobre la influencia del polvo sahariano sobre la salud en las **islas Canarias**, se tiene constancia de una investigación llevada a



cabo sobre las urgencias en Santa Cruz de Tenerife (GARCÍA *et al.*, 2001). Los resultados de este trabajo indican que la presencia de polvo sahariano en suspensión condiciona un aumento de la demanda asistencial urgente por patología respiratoria, trastornos de ansiedad y dolores torácicos atípicos. También es de destacar un trabajo (LÓPEZ-VILLANUEVA *et al.*, 2012) llevado a cabo en las dos capitales canarias en el que se analiza el impacto de las PM<sub>2,5</sub> y las PM<sub>10-2,5</sub>, sobre la mortalidad diaria, relacionándose aumentos de este material particulado con aumentos en la mortalidad tanto por causas circulatorias como respiratorias. No obstante, diversos autores han señalado que las diferentes regiones del Sahara tienen distintas propiedades mineralógicas (MORENO *et al.*, 2006; STAFOGGIA *et al.*, 2016), lo que podría afectar a la composición toxicológica de las partículas y, por tanto, a sus efectos en la salud.

### **Impacto biológico de la inhalación del polvo en suspensión**

---

Además de los efectos en salud antes descritos, desde un punto de vista biológico las PM<sub>10</sub> interfieren principalmente a través del sistema respiratorio (MORANKIYO *et al.*, 2016), **estas partículas al ser inhaladas cruzan la barrera alveolar, se incorporan al torrente sanguíneo y provocan estrés oxidativo** (JAUNIAUX *et al.*, 2016), **proinflamatorio** (MOLLER *et al.*, 2014) y **protrombótico** (MARTINELLI *et al.*, 2013), esto produce hipertensión gestacional (ERICKSON *et al.*, 2014) e hipoperfusión placentaria, lo cual altera las funciones de la placenta y **se relacionaría con causas de prematuridad y bajo peso al nacer** (CLEMENTE *et al.*, 2016).

En el caso del NO<sub>2</sub>, el mecanismo es menos conocido, pero también estaría relacionado con el estrés oxidativo antes descrito (PARK *et al.*, 2005). En el caso de las altas concentraciones de **ozono**, la asociación con las variables adversas al nacimiento puede relacionarse con la disminución del calibre de las arterias que provoca el ozono (PARK *et al.*, 2005), lo que induciría un incremento de la tensión arterial en la madre, siguiéndose un proceso similar al de las PM. En el caso del **calor**, este actúa como un potente estresante en mujeres embarazadas incidiendo claramente en las variables adversas al nacimiento (BASU *et al.*, 2010; CAROLAN-OLAH, 2014; ARROYO *et al.*, 2016). Esto explicaría la **incidencia de los días de intrusión de polvo del Sahara en las variables adversas al nacimiento** encontrada en España (MOREIRA *et al.*, 2019).

### **Intrusiones de polvo y COVID-19**

---

Por último, algunos estudios en toxicología experimental en ratas han demostrado que el cuarzo, el sílice, el aluminio y los óxidos contenidos en el polvo del desierto causan inflamación de los bronquios y pulmones de ratas debido a la hiperproducción de **citoquinas** (ICHINOSE *et al.*, 2008). En la mayoría de pacientes graves afectados por la COVID-19 se ha observado lo que se conoce como tormenta de citoquinas (TANG *et al.*, 2020) que podría llevar rápidamente al agravamiento de los síntomas e incluso a la muerte al paciente. Estudios realizados en España muestra un **aumento de la incidencia y gravedad de la COVID-19 en relación a las intrusiones de polvo del Sahara ocurridas durante el estado de alarma** (LINARES *et al.*, 2021).



## Conclusiones

Queda claro, por tanto, que la entrada de polvo procedente del Sahara en nuestro país produce un incremento en los niveles de las PM en la atmósfera; este hecho, junto con el cambio de la composición de las PM presentes en la atmósfera y el aumento en las concentraciones de otros contaminantes (SALVADOR *et al.*, 2019) trae consigo una modificación en el patrón de morbi-mortalidad asociado a los niveles de PM en el aire. La relativa frecuencia con que estas intrusiones se dan en la atmósfera de las ciudades españolas y su **presumible incremento como consecuencia de la desertificación atribuida al cambio climático** (EVAN *et al.*, 2016), hacen que su consideración y análisis sea de especial interés en nuestras latitudes, no solo desde el punto de vista de la salud, sino también determinando las condiciones sinópticas que están presentes cuando se producen estas advecciones. Una caracterización adecuada de estos patrones meteorológicos es clave de cara a su predicción y, por tanto, para la adopción de medidas preventivas para minimizar los impactos del material particulado sobre la salud. Los cambios en las concentraciones de diversos contaminantes encontrados en los días de advección de polvo del Sahara junto con el aumento de las temperaturas que suelen acompañar a este tipo de intrusiones en el periodo estival hacen necesario que los planes de prevención en salud pública y los sistemas de vigilancia epidemiológica integren tanto el aumento de la contaminación atmosférica como la existencia de olas de calor, así como la de otros posibles eventos presentes con una alta incidencia en la salud como son, entre otros, las sequías y los incendios forestales (LINARES *et al.*, 2020).



## Referencias

- ARROYO, V., DÍAZ, J., ORTIZ, C., CARMONA, R., SÁEZ, M., LINARES, C., 2016. Short term effect of air pollution, noise and heat waves on preterm births in Madrid (Spain). *Environ. Res.*, 145: 162-168.
- BASU, R., MALIG, B., OSTRO, B., 2010. High ambient temperature and the risk of pre-term delivery. *Am. J. Epidemiol.*, 172: 1108-1117.
- CAROLAN-OLAH, M., FRANKOWSKA, D., 2014. High environmental temperature and preterm birth: are view of the evidence. *Midwifery*, 30(1): 50-59.

- CLEMENTE, D. B. P., CASAS, M., VILAHUR, N. *et al*, 2016. Prenatal ambient air pollution, placental mitochondrial DNA content, and birth weight in the INMA (Spain) and ENVIRONAGE (Belgium) birth cohorts. *Environ. Health Perspect.*, 124(5): 659-665.
- DÍAZ, J., LINARES, C., CARMONA, R., RUSSO, A., ORTIZ, C., SALVADOR, P., TRIGO, R. M., 2017. Saharan dust intrusions in Spain: health impacts and associated synoptic conditions. *Environmental Research*, 156: 455-467.
- ERICKSON, A. C., ARBOUR, L., 2014. The shared pathoetiological effects of particulate air pollution and the social environment on fetal-placental development. *J. Environ. Public Health*, 901017.
- EVAN, A. T., FLAMANT, C., GAETANI, M., GUICHARD, F., 2016. The past, present and future of African dust. *Nature*, 531(7595): 493-5.
- GARCÍA, J., HERNÁNDEZ, A., BLASCO, A., RODRÍGUEZ, B. C., RONCAÑO, E., NÚÑEZ, S., 2001. Invasión de viento sahariano y su impacto en la asistencia sanitaria urgente. *Emergencias*, 13: 372-376.
- GARCÍA, R., DÍAZ, J., TRIGO, R. M., HERNÁNDEZ, E., DESSAI, S., 2005. Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions. *Annales Geophysicae*, 23: 239-251.
- GRIFFIN, D. W., 2007. Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. *Clin. Microbiol. Rev.*, 20(3): 459-477.
- ICHINOSE, T., YOSHIDA, S., SADAKANE, K., TAKANO, H., YANAGISAWA, R. *et al.*, 2008. Effects of Asian sand dust, Arizona sand dust, amorphous silica and aluminum oxide on allergic inflammation in the murine lung. *Inhal. Toxicol.*, 20: 685-694.
- JAUNIAUX, E., BURTON, G. J., 2016. The role of oxidative stress in placental-related diseases of pregnancy. *J. Gynecol. Obstet. Biol. Reprod.*, 45(8): 775-785.
- JIMÉNEZ, E., LINARES, C., MARTÍNEZ, D., DÍAZ, J., 2010. Role of Saharan dust in the relationship between particulate matter and short-term daily mortality among the elderly in Madrid (Spain). *Sci. Tot. Environ.*, 408: 5729-5736.
- LINARES, C., SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, G., KENDROVSKI, V., DÍAZ, J., 2020. A New Integrative Perspective on Early Warning Systems for Health in the Context of Climate Change. *Environmental Research*, 187: 109623.
- LINARES, C., BELDA, F., LÓPEZ-BUENO, J. A., LUNA, M. Y., SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, G., HERVELLA, B., CULQUI, D., DÍAZ, J., 2021. Do Saharan Dust Intrusions Affect the Incidence and Severity of COVID-19 in Spain? *Environmental Science Pollution Research*. In press.
- LÓPEZ-VILLANUEVA, E., ÍÑIGUEZ, C., PERAL, N., GARCÍA, M. D., BALLESTER, F., 2012. Characterizing mortality effects of particulate matter size fractions in the two capital cities of the Canary Islands. *Environ Res.*, 112: 129-138.
- MARTINELLI, N., OLIVIERI, O., GIRELLI, D., 2013. Air particulate matter and cardiovascular disease: a narrative review. *Eur. J. Intern. Med.*, 24(4): 295-302.
- MØLLER, P., DANIELSEN, P. H., KAROTTKI, D. G. *et al.*, 2014. Oxidative stress and inflammation generated DNA damage by exposure to air pollution particles. *Mutat. Res. Rev. Mutat. Res.*, 762: 133-166.

- MORAKINYO, O. M., MOKGOBU, M., MUKHOLA, M. S., 2016. Health outcomes of exposure to biological and chemical components of inhalable and respirable particulate matter. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 1: 1-22.
- MOREIRA, I., LINARES, C., FOLLOS, F., SÁNCHEZ-MARTÍNEZ, G., VELLÓN, J. M., DÍAZ, J., 2020. Short-Term Effects of Saharan Dust Intrusions and Biomass combustion on Birth Outcomes in Spain. *Science of the Total Environment*, 134755. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134755.
- MORENO, T., QUEROL, X., CASTILLO, S., ALASTUEY, A., CUEVAS, E., HERRMANN, L. *et al.*, 2006. Geochemical variations in aeolian mineral particles from the Sahara-Sahel Dust Corridor. *Chemosphere*, 65(2): 261-70.
- PANDOLFI, M., TOBIAS, A., ALASTUEY, A., SUNYER, J., SCHWARTZ, J., LORENTE, J., PEY, J., QUEROL, X., 2014. Effect of atmospheric mixing layer depth variations on urban air quality and daily mortality during Saharan dust outbreaks. *Sci. Total. Environ.*, 494-495: 283-9.
- PARK, S. K., O'NEILL, M. S., VOKONAS, P. S., SPARROW, D., SCHWARTZ, J., 2005. Effects of air pollution on heart rate variability: the VA normative aging study. *Environ. Health Perspect.*, 113 (3): 304-309.
- PÉREZ, L., TOBIAS, A., QUEROL, X., KÜNZLI, N., PEY, J., ALASTUEY, A. *et al.*, 2008. Coarse particles from Saharan dust and daily mortality. *Epidemiology*, 19: 1-8.
- PÉREZ, L., TOBIAS, A., QUEROL, X., PEY, J., ALASTUEY, A., DÍAZ, J., SUNYER, J., 2012. Saharan dust, particulate matter and cause specific mortality: A Case-Crossover study in Barcelona (Spain). *Environmental International*, 48: 150-155.
- REYES, M., DÍAZ, J., TOBIAS, A., MONTERO, J. C., LINARES, C., 2014. Impact of Saharan dust particles on hospital admissions in Madrid. *International Journal Environmental Health Research*, 24: 63-72.
- RUSSO, A., SOUSSA, P. M., DURAO, R. M., RAMOS, A. M., SALVADOR, P., LINARES, C., DÍAZ, J., TRIGO, R. M., 2020. Saharan dust intrusions in the Iberian Peninsula: Predominant synoptic conditions. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137041. *Science of the Total Environment*, 717: 137041.
- SALVADOR, P., MOLERO, F., FERNÁNDEZ, A. J., TOBIAS, A., PANDOLFI, M. *et al.*, 2019. Synergistic effect of the occurrence of African dust outbreaks on atmospheric pollutant levels in the Madrid metropolitan area. *Atmos. Res.*, 226: 208-218.
- STAFOGGIA, M., ZAULI-SAJANI, S., PEY, J., SAMOLI, E., ALESSANDRINI, E., BASAGAÑA, X. *et al.* 2016. [Desert Dust Outbreaks in Southern Europe: Contribution to Daily PM10 Concentrations and Short-Term Associations with Mortality and Hospital Admissions](#). *Environ. Health Perspect.*, 124(4): 413-9.
- TANG, Y., LIU, J., ZHANG, D., XU, Z., JI, J., WEN, C., 2020. Cytokine Storm in COVID-19: The Current Evidence and Treatment Strategies. *Front Immunol.*, 11: 1708.
- TOBIAS, A., PÉREZ, L., DÍAZ, J., LINARES, C., PEY, J., ALASTRUEI, A., QUEROL, X., 2011a. Short-term effects of particulate matter on total mortality during Saharan dust outbreaks: A Case-Crossover analysis in Madrid (Spain). *Science of Total Environment*, 412-413: 386-389.
- TOBIAS, A., CAYLÁ, J., PEY, J., ALASTUEY, A., QUEROL, X., 2011b. Are Saharan dust intrusions increasing the risk of Meningococcal Meningitis? *Int. J. Infect Diseases*, 15: e503.



## LAS 7 VUELTAS AL MUNDO EN PANDEMIA DE LOS TÉCNICOS DE AEMET

*Manuel Lara Jaén*

Meteorólogo, Delegación Territorial de AEMET en Extremadura

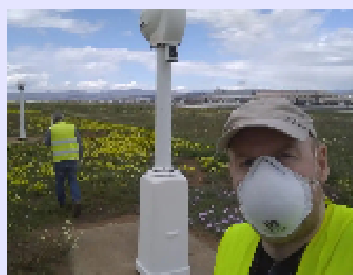


(publicado en el blog de AEMET el 25 de abril de 2021)



*Durante esta pandemia, AEMET, como todos los servicios públicos esenciales, ha mantenido sus niveles de servicio, adaptando el trabajo de sus empleados a las circunstancias de cada momento: confinamiento estricto, fases de desescalada, sucesivas olas, etc. El teletrabajo ha sido el nuevo elemento común. El comportamiento asombrosamente eficiente de la VPN de AEMET, gestionada de manera brillante por nuestros compañeros de Informática y Comunicaciones lo ha hecho posible.*

Ah!!! ... La Infraestructura, siempre la Infraestructura, esa discreta y olvidada área de trabajo de la que nos acordamos solo cuando falla, nos ha permitido seguir trabajando desde casa. Sin embargo resulta claro que no todo puede hacerse desde casa. Y una de estas cosas son las actividades de mantenimiento de la red de observación. Así que los técnicos de mantenimiento



De izquierda a derecha, Vicente y Alberto haciendo preventivo en el aeropuerto de Málaga, Aythami verificando la sonda TH en Banyalbufar y Joan y Jordi se protegen del sol mientras verifican la instrumentación aeronáutica en el aeropuerto de Girona en pleno verano. Pueden observarse los filtros de calibración instalados entre las lentes del visibilímetro.

de AEMET, en su mayoría trabajando en las Delegaciones, han seguido viajando para realizar trabajos de mantenimiento preventivo, correctivo y de verificación de equipos de diversas redes de observación. Y esas tareas son realmente variadas, desde verificar visibilímetros o barómetros en aeropuertos, hasta reponer los globos de un autosonda, pasando por reparar estaciones automáticas repartidas por todo el territorio nacional o hacer un mantenimiento preventivo en un radar situado en un lugar de no fácil acceso.

Ya en condiciones normales este trabajo tiene sus aspectos de dureza. El primero es el hecho de ser a intemperie: se pasa frío y calor, y a veces las dos cosas en el mismo día. El segundo, el desplazamiento; hay que conducir vehículos, muchas veces por carreteras secundarias y caminos o pistas forestales, y además en el caso de nuestros compañeros de los archipiélagos, desplazamientos en barco o avión a otras islas, y a Ceuta y Melilla desde nuestra Delegación en Andalucía. Por supuesto, nunca se sabe a qué hora va a volver uno a casa, porque los imprevistos son parte del día a día de este trabajo, y en ocasiones, sobre todo en las Delegaciones isleñas, la pernocta fuera de casa es inevitable.

Un elemento muy delicado del trabajo de los técnicos es el riesgo de accidentes, principalmente por la conducción de vehículos ya mencionada, y que por desgracia nos ha dejado ya algún caso muy grave. Otros riesgos surgen de la propia actividad de mantenimiento, como el manejo de elementos pesados, garitas o cabestrantes en el caso de abatimiento de mástiles, y el trabajo con elementos con tensión eléctrica con los que accidentalmente se puede entrar en contacto directo o indirecto. Trabajar contrarreloj es otro factor que introduce riesgo: hemos quedado más tarde en otra estación y nos están surgiendo imprevistos en esta, o se empieza a hacer de noche, o va a empezar a llover y no voy a poder calibrar, etc. Por último, también son frecuentes las picaduras de insectos (les encantan los abrigos meteorológicos, ceilómetros, pluviómetros y en general cualquier instrumento) y los sustos con reptiles en arquetas.



De izquierda a derecha: nuestro compañero Jesús, sentado a la mesa de su nuevo restaurante favorito, en Carboneras, tras realizar el preventivo de la estación; Diego instalando nueva EMA en San Pablo de los Montes; e incidente con el todoterreno en el radar de Mijas durante el paso de Filomena.

Y, desde luego, en condiciones de pandemia todo se complica un poco más. Esa gasolinera en la que siempre se repostaba está cerrada, un poco de incertidumbre hasta averiguar dónde repostamos gasolina. Y ese restaurante de carretera con menú del día que se ajusta a la dieta, cerrado también. Hay que salir con bocadillo, agua en abundancia y termo con café, y que no falten mascarillas de repuesto y gel hidroalcohólico. Por otro lado, el acceso a algunos recintos y la necesaria cooperación con otros organismos y empresas se hace más difícil. El aspecto emocional no se puede dejar de considerar: durante los primeros meses las carreteras están literalmente vacías, y los controles policiales (salvoconducto siempre a mano) y los pueblos desiertos no ayudan a subir el ánimo, ya muy decaído ante la magnitud de la desgracia.

## Algunos números

---

Pero los técnicos de mantenimiento no se arrugan con facilidad, así que, adaptándose a las circunstancias, han continuado viajando y trabajando. Algunos números exponen con claridad la magnitud del trabajo realizado en este año:

- Solamente en actividades sujetas a *Control Metrológico* de las redes aeronáutica y sinóptica-climatológica (o semiautomática), se han expedido **1199 certificaciones** durante los tres últimos trimestres de 2020, número incluso superior al correspondiente periodo de 2019 que fueron 1079.
- Los mantenimientos de la red de estaciones automáticas, preventivos de radares, red de detección de descargas, red radiométrica, autosondas, colaboradores, etc., suponen más de **3000 actuaciones añadidas**, sin contar los trabajos en las propias sedes territoriales, donde el mantenimiento de ordenadores, sistemas de alimentación ininterrumpida y grupos electrógenos ha permitido que el trabajo a distancia del resto de compañeros pueda realizarse sin contratiempos.



Izquierda, Manolo abatiendo mástil en Navalmoral de la Mata. Derecha, Javier, entre sol y sombra, reconfigurando las comunicaciones en Navalmoral de la Mata.

## Nuevas instalaciones

---

Y, por increíble que parezca, el trabajo de los técnicos no se ha parado en el mantenimiento de lo existente, sino que en algunos casos se han realizado nuevas instalaciones, totales en



Belén instalando nuevo anemo ultrasónico.

algunas ocasiones, como las nuevas emas de Benidorm (Alicante), San Pablo de los Montes (Toledo), Mérida y Castuera (Badajoz), Valverde (isla de El Hierro), Puerto del Soller y Petra (Illes Balears), y en otras se han renovado o instalado nuevos elementos de infraestructura como mástiles, garitas, sistemas de comunicación o acometidas eléctricas.

## Colaboradores

Por otro lado, las visitas a las estaciones manuales atendidas por colaboradores —una actividad habitual en las Delegaciones que suele ser de especial agrado para los técnicos— han sido necesario reducirlas de manera drástica. Estas visitas se han sustituido en lo posible por conversaciones telefónicas en las que, inevitablemente, la salud del colaborador y su familia, y la evolución de la pandemia en su localidad, venía a ser el tema principal.

Aún así se han realizado numerosas visitas, entre ellas la que realizó nuestra compañera Francisca Carayol a **Callosa del Segura** (Alicante) para entregarle a D.<sup>a</sup> **María del Carmen Barrio Yoldi** (Marien, 92 años) la placa de reconocimiento por sus 45 años de colaboración, y estar presente en la entrega del testigo al nuevo colaborador en la localidad. El sencillo pero emotivo acto fue incluso mencionado en Twitter por nuestra ministra.



Nuestra compañera Francisca Carayol, Paqui, en el momento de entrega de la placa a D.<sup>a</sup> María del Carmen.

## Varias idas y vueltas al Meteosat

Y, para realizar todas estas actividades, ha sido necesario realizar **más de 300 000 km**. Eso supone que los técnicos de mantenimiento de AEMET, durante este año pandémico, han dado *más de 7 veces la vuelta al mundo* o, buscando un símil más meteorológico, han *ido y vuelto 4 veces al Meteosat-11*.

Valgan estas líneas y fotografías como reconocimiento a estos compañeros y a su trabajo. Os animamos a ver más fotografías de sus actividades en la galería.





## Agradecimientos

---

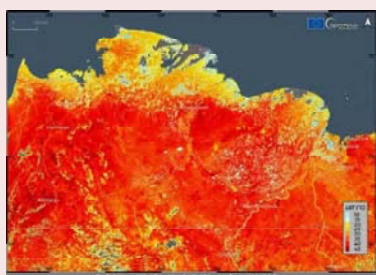
A todos los técnicos y jefes de Sistemas Básicos que nos han enviado imágenes e información. A Javier Jerez, Belén Regodón, Beatriz Hervella y Delia Gutiérrez.

# LA AMPLIFICACIÓN ÁRTICA, SU CONEXIÓN CON LOS FENÓMENOS DE LATITUDES MEDIAS Y LA OLA DE CALOR DE 2020 EN SIBERIA

Peio Oria Iriarte

Meteorólogo, delegado territorial de AEMET en Navarra

(publicado en el blog de AEMET  
el 29 de junio de 2021)



*En esta contribución analizamos algunos procesos físicos que se suponen relacionados con la amplificación ártica o polar, fenómeno por el cual **las latitudes altas de nuestro hemisferio se están calentando entre 2 y 3 veces más que el resto del planeta**. Paralelamente se ha observado un aumento en la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos en latitudes medias, lo que ha conducido a numerosos investigadores a plantear una relación causal. Por otro lado, se considera el papel del calentamiento global y determinadas configuraciones atmosféricas en la **excepcional y prolongada ola de calor acontecida en Siberia entre enero y junio de 2020** y que culminó con el mediático [récord de 38 °C en la ciudad rusa de Verkhoyansk](#).*

## Introducción

El 19 de mayo de 2021 se celebró la segunda cumbre meteorológica del Ártico, auspiciada por el Servicio Meteorológico Islandés, como país que ha ostentado la presidencia bienal del Consejo Ártico. Con participación de los máximos representantes de organismos supranacionales como la Organización Meteorológica Mundial (OMM), EUMETNET, EUMETSAT, ECMWF, YOPP y Servicios Meteorológicos Nacionales de los países árticos, la cumbre sirvió para poner de relevancia el acentuado cambio climático que lleva experimentando esta región del planeta en las últimas décadas. Paralelamente, el Programa AMAP, de Monitorización y Evaluación del Ártico, y perteneciente al Consejo Ártico, lanzó el [resumen para responsables de políticas sobre la actualización del informe de cambio climático en el Ártico](#). En este informe se recogen diversos hallazgos científicos relacionados con las alteraciones recientes del clima y sus consecuencias observadas en los

últimos años. Además del cambio en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, del impacto en las comunidades y ecosistemas árticos y de las retroalimentaciones potenciales en los gases de efecto invernadero, quizá el mensaje más llamativo es el de que **el calentamiento en el Ártico ha sido tres veces más veloz que en el resto del planeta durante el periodo 1971-2019**, lo que se conoce como *amplificación ártica* (figura 1).

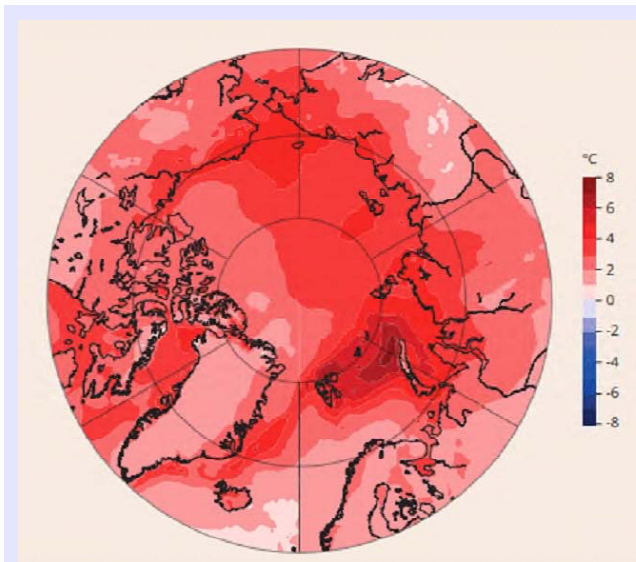


Figura 1. Tendencia de la temperatura media anual de la superficie del Ártico en el periodo 1971-2019 construida con datos de observación y modelos climáticos. Tomado de AMAP Assessment 2021: Arctic Climate Change Update 2021, Key Trends and Impacts.

El prolongado periodo de altas temperaturas (respecto a lo normal) que experimentó prácticamente la totalidad de Siberia durante los primeros meses de 2020 fue también un aspecto comentado. Se hizo hincapié en la persistencia e intensidad de las desviaciones térmicas positivas sobre vastas extensiones del continente asiático, y que llamaron poderosamente la atención de la comunidad científica del clima. No en vano las anomalías sostenidas durante el periodo entre enero y junio alcanzaron en torno a 3-4 °C sobre los millones de kilómetros cuadrados que abarca el conjunto de Siberia, y que localmente llegaron incluso a 5-6 °C. Asimismo se asume que semejantes condiciones, no asociables a un episodio puntual, serían esperables para finales de siglo de acuerdo a deter-

minados escenarios de cambio climático y que su probabilidad sería ínfima en un contexto ajeno al actual calentamiento global.

Los cambios en el clima ártico en las últimas tres décadas son definitivamente sustanciales. Como se ha observado, los aumentos de la temperatura del Ártico desde 1980 han superado a los del promedio del hemisferio norte en un factor comprendido entre dos y tres. Sobre tierra, al norte de 60° N, 17 de los últimos 20 años han exhibido la mayor anomalía de la temperatura media anual del aire desde 1900. La *amplificación ártica* también se manifiesta en la pérdida de hielo marino, glaciares, nieve y permafrost, una temporada de aguas oceánicas abiertas más larga y cambios en los ecosistemas árticos. El hielo marino ha experimentado una disminución sin precedentes en las últimas tres décadas con **una reducción de dos tercios en el volumen total de hielo marino**. Durante mayo y junio se han producido disminuciones comparables en la capa de nieve estacional. La amplificación ártica es más fuerte durante el otoño y el invierno, con los valores más altos en las regiones de pérdida de hielo marino, mientras que las zonas de mayor calentamiento en verano se sitúan sobre Groenlandia y tierras de altas latitudes, donde las tasas de pérdida de nieve primaveral superan incluso a las del hielo marino.



## La amplificación ártica

Desde los años 90 del pasado siglo, las temperaturas invernales en el Ártico han mostrado una tendencia de calentamiento muy sostenida y a un ritmo acelerado respecto al resto del planeta (figura 2). La consecuencia más directa de lo anterior se refleja en el paulatino y veloz retroceso de la extensión de hielo marino ártico en verano y comienzos del otoño en respuesta a varias retroalimentaciones que se comentarán posteriormente. La amplificación no está restringida a las capas más bajas de la troposfera, caracterizadas por la potente inversión térmica cercana al suelo, sino que se propaga hasta la baja estratosfera con un máximo secundario entre 200 y 100 hPa (y no previsto por los modelos, a diferencia del máximo principal de la baja troposfera, situado algo más al sur, figura 3 b y c).

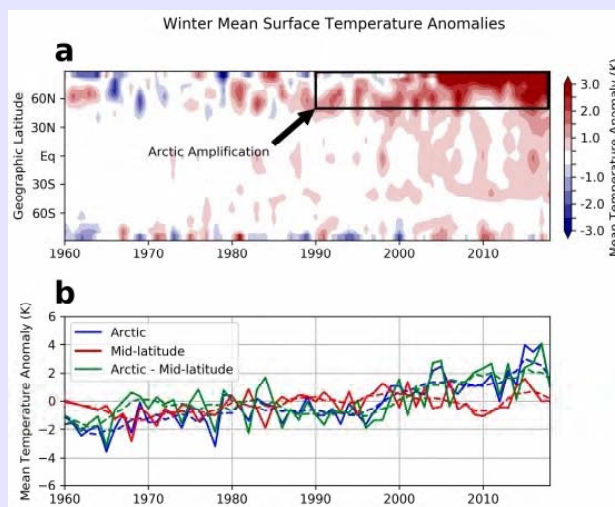


Figura 2. Arriba: anomalía de la temperatura media invernal (diciembre, enero y febrero) entre 1960 y 2019 respecto al periodo de referencia (1951 a 1980). El área dentro de la caja negra muestra el calentamiento amplificado en el Ártico (WENDISCH, M. *et al.* [Understanding causes and effects of rapid warming in the Arctic. Eos 98](#) (2017); datos procedentes del Instituto Goddard de Estudios Espaciales de la NASA). Abajo: media anual (línea gruesa) y media móvil quinquenal (línea discontinua) de la serie

temporal de anomalías de temperatura en los meses invernales. Ártico: 60-90 °N en azul, latitudes medias: 30-60° N en rojo, y la diferencia entre las temperaturas promedio del Ártico y el área de latitudes medias (verde). Datos provenientes del reanálisis de NCEP/NCAR. Extraído de COHEN, J., ZHANG, X., FRANCIS, J. *et al.* [“Divergent consensus on Arctic amplification influence on midlatitude severe winter weather”](#). *Nat. Clim. Chang.* 10, 20-29 (2020).

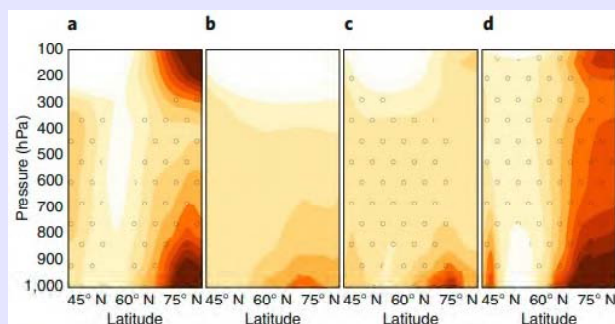


Figura 3. Tendencias en las temperaturas invernales (D-E-F) promediadas zonalmente en el periodo 1980-2019. a) Promedio de los productos de reanálisis MERRA-2, ERA5, JRA-55 y CFSR. b) Media del ensemble multimodelo empleado en CMIP5 (quinto proyecto de intercomparación de modelos climáticos). c) Media del multimodelo AMIP (proyecto de intercomparación de modelos atmosféricos). d) Lo mismo que c) para el miembro del *ensemble* que muestra una mayor correlación con la media del reanálisis a).

Extraído de Cohen, J., Zhang, X., Francis, J. *et al.* [“Divergent consensus on Arctic amplification influence on midlatitude severe winter weather”](#). *Nat. Clim. Chang.* 10, 20-29 (2020).

### **Las retroalimentaciones o feedbacks**

El concepto de *amplificación ártica* está inevitablemente ligado al de *retroalimentación o feedback*. El calentamiento no uniforme espacial ni estacionalmente se ve influido por una multitud de procesos que afectan a las distintas componentes y escalas del sistema climático. El estudio de las retroalimentaciones que afectan al clima del Ártico normalmente se basa en dos agrupaciones principales. Por un lado, desde un enfoque orientado a si los procesos son forzados local o remotamente y por otro en base al origen del mecanismo físico. En el primer caso, los **forzamientos locales** incluyen la nieve, el albedo del hielo marino (sobre todo en verano), los flujos turbulentos en capas superficiales, el almacenamiento de calor por el océano, la modificación de la capa de mezcla oceánica, la nubosidad y las componentes radiativas y el aislamiento térmico del hielo (en invierno) mientras que los **remotos** involucran sobre todo a los transportes atmosférico y oceánico de calor y humedad a gran escala (desde los trópicos o latitudes medias al Ártico). Recientemente se ha postulado además que ambos tipos de mecanismos pueden interactuar y amplificarse mutuamente.

En cuanto a la diferenciación del origen del proceso físico que produce la retroalimentación, se distingue entre aquellos en los que la temperatura juega un papel principal y en los que las componentes radiativas del vapor de agua y la nubosidad parecen más relevantes.

Entre los procesos en los que la **temperatura** desempeña un rol principal, debemos advertir que no se considera únicamente el estado de la superficie, sino un perfil vertical de temperatura a lo largo de toda la [troposfera](#). A medida que la superficie se calienta, se irradia más energía al espacio en latitudes bajas, en comparación con el Ártico. Este efecto se puede atribuir, por un lado, a un menor aumento en la emisión de radiación de cuerpo negro ( $R = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ ) por unidad de calentamiento a temperaturas más frías (por ejemplo, a 30 °C un forzamiento externo de 1 W m<sup>-2</sup> puede ser equilibrado por un calentamiento de 0,16 °C, mientras que a -30 °C se requiere un calentamiento de 0,31 °C (el doble) para equilibrar el mismo forzamiento) y, por otro, a la diferente estructura vertical del calentamiento en latitudes altas y bajas: un típico perfil de temperaturas en los trópicos muestra un acople entre los niveles bajos y altos de la troposfera, de tal manera que la liberación de calor latente en nubes convectivas profundas se convierte en un efectivo mecanismo de transporte de energía. En un clima cálido, las porciones de aire liberan más calor latente, aumentando así el gradiente adiabático húmedo y causando un mayor calentamiento en la troposfera superior que en la superficie. La clave es que se requiere un menor aumento en las temperaturas de la superficie para compensar el desequilibrio radiativo en el tope de la atmósfera. En el Ártico, el aire frío y denso cerca de la superficie apenas se mezcla con el aire de capas superiores pasando a ser la radiación el mecanismo de acoplamiento primario. Debido a ello el calentamiento de la superficie permanece confinado a las partes más bajas de la atmósfera. De acuerdo a este perfil térmico vertical, se requiere un mayor aumento de las temperaturas de la superficie para equilibrar el balance energético en el tope de la atmósfera.

El *feedback* hielo marino-albedo es probablemente el proceso más fácilmente entendible desde un punto de vista físico. La nieve acumulada sobre el hielo marino posee una reflectancia en las longitudes de onda de la luz solar que alcanza un 80 % mientras que en las

áreas abiertas libres de hielo es solo del 7 %. La reducción del hielo marino ha disminuido el poder de albedo en el conjunto del Ártico del 52 % al 48 % desde el año 1979 contribuyendo a una mayor absorción de calor por parte del sistema climático del Ártico. En general, se asume que este no es el principal proceso de retroalimentación y que el papel del vapor de agua es seguramente más importante. De hecho, la amplificación ártica se produce también en modelos climáticos sin variaciones en la cobertura nivosa y de hielo.

Durante el verano y principios de otoño, una mayor pérdida de hielo marino en los mares árticos hace que se acumule calor en la capa de mezcla oceánica, debido básicamente al *feedback* hielo marino-albedo. En consecuencia, la absorción de energía potencia un ciclo de evaporación más activo y, sobre todo, un exceso de flujo de calor vertical dirigido de abajo a arriba. En la estación invernal, una mayor radiación de onda larga entrante en las capas bajas de la atmósfera da lugar al aumento de temperatura. Los mayores incrementos térmicos promedio debidos a la amplificación ártica se producen precisamente durante el invierno, donde la temperatura ha aumentado ya cerca de 4 °C desde los años 70, e incluso 8 °C en determinadas regiones. Especialmente remarcables son los periodos entre diciembre y marzo de los años 2016 y 2018, y en los que el conjunto del Ártico sufrió anomalías de temperatura próximas a 6 °C.

En todos los procesos anteriormente descritos se asume que una componente importante de forzamiento es local, es decir, en las zonas de mares abiertos con un retroceso de hielo más prominente es donde las retroalimentaciones se potencian y donde, en consecuencia, las anomalías de temperatura se disparan. La costa norte del archipiélago de Nueva Zembla, bañada por el mar de Barents, es un magnífico ejemplo de uno de esos lugares. El calentamiento en los últimos 50 años llega en algunas zonas hasta 8-10 °C convirtiéndose en la zona del planeta en la que la temperatura ha aumentado más aceleradamente. En resumen, entre los *feedbacks* forzados localmente, la transferencia de calor entre el océano y la atmósfera se considera con carácter general el mecanismo fundamental de la amplificación ártica y sus efectos son observables durante el invierno. Por otro lado se reconoce que las nubes y el vapor de agua contribuyen al incremento en el flujo radiativo de longitud de onda larga en la baja troposfera ártica aunque la incertidumbre en el papel de las nubes es alta y de hecho no hay acuerdo en los resultados del CMIP5 acerca de si el papel retroalimentador de las nubes puede suponer un mayor enfriamiento o calentamiento en la baja troposfera ártica a lo largo del conjunto del año.

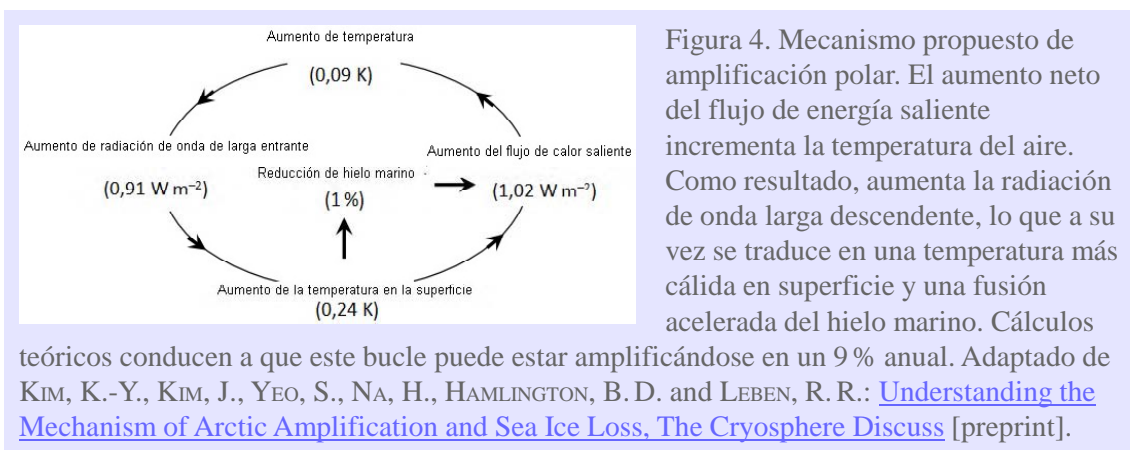
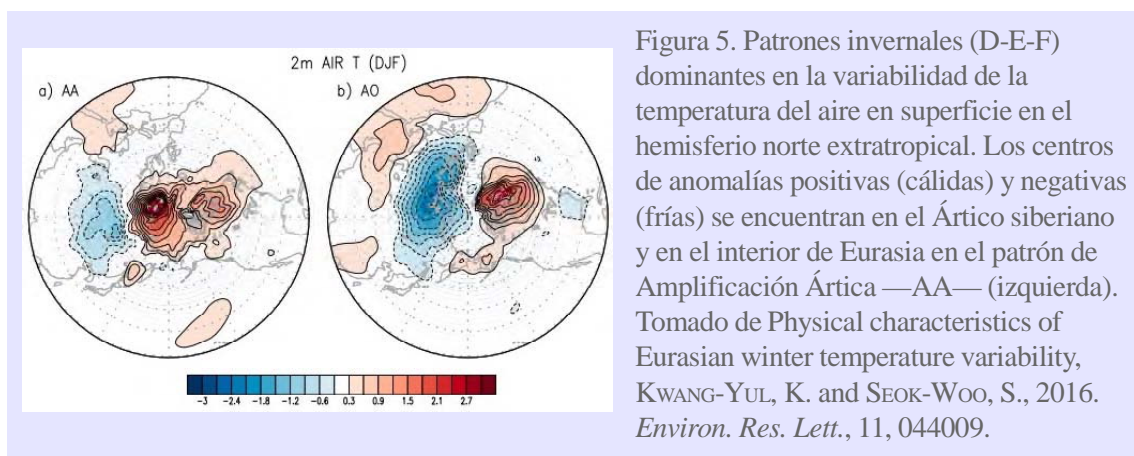


Figura 4. Mecanismo propuesto de amplificación polar. El aumento neto del flujo de energía saliente incrementa la temperatura del aire. Como resultado, aumenta la radiación de onda larga descendente, lo que a su vez se traduce en una temperatura más cálida en superficie y una fusión acelerada del hielo marino. Cálculos teóricos conducen a que este bucle puede estar amplificándose en un 9 % anual. Adaptado de KIM, K.-Y., KIM, J., YEO, S., NA, H., HAMLINGTON, B. D. and LEBEN, R. R.: [Understanding the Mechanism of Arctic Amplification and Sea Ice Loss, The Cryosphere Discuss](#) [preprint].

### Conexión con patrones atmosféricos de latitudes medias. *Ártico cálido, continentes fríos*

Si bien en el periodo 1971-2020 se ha observado una clara amplificación polar invernal en el Ártico central, las temperaturas en el este de los continentes asiático y norteamericano no han sufrido cambios o incluso han disminuido, destacando muy especialmente el enfriamiento invernal del continente euroasiático en el periodo 2000-2015. De hecho, cada vez un mayor número de estudios apuntan a que la reducción de hielo marino en los mares de Kara y Barents tiene potenciales implicaciones en los extremos de frío invernal de las latitudes continentales más meridionales. Otra línea de investigación considera algunas posibles cadenas causales que conducen al retroceso de hielo partiendo de que la Oscilación Multidecadal Atlántica (AMO) y la variabilidad de la temperatura superficial marina en la región septentrional de la Corriente del Golfo guardan una posible relación con cambios en la circulación atmosférica en el sector atlántico norte-Escandinavia. La generación de ondas de Rossby y la persistencia anticiclónica en el interior del continente asiático potencian una marcada advección de aire más cálido y húmedo hacia el Ártico siberiano. Analizando la variabilidad de la temperatura del aire en superficie durante el invierno en el conjunto de las latitudes subtropicales, medias y árticas mediante técnicas estadísticas, se encuentra que el modo predominante de variabilidad en el hemisferio norte extratropical reproduce el patrón Ártico cálido-continentes fríos (denominado AA, figura 5 izquierda). La amplitud de la diferencia de anomalías muestra una clara tendencia en aumento desde los años 90. El dipolo no se presenta en otras estaciones del año.



El segundo modo de variabilidad exhibe las características de la *Oscilación Ártica* (AO) negativa (figura 5, derecha), que es muy similar a la [NAO](#).

Algunos estudios sostienen que ambos patrones, el de la Amplificación y la Oscilación Ártica, pueden de hecho estar correlacionados temporalmente. Incluso se ha argumentado que el retroceso de hielo marino a finales de verano y el aumento de la cobertura nivosa en Siberia durante el otoño fuerzan una circulación atmosférica a gran escala que reproduce una NAO/AO negativa en invierno, dando lugar a anomalías frías en los continentes. La conclusión es que no está suficientemente claro si es la AA, la AO o el retroceso de hielo marino lo que predominantemente actúa sobre la circulación atmosférica a gran escala conduciendo al frío continental.



Por otro lado, el debate en la comunidad científica de climatólogos acerca del papel de la reducción de hielo marino en el ártico y su relación con una *jet stream* más débil o más ondulada se ha caracterizado por ser especialmente controvertido en los últimos años. Por un lado ciertas observaciones apoyan la teoría de que algunos patrones atmosféricos son más persistentes favoreciendo una meridionalización de la circulación troposférica y un mayor número de extremos meteorológicos y climáticos tanto en el Ártico como en latitudes medias. En general hay una mayor evidencia sobre el aumento de amplitud de las ondulaciones que sobre su ralentización. Tampoco está claro qué parte es resultado de la variabilidad interna inherente al clima y qué parte puede atribuirse al calentamiento y la pérdida de hielo. Además, en el marco del Proyecto de Intercomparación de Modelos orientados a la Amplificación Polar (PAMIP) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas de la OMM, no se encuentra un reflejo de las observaciones en los resultados de los modelos. Probablemente, como algunos han señalado, es peligroso establecer una única métrica o focalizar únicamente en una región o estación del año.

### La ola de calor de Siberia

Durante el primer semestre de 2020 Siberia sufrió anomalías positivas de temperatura nunca antes observadas en el pasado reciente (al menos desde 1950, figura 6). La temporada de incendios forestales fue especialmente activa aunque se han reportado también daños en la salud de las personas y un marcado derretimiento del permafrost cuyos impactos se asocian a problemas medioambientales graves. La ola de calor de Siberia se considera un ejemplo de un evento meteorológico que seguramente dependa de la suma de la amplificación ártica y la dinámica interna atmosférica, en este caso, fundamentalmente de la advección zonal de temperatura originada por la variabilidad de los patrones sinópticos subárticos resultantes de la posición del *jet stream*, de la persistencia del patrón escandinavo y del vórtice polar estratosférico. Una NAO/AO con valores positivos muy altos en el periodo enero-abril (en 2020 prácticamente batiendo récords desde 1950) favorece temperaturas por encima de lo normal en el conjunto de Siberia. Parece además que la temprana fusión estacional del manto de nieve en mayo pudo retroalimentar las altas temperaturas de junio a través de una mayor absorción de radiación solar. De hecho, en la ciudad de Verkhoyansk se registraron 38 °C a finales de junio, lo que probablemente supone la mayor temperatura medida al norte del Círculo Polar Ártico.

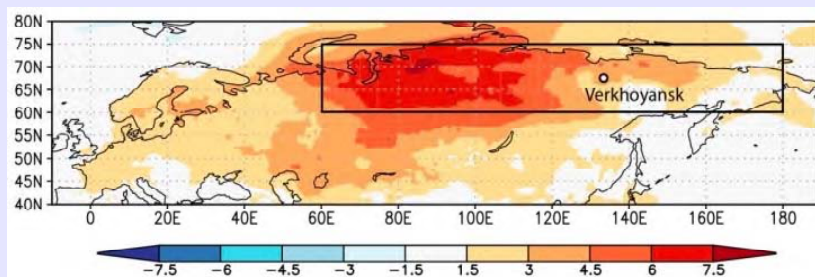


Figura 6. Anomalías de temperaturas promedio de enero a junio de 2020 respecto a las normales de referencia (1981-2010) en la región de Siberia utilizada en el estudio de atribución (recuadro), y la ubicación de la ciudad de Verkhoyansk que experimentó la temperatura diaria récord. Reanálisis ERA5 de ECMWF. Extraído de <https://www.worldweatherattribution.org/wp-content/uploads/WWA-Prolonged-heat-Siberia-2020.pdf>.



Pese al papel de la persistente dinámica atmosférica y las posibles retroalimentaciones, de acuerdo al [estudio de atribución](#) llevado a cabo para este evento, las anomalías de temperatura observadas serían 600 veces menos probables en ausencia de calentamiento global. En el estudio también se afirma que, de producirse el mismo evento prolongado a principios del siglo XX, las desviaciones registradas de temperatura media hubieran sido 2 °C inferiores en el mismo periodo.

## **Una reflexión hacia el futuro**

---

En la última década, el Ártico se ha calentado 0,75 °C, superando con creces el promedio mundial. **A medida que el conjunto de la Tierra se acerque a un calentamiento anual medio de 2 °C, el Ártico puede alcanzar los 4 °C, e incluso 7 °C en el trimestre de invierno.** Las **consecuencias esperadas** del aumento del calentamiento del Ártico incluyen la pérdida continua de hielo terrestre y marino, amenazas para los ecosistemas y los medios de vida humanos tradicionales, un aumento de las emisiones de metano y un clima más extremo en latitudes más bajas. La pérdida de hielo terrestre en el Ártico, sumada a la de la Antártida, contribuirá sustancialmente al aumento global del nivel del mar, con una posible subida de hasta 3 m si se atraviesan ciertos umbrales. Los **esfuerzos de mitigación** pueden ralentizar o reducir el calentamiento, pero sin ellos, el calentamiento de las latitudes altas del norte puede acelerarse aún más de aquí a 2050 y es muy probable que episodios prolongados como el del primer semestre de 2020 en Siberia aumenten considerablemente su probabilidad de ocurrencia.

Los estudios recientes centrados en las conexiones entre las alteraciones en el Ártico y el clima y fenómenos de latitudes medias han puesto el foco en efectos directamente atribuibles a cambios específicos en el Ártico, como la reducción del hielo marino y la extensión de la cobertura nivosa estacional. Se ha llegado a conclusiones dispares, a menudo contradictorias, debido sobre todo al uso de diferentes conjuntos de datos, modelos, enfoques, métricas o interpretaciones. La baja relación señal/ruido y la naturaleza regional, episódica y dependiente del estado de las conexiones complican aún más los análisis y las conclusiones. Aun con ello, debido sobre todo al incremento de los estudios e investigaciones en la última década, se ha progresado en la comprensión de las conexiones y en el desciframiento de sus características regionales y matices estacionales. Sin embargo, las limitaciones para determinar la causa y el efecto se derivan tanto de la itinerancia de los patrones como de los distintos forzamientos externos, a menudo coincidentes en el espacio o simultáneos en el tiempo, y que pueden dar lugar a retroalimentaciones en los distintos subsistemas. Se debe aceptar que *la componente caótica juega un rol indiscutible en las conexiones entre un Ártico que se calienta rápidamente y la circulación atmosférica de latitudes medias* y que, en última instancia, impide llegar a conclusiones simples.

La cooperación internacional es fundamental para prever y adaptarse a los cambios esperados. Desde el punto de vista de los análisis climáticos todavía hay que ahondar en la mejora de los datos, diagnósticos y modelos, para lo que la colaboración científica internacional en la coordinación de los programas de investigación resulta crucial. El uso de la modelización por conjuntos es esencial así como mejorar el realismo y la autoconsistencia de los procesos físicos en modelos numéricos de alta resolución que incorporan simultáneamente múltiples procesos e inestabilidades internas. Por otro lado, se ha de avanzar

hacia el consenso de la comunidad científica en la comprensión de las conexiones y en una mejor comunicación de los conocimientos y las incógnitas al público y a los responsables de políticas.

Los periodos de frío invernal, las olas de calor del verano, las sequías y las inundaciones, y sus conexiones con la variabilidad natural y el calentamiento global serán sin duda temas de investigación activa durante los próximos años. Comprender y, en última instancia, anticipar el papel del rápido calentamiento del Ártico en los patrones climáticos cambiantes de latitudes medias es un gran desafío científico, pero los posibles beneficios sociales y económicos pueden llegar a ser enormes.

## Referencias

---

- AMAP Assessment, 2021. Arctic Climate Change Update 2021, Key Trends and Impacts.
- COHEN, J., ZHANG, X., FRANCIS, J. *et al.*, 2020. Divergent consensuses on Arctic amplification influence on midlatitude severe winter weather. *Nat. Clim. Chang.*, 10, 20-29. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0662-y>.
- STUECKER, M. F., BITZ, C. M., ARMOUR, K. C. *et al.*, 2018. Polar amplification dominated by local forcing and feedbacks. *Nature Clim. Change*, 8, 1076-1081. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0339-y>.
- PITHAN, F. y MAURITSEN, T., 2014. Arctic amplification dominated by temperature feedbacks in contemporary climate models. *Nature Geosci.*, 7, 181-184. <https://doi.org/10.1038/ngeo2071>.
- SCREEN, J. y SIMMONDS, I., 2010. Increasing fall-winter energy loss from the Arctic Ocean and its role in Arctic temperature amplification. *Geophysical Research Letters*, 37.
- DESER, C., THOMAS, R., ALEXANDER, M. y LAWRENCE, D., 2010. The seasonal atmospheric response to projected Arctic sea ice loss in the late twenty-first century. *J. Clim.*, 23, 333-351. <https://doi:10.1175/2009JCLI3053.1>.
- SERREZE, M. C. y BARRY, R. G., 2011. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. *Global and Planetary Change*, 77, 1-2, 85-96.
- DAI, A., LUO, D., SONG, M. y LIU, J., 2019. Arctic amplification is caused by sea-ice loss under increasing CO<sub>2</sub>. *Nature Communications*, 10, 121. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07954-9>.
- PARK, D.-S. R. *et al.*, 2015. Attribution of the Recent Winter Sea Ice Decline over the Atlantic Sector of the Arctic Ocean. *Journal of Climate*, 28: 4027-4033.
- OVERLAND, J. *et al.*, 2019. The urgency of Arctic change. *Polar Science*, 21: 6-13.
- JUNG, O., SUNG, M.-K., SATO, K., LIM, Y.-K., KIM, S.-J., BAEK, E.-H., JEONG, J.-H. y KIM, B.-M., 2017. How does the SST variability over the western North Atlantic Ocean control Arctic warming over the Barents-Kara Seas. *Environ. Res. Lett.*, 12, 034021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AA5F3B>.
- SATO, K. *et al.*, 2014: Influence of the Gulf Stream on the Barents Sea ice retreat and Eurasian coldness during early Winter. *Environ. Res. Lett.*, 9, 084009.

RUGGIERI, P. *et al.*, 2017. The transient atmospheric response to a reduction of sea-ice cover in the Barents and Kara Seas. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 143: 1632-1640.

OVERLAND, J. E., WOOD, K. R. y WANG, M., 2011. Warm Arctic—cold continents: climate impacts of the newly open Arctic Sea. *Polar Research*, 30:1, 15787. <https://doi.org/10.3402/polar.v30i0.15787>.

KIM, K.-Y. y SON, S.-W., 2016. Physical characteristics of Eurasian winter temperature variability. *Environ. Res. Lett.*, 11, 044009.

PEINGS, Y. y MAGNUSDOTTIR, G., 2014. Forcing of the wintertime atmospheric circulation by the multidecadal fluctuations of the North Atlantic ocean. *Environ. Res. Lett.*, 9, 034018.

LIU, J. P., CURRY, J. A., WANG, H., SONG, M. y HORTON, R. M., 2012. Impact of declining Arctic sea ice on winter snowfall. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 109, 4074-4079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1114910109>.

MARTIN, J. E., 2020. Recent trends in the waviness of the Northern Hemisphere wintertime polar and subtropical jets.

WEGMANN, M. *et al.*, 2018. Warm Arctic-cold Siberia: comparing the recent and the early 20th-century Arctic warmings. *Environmental Research Letters*, 13: 025009.

<https://aviales.ru/popup.aspx?news=6052>.

KRAMER, A. E., 2020. Major Fuel Spill in Russia's North Spreads Toward Arctic Ocean. *The New York Times*, June 9. <https://www.nytimes.com/2020/06/09/world/europe/russia-arctic-oil-spill.html?ref=oembed>.

OVERLAND, J., DETHLOFF, K., FRANCIS, J. *et al.*, 2016. Nonlinear response of mid-latitude weather to the changing Arctic. *Nature Clim. Change*, 6, 992-999. <https://doi.org/10.1038/nclimate3121>.

POST, E., ALLEY, R. B., CHRISTENSEN, T. R., MACIAS-FAURIA, M., FORBES, B. C., GOOSEFF, M. N., ILER, A., KERBY, J. T., LAIDRE, K. L., MANN, M. E., OLOFSSON, J., STROEVE, J. C., ULMER, F., VIRGINIA, R. A. y WANG, M., 2019. The polar regions in a 2 °C warmer world. *Sci Adv.*, 5(12): eaaw9883. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw9883>.

OVERLAND, J. E. y WANG, M., 2021. The 2020 Siberian heat wave. *Int. J. Climatol.*, 41 (Suppl. 1): E2341-E2346. <https://doi.org/10.1002/joc.6850>.

# ENTONCES, ¿ES VERDAD QUE EL CLIMA ESTÁ CAMBIANDO?

Delia Gutiérrez Rubio  
Meteoróloga de AEMET

(publicado en el blog de AEMET  
el 22 de julio de 2021)



*Las recientes y dramáticas inundaciones en el noroeste de Alemania y los países del Benelux han sido la última y más cercana de las anomalías meteorológicas que se vienen sucediendo en este recién comenzado verano de extremos, como lo ha denominado la Organización Meteorológica Mundial en una [nota informativa](#). Como siempre en estos casos, la respuesta de los científicos del clima a la pregunta acerca de la atribución de cada*

*uno de estos episodios extremos al cambio climático consiste en la realización de un estudio de atribución riguroso, que necesariamente requiere tiempo, lo que no quita que, con una perspectiva más amplia, podamos contemplar esta sucesión de eventos meteorológicos de alto impacto y sacar conclusiones. Imagen: Rhein-Erft municipality, a través de [public.wmo.int](#).*

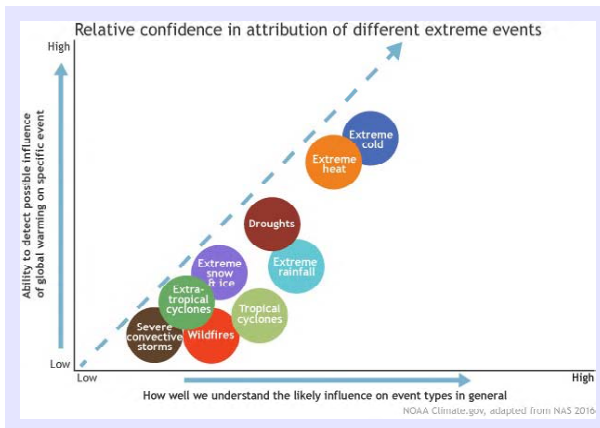
Las intensas precipitaciones han causado docenas de víctimas en Alemania. Si bien no es la primera vez que ocurre algo así (están documentadas graves inundaciones en 1910 y en 1804 en la Base de Datos Europea de Tiempo Adverso, ESWD, según informa [@ThiloKuehne](#) en [este tuit](#)), la cuestión es si este tipo de fenómenos meteorológicos están siendo **más frecuentes y más extremos**.

## Estudios de atribución

Es decir, se trata de separar la [variabilidad climática natural](#) de los efectos en nuestro clima provocados por el constatado calentamiento global antropogénico. Para ello, los [estudios de atribución](#) analizan la probabilidad de que un evento determinado pueda ocurrir en un clima no alterado, y la comparan con la probabilidad de su ocurrencia en la situación actual, con una atmósfera más cálida a causa del calentamiento provocado por las emisiones de gases de efecto invernadero.

Entonces, ¿es verdad que el clima está cambiando?

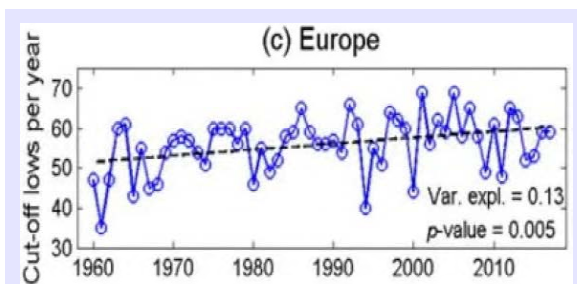
El rápido [análisis de la reciente ola de calor en Canadá](#) demostró que la probabilidad de que lo sucedido en Canadá se produjese de forma natural es de una vez cada decenas de miles de años, es decir, podemos considerar prácticamente imposible su ocurrencia en un clima no alterado. Seguramente pronto sabremos, mediante un estudio equivalente, con qué probabilidad hubiera sido posible este episodio de lluvias torrenciales en un clima no afectado por la acción humana, aunque hay que advertir que la atribución al cambio climático de los episodios de frío y calor extremo se detecta mejor que la de episodios de precipitaciones extremas.



La habilidad para detectar la influencia del cambio climático en un evento extremo determinado (eje vertical) está muy relacionada con el conocimiento que se tiene sobre la influencia del calentamiento global en ese tipo de evento (eje horizontal). Gráfico original [aquí](#).

## Análisis de tendencias en la ocurrencia de eventos extremos

Pero, como decíamos al principio, además del estudio de cada episodio por separado, se puede analizar también la sucesión de episodios de eventos extremos y detectar tendencias. Si nos centramos en las precipitaciones, en AEMETblog tenemos un excelente [estudio de nuestro compañero Peio Oria de los registros de precipitaciones extremas en nuestra vertiente mediterránea](#) que apunta a un **aumento en frecuencia e intensificación de las situaciones que provocan lluvias muy fuertes o torrenciales y de extensión significativa en el conjunto del Mediterráneo español**. En [este otro estudio](#), el mismo autor



Evolución del número de danas en 500 hPa para el conjunto del continente europeo. Tomada de MUÑOZ, 2020.

analizaba las precipitaciones acumuladas durante la #BorrascaGloria que nos afectó en enero de 2020 para concluir que **en términos de cantidades totales de precipitación, Gloria fue el evento más extremo en el conjunto del Mediterráneo en España**. En dicho post el autor se refería también a un estudio<sup>1</sup> que afirma que la ocurrencia de [danas](#) en el conjunto del planeta va en aumento.

<sup>1</sup> MUÑOZ, C., SCHULTZ, D. M. y VAUGHAN, G. (2020): A Midlatitude Climatology and Interannual Variability of 200—and 500—hPa Cut-Off Lows. December 2019, *Journal of Climate*, 33(6).



Otro experto en el análisis de las precipitaciones, nuestro compañero Sergi González, analizaba en [este post](#) las precipitaciones registradas en España en 2019 para concluir que fue un año excepcional en cuanto a la cantidad de episodios de precipitaciones extremas registradas, si bien nos recordaba también que los registros de precipitaciones extremas son escasos y «caprichosos» (en el sentido de que las precipitaciones intensas a nivel local no siempre caen donde haya un pluviómetro que las registre), por lo que es difícil sacar conclusiones a partir de los registros disponibles.

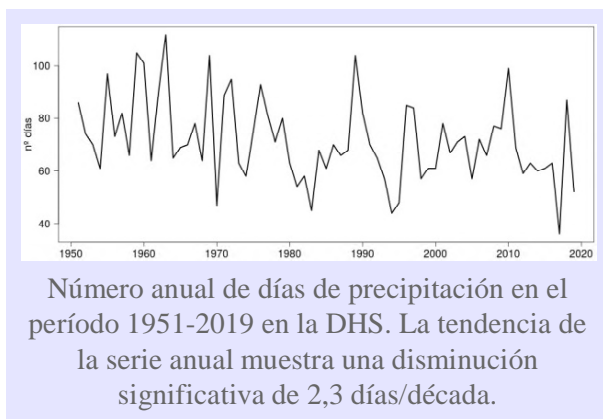
Y de nuevo Peio Oria hacía [aquí](#) un revelador **análisis de la evolución de las distribuciones y tendencias de la precipitación en España en los últimos 50 años**, que analizaba tanto las cantidades de precipitación de los días muy húmedos como el máximo número anual de días consecutivos sin precipitación, y mostraba tendencias como:

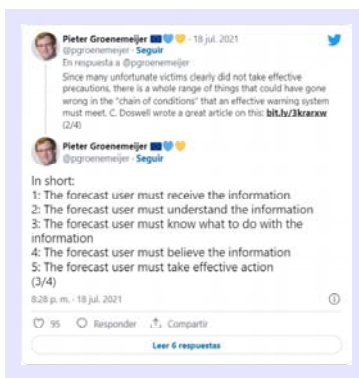
- Un aumento en el promedio de la cantidad de precipitación diaria de los días muy húmedos en zonas del Mediterráneo (litoral peninsular y archipiélago balear), Pirineo y Prepirineo aragonés, gran parte de Andalucía y Extremadura y, de forma más local, en zonas del norte de Palencia y León y Canarias.
- Una disminución en el promedio de la cantidad de precipitación diaria de los días muy húmedos en el interior de la Península, meseta norte y sur así como en la mayor parte del Cantábrico.

Y, en cuanto al número de días sin precipitación:

- Un aumento notable de la duración de los periodos sin precipitaciones en muchas estaciones de la mitad sur de sur de la Península, muy especialmente en Andalucía y partes de Murcia (círculos grandes en colores rojos).
- En buena parte del norte de la Península las tendencias son próximas a cero (colores verdes).
- Ligera disminución de la duración de los periodos secos en el valle del Ebro, zonas del litoral mediterráneo y algunas estaciones del oeste de la Península.

En la misma línea, es altamente recomendable también el exhaustivo estudio de nuestro compañero Juan Andrés García dedicado al [análisis de los datos de precipitación en la Cuenca del Segura](#) a partir de los datos de AEMET en rejilla desde 1951. También este análisis detecta las tendencias comentadas para precipitaciones intensas, rachas secas y número de días de precipitación, a la escala de la Región de Murcia.





## Impactos de las precipitaciones extremas

Pero las consecuencias de unas lluvias intensas dependen no solo de la cantidad de precipitación, sino también de muchas circunstancias relacionadas con características naturales del terreno, urbanísticas, de planificación y de gestión. Como nos recuerda el hilo de @mitecogob (izquierda), es esencial prepararse por adelantado.

En esta misma línea, señala Pieter Groenemeijer, director del [Laboratorio Europeo de Tormentas Fuertes](#), ESSL, que el elevado número de víctimas en Alemania, a pesar de que se habían activado correctamente los avisos de precipitaciones intensas, nos invita a recordar que, para que los avisos sean efectivos, hay una cadena de condiciones que no debe romperse:

- El usuario debe recibir la información.
- El usuario debe entender la información.
- El usuario debe saber qué hacer con la información.
- El usuario debe creer la información.
- El usuario debe actuar de manera efectiva.

## Tiempo de actuar

Retomamos, para concluir, la pregunta que planteábamos en el titular: *Entonces, ¿es verdad que el clima está cambiando?* Todo apunta a que **somos la primera generación que está viviendo un cambio en el clima en el espacio de una vida humana**. La velocidad del cambio, vertiginosa a la escala de tiempo de la historia del planeta, no es, sin embargo, igual de evidente con la perspectiva de nuestra experiencia cotidiana. La experiencia subjetiva no es suficiente para calibrar la magnitud de lo que ocurre, y el bombardeo de informaciones diversas —que nos impactan tan fuertemente como rápidamente se olvidan— quizás nos aturde, nos angustia, o nos provoca rechazo.



Entonces, ¿qué debemos hacer? En el fondo, es muy sencillo: escuchar a la ciencia. La evidencia del calentamiento global, las advertencias del [IPCC](#) acerca de la importancia de frenarlo urgentemente, los datos acerca del distinto impacto que tendría en nuestra sociedad alcanzar distintos niveles de calentamiento —como los que presentaba el servicio meteorológico británico hace tan solo unos días (izquierda)— no dejan lugar a dudas.

Cada grado de más que permitamos que aumente la temperatura media global tendrá un impacto muy elevado en nuestra salud, en el transporte, en la disponibilidad de agua y de energía, en suma, en nuestra forma de vida.

Del mismo modo que durante una pandemia como la actual las decisiones deben tomarse teniendo en cuenta los criterios sanitarios, nuestra sociedad debe escuchar las advertencias que desde hace décadas la comunidad científica está haciendo acerca del cambio en nuestro clima, y actuar en consecuencia, con la decisión y la celeridad que la emergencia climática requiere. **Debemos cambiar nuestra forma de vida, porque, si no lo hacemos, el cambio será mucho más dramático y costoso.** Este *verano de extremos* nos está mostrando las consecuencias, y el alto coste, de no haber actuado antes. Tenemos el cambio climático delante de los ojos, no esperemos, como en la [fábula de la rana cocida](#), a que ya no seamos capaces de saltar.

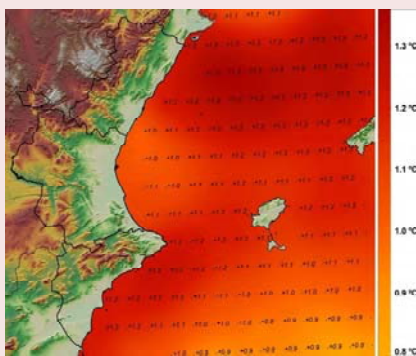


# TIEMPO, CLIMA E INTENSIFICACIÓN DE FENÓMENOS EXTREMOS EN ESPAÑA

José Ángel Núñez Mora

Meteorólogo, DT de AEMET en la Comunitat Valenciana

(publicado en el blog de AEMET  
el 6 de septiembre de 2021)



*Durante este verano, sobre todo a consecuencia de la extrema ola de calor que sufrió España durante los días 12 al 15 de agosto de 2021, se han oído muchas voces aludiendo a la supuesta «normalidad» de que en España, durante el verano, se produzcan olas de calor y días muy cálidos como los de 2021. El argumento más repetido para avalar esa normalidad del calor de 2021 era una portada del semanario «El Español», publicado el 17 de agosto de 1957, en la que se afirmaba que el de*

*1957 era el verano más cálido del siglo y que en La Mancha se habían registrado 50 °C. Argumentos similares se han oído a raíz de las tormentas provocadas por la dana que se situó sobre la Península en los últimos días de agosto y primeros de septiembre y que provocó lluvias torrenciales y crecidas relámpago, así como efemérides absolutas de precipitación acumulada en 24 horas en observatorios con series largas de datos como el de Daroca, cuyos registros comenzaron octubre de 1909, o máximos provinciales de precipitación en 24 horas en un mes de julio o agosto en Castellón, por las lluvias torrenciales de Benicàssim del día 29 de agosto.*

## Verano de 1957

Podría haber sido cierto que el verano de 1957 hubiese sido un verano extremadamente cálido, incluso podría haber sido cierto que resultase más cálido que veranos como los de 2003, 2015 y 2017, los más cálidos de estas dos primeras décadas del siglo XXI; y podría haber sido cierto que en La Mancha se hubiesen registrado 50 °C durante ese verano de 1957. **Aunque todo hubiese sido cierto, nada de eso habría invalidado el hecho indudable de que la temperatura media en España está en ascenso en las últimas décadas, que ese ascenso está siendo más intenso en verano y que a consecuencia de ello se están incrementando las olas de calor y el número de días de ola de calor en nuestro territorio.** Siempre hay que volver a insistir en que tiempo y clima son conceptos distintos,

y que el cambio climático no implica que cada año y cada verano vaya a ser más cálido que el anterior y que ya nunca más vaya a hacer frío, sino que lo que implica es una tendencia general de temperaturas al alza, lo que hace cada vez más probable que se produzcan periodos de temperaturas altas y olas de calor, y menos probable que se produzcan olas de frío y días muy fríos.

Pero el caso es que, si acudimos a los datos, ni en 1957 se llegaron a alcanzar 50 °C en La Mancha, ni el de 1957 era el verano más cálido del siglo, ni desde luego la temperatura media de ese verano es comparable a las medias de los veranos de las últimas décadas.

Por empezar por los supuestos 50 °C registrados en La Mancha en 1957: en el banco de datos climatológico nacional solo hay un dato de 50 °C o más, fueron los 50,7 °C registrados el 13 de julio de 1961 en Semara (Esmara), en el Sahara Occidental. No hay ningún registro en el banco de datos climatológico nacional de 50 °C en la Península, los archipiélagos o las ciudades autónomas.

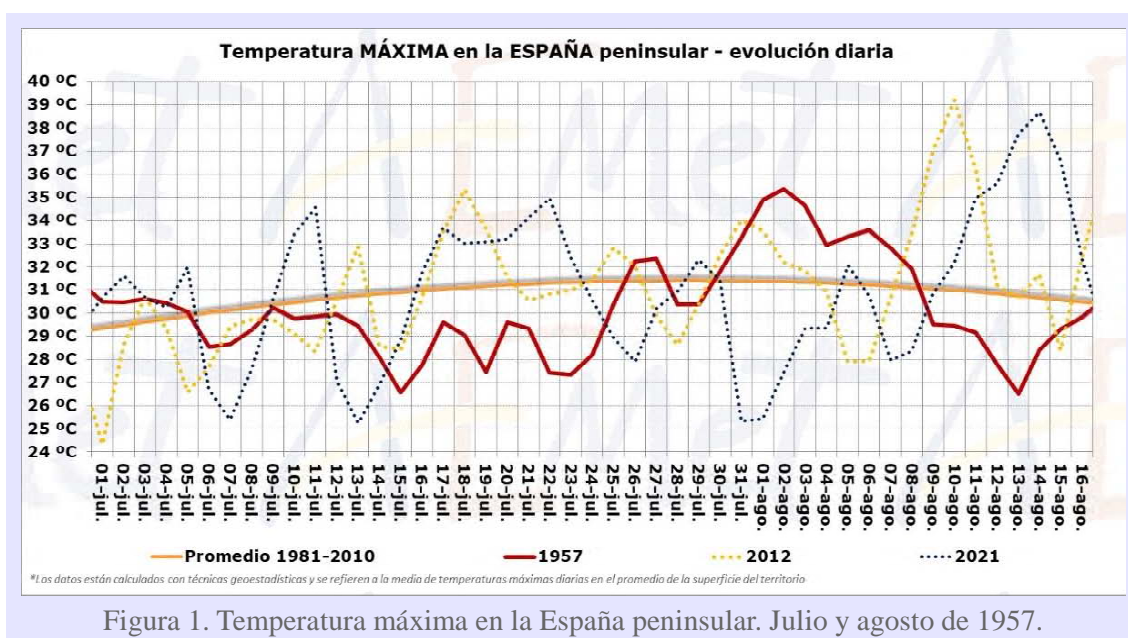


Figura 1. Temperatura máxima en la España peninsular. Julio y agosto de 1957.

El verano de 1957 iba transcurriendo con un ambiente no muy cálido, hasta que los últimos días de julio se produjo un importante ascenso de temperatura que dio lugar a temperaturas muy altas que se prolongaron hasta el 9 de agosto. Este periodo cálido de 1957, siendo importante, estuvo muy lejos de los picos registrados en olas de calor como las de 2012 o 2021 (figura 1) y su persistencia y duración no tuvo nada que ver con olas de calor como las de 2003, 2015 o 2017.

Como el número de la revista *El Español* que afirmaba que el de 1957 era el verano más cálido del siglo fue publicada el 17 de agosto, vamos a prescindir de los datos de la segunda quincena del mes, que es un periodo posterior a la publicación de la revista, y vamos a analizar los datos de temperatura media en España entre el 1 de julio y el 15 de agosto de 1957 y a compararlo con la serie entre 1950 y 2021.



Tomando como referencia climática el promedio del periodo 1981-2010, el de 1957 sería considerado como un verano normal, y, aunque no hemos calculado los datos anteriores a 1950 antes de él, el de 1950 resultó aún más cálido y, desde luego, no hay comparación posible entre la temperatura media registrada en España en veranos a partir de los años noventa del pasado siglo y la de 1957 (figura 2).

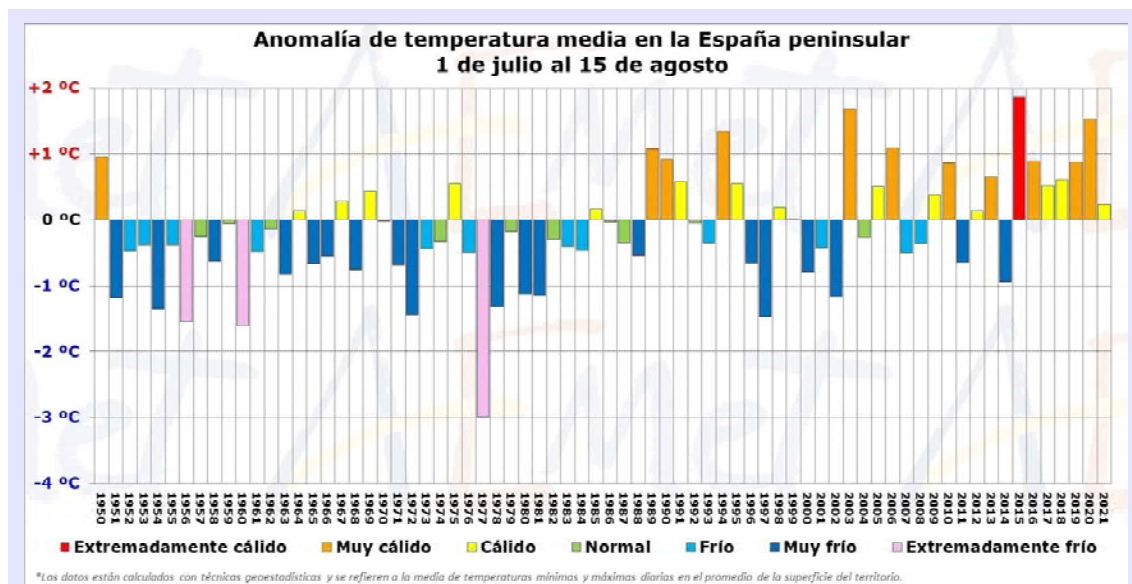


Figura 2. Temperatura media en la España peninsular. 1 de julio al 15 de agosto (1950-2021).

## Cambios en las temperaturas medias

Quedan pocas dudas de que todos los fenómenos relacionados con el calor, como las noches tropicales o las olas de calor, se han incrementado de forma significativa en las últimas décadas. En relación a décadas anteriores, en España prácticamente se han duplicado tanto el número de olas de calor como de días al año en los que se registran estos episodios extremos (figura 3)<sup>1</sup> y ha habido olas de calor con una duración que ha llegado hasta los 26 días, como ocurrió en el verano de 2015, o la extraordinaria ola de calor de 2003, que se prolongó durante 16 días<sup>2</sup>.

El verano de 2003 fue calificado como probablemente el más cálido hasta entonces en el continente europeo en los últimos 500 años (LUTERBACHER *et al.*, 2005). El informe sobre el exceso de mortalidad en Europa durante el verano de 2003<sup>3</sup> elaborado a petición de la Unión Europea dentro del programa de acción comunitaria de la UE para la salud pública, estima que *en total, en 2003 se registraron más de 80 000 muertes adicionales en los doce países afectados por el exceso de mortalidad en comparación con el periodo 1998-2002, 70 000 de estas muertes adicionales ocurrieron durante el verano y casi 45 000 muertes adicionales se registraron solo en agosto.*

<sup>1</sup> AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET), 2021. Olas de calor en España desde 1975. [http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/estudios/Olas\\_calor/OlasCalorActualizacionEnero2021.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/Olas_calor/OlasCalorActualizacionEnero2021.pdf).

<sup>2</sup> RODRÍGUEZ BALLESTEROS, C., 2016. Principales olas de calor en España desde 1975. <https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/11833>.

<sup>3</sup> ROBINE, J.-M., CHEUNG, S. L., LE ROY, S., VAN OYEN, H., y HERRMANN, F. R., 2007. Report on excess mortality in Europe during summer 2003. [https://ec.europa.eu/health/ph\\_projects/2005/action1/docs/action1\\_2005\\_a2\\_15\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/health/ph_projects/2005/action1/docs/action1_2005_a2_15_en.pdf).

En el Informe sobre el estado del clima de España 2020<sup>4</sup> y en la jornada técnica que se organizó para exponer los resultados, se indicó que los últimos análisis indican que el calentamiento se ha acelerado en las décadas más recientes en España, con un incremento de la temperatura media desde 1961 a razón de 0,21 °C/decenio para la España peninsular y Baleares (+1,26 °C de ascenso entre 1961 y 2020) y algo menos en Canarias, 0,19 °C/decenio.



Figura 3. Número de días al año en situación de ola de calor en España por décadas desde 1975.

Fuente: <http://www.aemet.es/es/noticias/2020/09/olas-de-calor-duplicadas-esta-ultima-decada>.

La figura 4 muestra la evolución de la anomalía de temperatura media anual de España del periodo 1850-2020, obtenida por diferentes reconstrucciones climáticas; en línea gruesa negra, la obtenida de simulaciones históricas de los modelos climáticos para el periodo 1971-2005; y en ocre y naranja, la anomalía de temperatura proyectada por los modelos climáticos para 2006-2100.

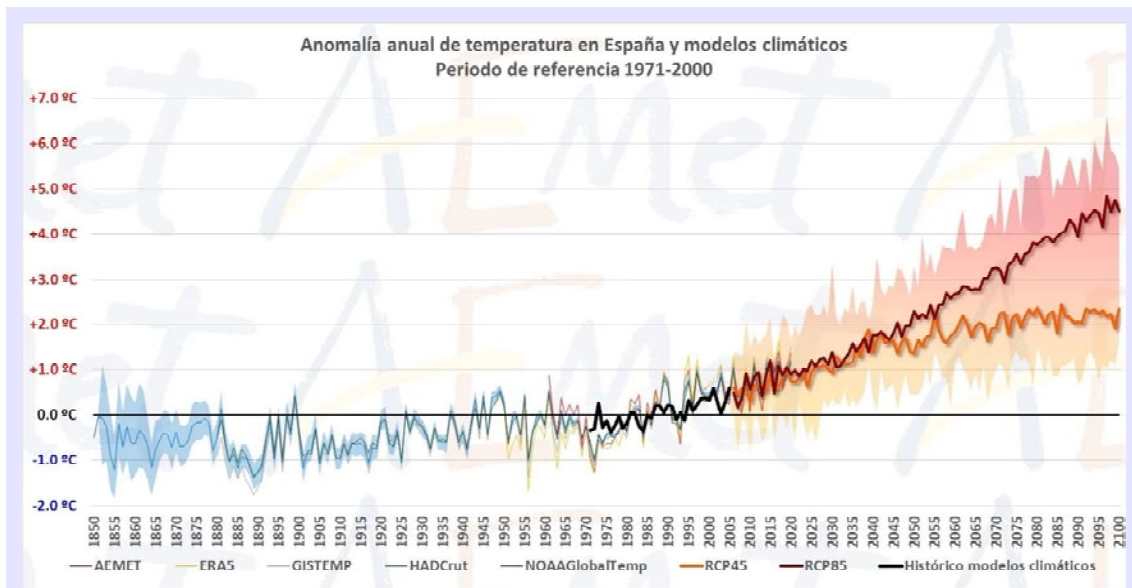


Figura 4. Anomalías de la temperatura media anual en superficie en la España peninsular respecto al periodo de referencia (1971-2000). Los resultados de los datos de AEMET concuerdan con los del reanálisis ERA5 y los valores medios de las simulaciones históricas de los modelos climáticos y con los obtenidos de conjuntos de datos globales (HadCRUT, NOAA GlobalTemp y GISTEMP). También se incluyen las proyecciones de las anomalías de la temperatura para las trayectorias de concentración representativas RCP 8.5 y RCP 4.5.

Las líneas ocre y naranja de trazo grueso, y las zonas sombreadas que las envuelven, representan las proyecciones regionalizadas de las anomalías de temperatura para España

<sup>4</sup> AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET), 2021. Informe sobre el estado del clima de España 2020. <https://doi.org/10.31978/666-21-002-3>.

para el periodo 2006-2100, realizadas a partir de las proyecciones globales de 16 modelos del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) para dos escenarios diferentes de emisión de gases de GEI o trayectorias de concentración representativas (RCP), que corresponden a un escenario intermedio (RCP 4.5) y al peor escenario de emisiones (RCP 8.5). Las líneas gruesas representan la media de los modelos, y las zonas sombreadas la dispersión de los mismos para los respectivos escenarios. Este gráfico refleja que:

1. Los modelos han sido capaces de reproducir la tendencia de temperatura en el periodo 1971-2020, requisito fundamental para poder dar validez a las proyecciones climáticas.
2. Los modelos climáticos proyectan que las temperaturas continuarán al alza y de forma similar en ambos escenarios hasta mediados del siglo XXI. A partir de ahí, en el escenario intermedio (RCP 4.5), la tendencia de temperatura al alza se estabiliza, resultando un incremento de temperatura medio en España próximo a 2 °C a final de siglo respecto a la referencia climática 1971-2000 (2,6 °C con respecto a los niveles preindustriales). En el peor escenario (RCP 8.5) seguirá con tendencia creciente, con un incremento de temperatura medio próximo a 5 °C a final de siglo respecto a la referencia climática 1971-2000 (5,6 °C con respecto a la era preindustrial).

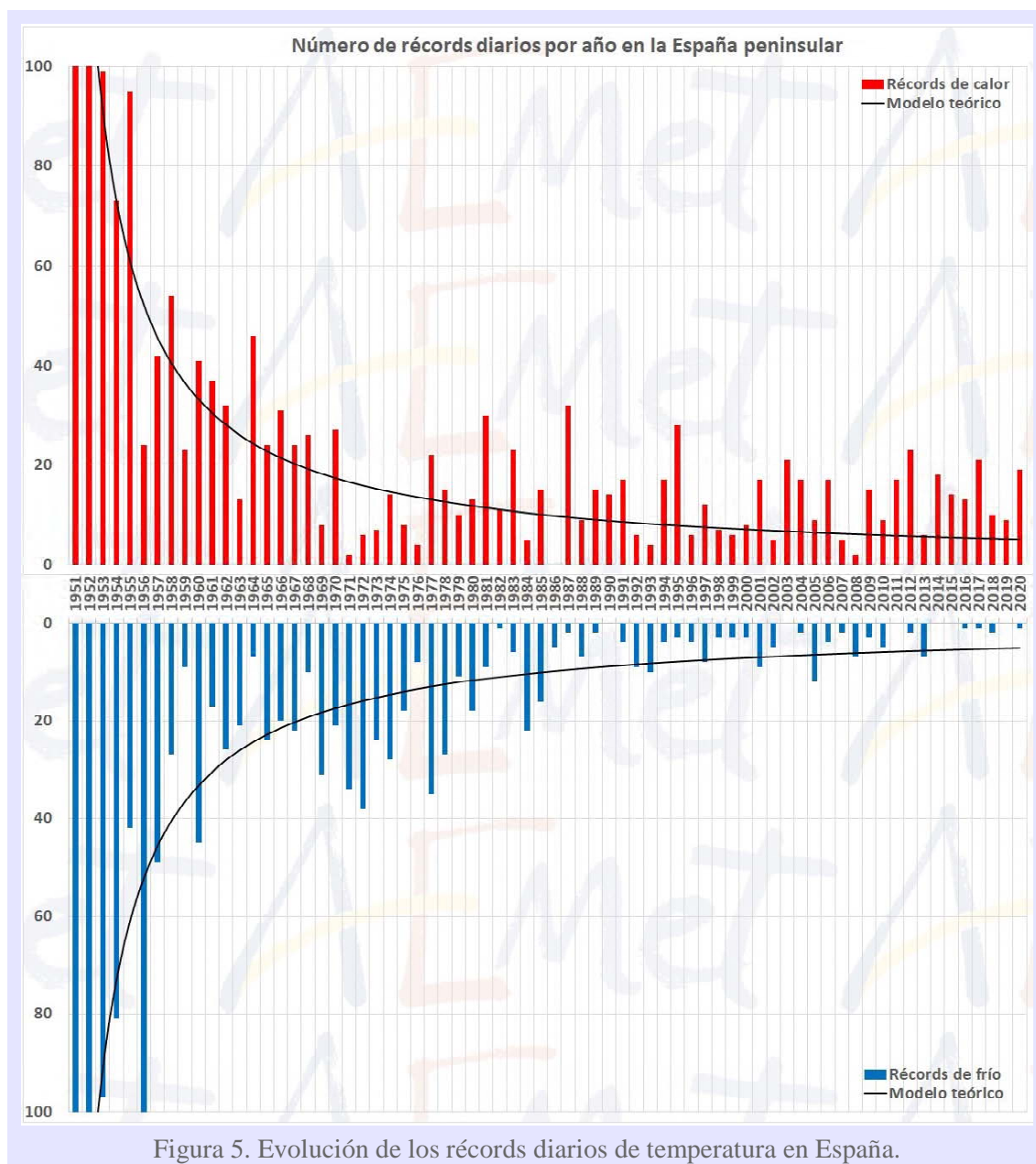
### **Evolución de los récords diarios de temperatura en España**

---

En base a los datos diarios calculados con técnicas geoestadísticas, se ha estimado cómo han ido variando con el tiempo los récords diarios de temperatura media en la España peninsular desde 1950 (figura 5), a los que llamaremos «récords de temperaturas altas y bajas». No son, por tanto, efemérides de estaciones meteorológicas ni se trata tampoco de evolución de olas de calor, al estar referidos a todo el año y a datos calculados. Sin embargo, sí que muestra una de las consecuencias más evidentes del cambio climático: el incremento del número de días cálidos y, consecuentemente, la mayor frecuencia y duración de los episodios de calor. Justo lo contrario ocurre con los días fríos, que disminuyen notablemente, al igual que la frecuencia y duración de los episodios fríos.

De entre los métodos existentes para estimar el número teórico de récords de temperatura en un año, en este informe anual del clima 2020 se ha aplicado el método usado por el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S), European State of the Climate 2019, 2020) que asume que, en un clima estacionario, el número anual de récords de temperaturas altas y bajas no debería variar demasiado con el paso del tiempo, ajustándose a la misma distribución estadística teórica.

El método parte de la base de que, en el primer año de registros, en nuestro caso 1950, todos los días se producen de forma simultánea récords de temperaturas altas y bajas (solo hay un registro cada día del primer año de nuestra serie, por lo que ese registro es a la vez el más alto y el más bajo). Así, el número de récords de ese primer año es de 365, tanto en temperaturas altas como bajas. En 1951, el segundo año de nuestra serie, el registro de cada uno de los días del año solo puede ser superior o inferior al del año anterior, por lo que aproximadamente el número de récords del segundo año será 365/2, tanto para días cálidos como para días fríos.



Asimismo, en el tercer año, aproximadamente uno de cada tres días se establecerá un récord, por lo que el número teórico es  $365/3$ , y así sucesivamente. En general, para una serie que comienza en 1950, el número teórico de récords en el año AAAA en un clima teórico estable sería de  $365/(AAAA - 1949)$ .

La figura 5 proporciona el número teórico de récords de días fríos y cálidos para un clima estacionario (curvas de color negro) y el número real observado de récords diarios de temperaturas altas y bajas desde 1950 en la España peninsular (barras color azul y rojo). Durante los últimos 30 años, el número real de récords de temperaturas altas diarias es mucho mayor que el valor teórico, y el número de récords diarios de temperaturas bajas es mucho menor que el valor teórico, lo cual 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.



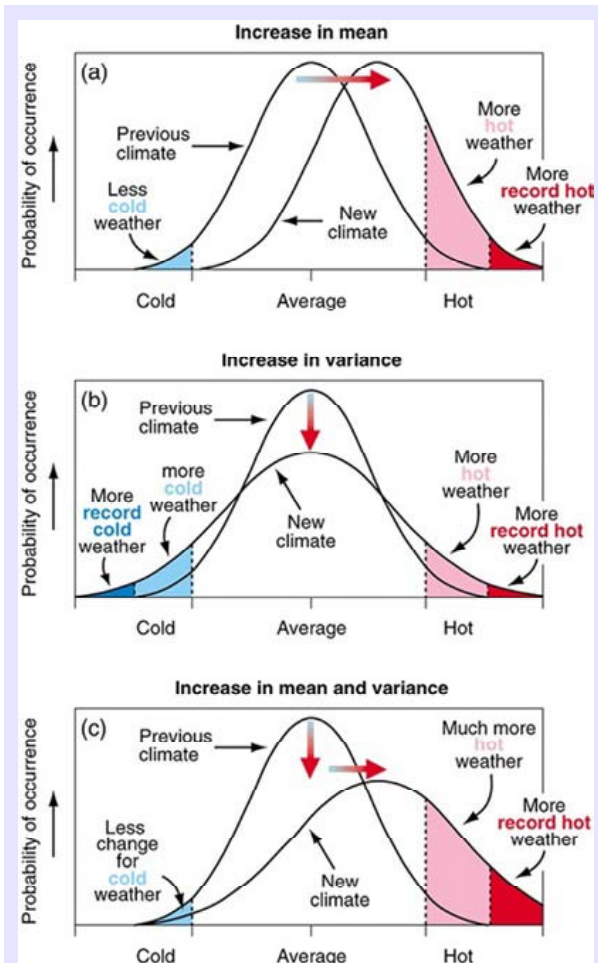


Figura 6. Diferentes escenarios, según un modelo teórico, de la evolución de los extremos de temperatura en función del aumento de la temperatura media y la varianza.

Fuente: <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar>.

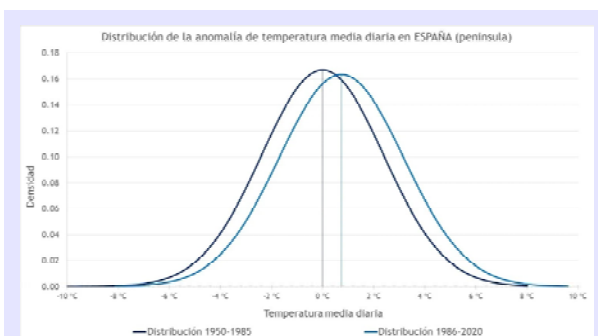


Figura 7. Distribuciones normales de la anomalía de temperatura media diaria de los periodos 1950-1985 y 1986-2020.

Según el modelo teórico, basado en un clima estable, durante la década pasada, que finalizó en 2020, se deberían haber producido 55 récords de temperaturas altas y 55 de temperaturas bajas (la probabilidad es igual en ambos casos), mientras que la realidad muestra que en los últimos 10 años se produjeron 14 récords de temperaturas bajas y 150 de temperaturas altas, resultando, por tanto, que el número de récords de temperaturas altas multiplica por 10,7 el número de récords de temperaturas bajas.

Este asunto de los récords de temperatura, que puede parecer una anécdota, tiene detrás una sólida base estadística, que ya **fue anticipada hace 20 años por el IPCC**. La figura 6, elaborada en 2001 por el IPCC, muestra el efecto teórico en las temperaturas extremas cuando:

1. Aumenta la temperatura media.
2. Aumenta la varianza.
3. La media y la varianza aumentan para una distribución normal de la temperatura.

En el caso de España, si normalizamos los datos diarios de temperatura y cogemos como serie patrón la de las anomalías diarias de temperatura del periodo 1950-1985, y la comparamos con la serie 1986-2020, que podríamos denominar que es nuestro nuevo clima, ambas previamente ajustadas a una distribución normal, vemos como en España lo más significativo ha sido el incremento de la media (figura 7).

De acuerdo con el modelo teórico del IPCC, nuestra situación sería la de la imagen a) de la figura 6, en la que un aumento de la media implicaría más días

cálidos, más récords de calor, menos días fríos y muy pocos récords de días fríos, y esa está siendo la realidad de nuestro clima en las últimas décadas.

Vamos a seleccionar en nuestra distribución de probabilidad normal de la serie patrón, la de 1950-1985, los puntos de probabilidad 5 % y 95 %, que se corresponderían con las colas derecha e izquierda de la distribución, correspondientes al 5 % de probabilidad de días muy fríos y muy cálidos. Ese umbral de días muy fríos o muy cálidos es aproximadamente  $-4^{\circ}\text{C}$  y  $+4^{\circ}\text{C}$ . Es decir, aquellos días con una anomalía de temperatura media en la España peninsular inferior a  $-4^{\circ}\text{C}$  serían considerados como muy fríos, y aquellos días con una anomalía de temperatura media en la España peninsular superior a  $+4^{\circ}\text{C}$  serían considerados como muy cálidos. Esas zonas de días muy fríos y muy cálidos se han sombreado en morado y rojo, respectivamente, sombreándose en verde la zona donde se sitúan el 50 % de los datos, que podríamos decir que son los días con una temperatura normal, cercana a la media (figura 8).

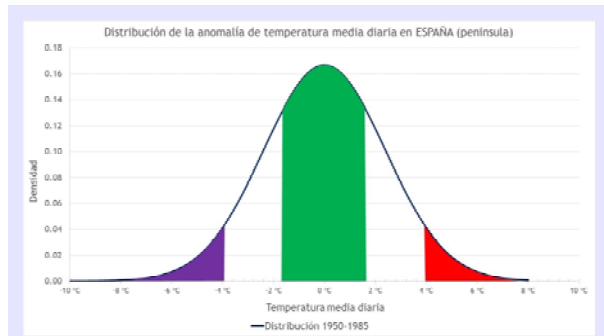


Figura 8. Distribución normal de temperatura y zonas de días muy fríos (morado) y muy cálidos (rojo). Periodo 1950-1985.

Si representamos la distribución de nuestro nuevo clima con esos umbrales establecidos, comprobamos cómo el número de días muy cálidos se ha duplicado y el de días muy fríos se ha reducido a la mitad (figura 9) y en un escenario no muy pesimista, las anomalías de temperaturas cálidas que en nuestra serie patrón solo ocurrían un 5 % de los días, en los últimos 30 años del siglo XXI pueden ocurrir el 50 % de los días, es decir, lo que antes era raro se podrá convertir en normal.

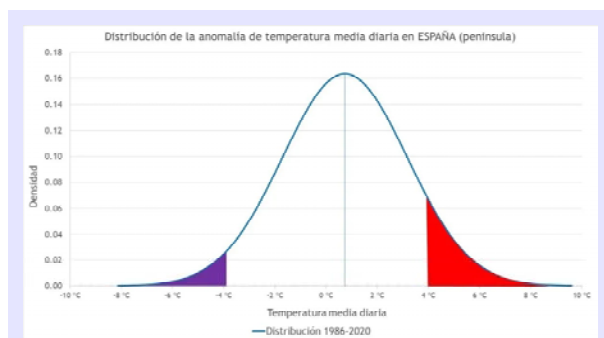


Figura 9. Distribución normal de temperatura y zonas de días muy fríos (morado) y muy cálidos (rojo). Periodo 1986-2020.

### Aumento de la temperatura superficial del agua del mar

Los impactos de estos cambios observados en el sistema atmosférico no se restringen solo al aire. La atmósfera es uno de los componentes del complejo sistema terrestre. Aunque los componentes del sistema terrestre son muy diferentes en su composición, propiedades físicas y químicas, estructura y comportamiento, todos ellos están enlazados por flujos de masa, calor y cantidad de movimiento, lo que implica que no son sistemas cerrados, sino que todos los subsistemas están abiertos e interrelacionados. Como ejemplo, la atmósfera y los océanos están fuertemente acoplados e intercambian, entre otros, vapor de agua y calor a través de la evaporación, lo que resulta fundamental para el ciclo hidrológico. Por otro lado, la precipitación tiene una influencia sobre la salinidad, su distribución y la circulación termohalina del océano, etc., por lo que un cambio en uno de los componentes, en este caso el atmosférico, necesariamente tiene impacto en los otros, particularmente en la biodiversidad y en los ecosistemas, tan frágiles en nuestro entorno mediterráneo.

Zona marítima	Mínimo	Año	Máximo	Año	Media	Incremento 1950-2020
Alborán	17.7 °C	1977	19.2 °C	2015	18.4 °C	+0.6 °C
Baleares	17.7 °C	1972	19.8 °C	2017	18.7 °C	+1.2 °C
Cabrera	18.3 °C	1972	20.3 °C	2017	19.3 °C	+1.0 °C
Cádiz	18.0 °C	1972	19.6 °C	2020	18.9 °C	+0.9 °C
Canarias	20.3 °C	1972	21.9 °C	1997	21.1 °C	+0.7 °C
Cantábrico	14.6 °C	1972	16.5 °C	2006	15.7 °C	+1.1 °C
Finisterre	14.6 °C	1972	16.1 °C	1997	15.4 °C	+0.6 °C
León	15.7 °C	1974	17.8 °C	2018	16.7 °C	+0.8 °C
Menorca	17.5 °C	1972	19.4 °C	2020	18.4 °C	+0.9 °C
Palos	18.4 °C	1977	19.8 °C	2017	19.0 °C	+0.8 °C

Figura 10. Estadística de la serie anual de temperatura media de la superficie del agua del mar en cada zona marítima (1950-2020). Fuente de datos para la elaboración de la tabla: C3S.

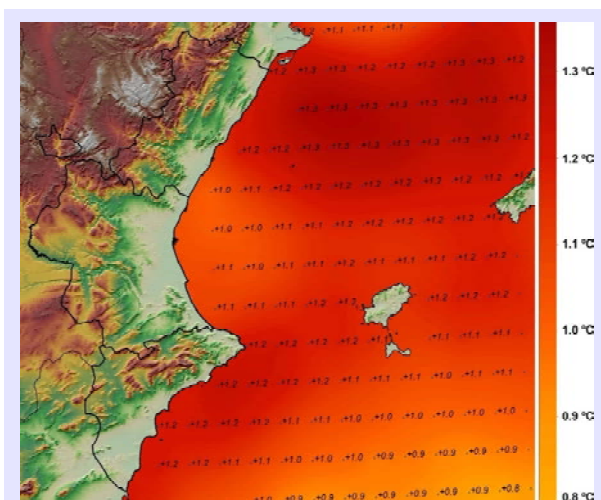


Figura 11. Incremento de la temperatura superficial del agua del mar (1950-2020). Fuente: elaborado con los datos ERA5 del Servicio de Cambio Climático de Copernicus, C3S.

En una cuenca relativamente pequeña y cerrada como lo es el Mediterráneo, el calentamiento del aire estaría dando lugar, con una probabilidad muy alta, a un calentamiento de la temperatura del agua del mar. El Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo ha estudiado en varias publicaciones cómo ha variado la temperatura superficial del Mediterráneo desde 1982 empleando para ello los datos registrados por sensores a bordo de satélites meteorológicos<sup>5</sup>.

Utilizando los datos de la última generación del reanálisis climático global ERA5, realizada por el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (HERSBACH *et al.*, 2020), uno de los seis servicios temáticos del Programa Copernicus de la Unión Europea, que combina datos de modelos numéricos con observaciones de todo el mundo en un conjunto de datos globalmente completo y consistente, se ha encontrado una tendencia estadísticamente significativa, con un 95 % de nivel de confianza, de que la temperatura superficial del mar ha aumentado en todas las zonas marítimas y costeras de España, con más intensidad en el Cantábrico oriental y el Mediterráneo (figuras 10 y 11).

También se ha encontrado que **el incremento de la temperatura del mar Mediterráneo es casi el doble en verano que en invierno, con el impacto que ello puede tener en las lluvias torrenciales otoñales.**

### Más energía disponible, más vapor en la atmósfera: mayor torrencialidad de las precipitaciones

El calentamiento del aire y del mar observado en las últimas décadas descrito en los puntos anteriores está muy relacionado con variaciones de ciertos componentes del ciclo hidrológico y de los sistemas hidrológicos, entre ellos el aumento de la evaporación y el aumento del vapor de agua atmosférico y, consecuentemente, un mayor poder de liberación de calor latente cuando se desarrollan los fenómenos convectivos presentes en situaciones de lluvias torrenciales otoñales y de final del verano.

<sup>5</sup> PASTOR, F., VALIENTE, J. A. y KHODAYAR, S., 2020. A Warming Mediterranean: 38 Years of Increasing Sea Surface Temperature. *Remote Sensing*, 12(17), 2687. <https://doi.org/10.3390/rs12172687>.

Coherente con el calentamiento observado, que ha sido más intenso en los meses de verano, tanto en la temperatura del mar como del aire, en las últimas décadas se ha producido un incremento de la evaporación en esta estación. Gran parte de este flujo de humedad desde la superficie hacia la atmósfera se traduce en un notable incremento del total de agua en la columna atmosférica sobre la superficie del Mediterráneo occidental.

En promedio, en la zona de la Comunitat Valenciana, el incremento de vapor en la atmósfera en el mes de agosto, por tanto previo a la época más favorable para que se produzcan precipitaciones torrenciales en la zona, es de 2,1 kg/m<sup>2</sup> sobre una media climática en este mes de 29,0 kg/m<sup>2</sup>, lo que supone un incremento del total de agua en columna del 11,4 % en el promedio del mes.

Estas variaciones, conducentes a una mayor energía y vapor de agua disponible en la atmósfera, pueden dar lugar a que las precipitaciones torrenciales sean más intensas cuando se produce una situación meteorológica adecuada, y esa situación es la que probablemente ya se esté produciendo. Sobre el cambio en los patrones de precipitación y la mayor torrencialidad en el área mediterránea, varios estudios recientes apuntan a que se está produciendo un aumento en frecuencia e intensificación de las situaciones que provocan lluvias muy fuertes o torrenciales y de extensión significativa en el conjunto del Mediterráneo español. Dejamos cuatro referencias para obtener más información al respecto:

- GARCÍA-VALERO, J. A., 2021. Caracterización de la variabilidad interanual de las precipitaciones diarias en la Demarcación Hidrográfica del Segura. AEMETblog. <https://aemetblog.es/2021/02/14/caracterizacion-de-la-variabilidad-interanual-de-las-precipitaciones-diarias-en-la-demarcacion-hidrografica-del-segura-parte-i/>
- MIRÓ, J. J., ESTRELA, M. J., CASELLES, V. y GÓMEZ, I., 2018. Spatial and temporal rainfall changes in the Júcar and Segura basins (1955-2016): Fine-scale trends. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.5689>
- NÚÑEZ-MORA, J. Á. (n.d.). Breve análisis de las lluvias torrenciales en la Comunitat Valenciana. 4 y 5 de noviembre de 2020. Aemetblog. <https://aemetblog.es/2020/11/29/breve-analisis-de-las-lluvias-torrenciales-en-la-comunitat-valenciana-4-y-5-de-noviembre-de-2020/>
- ORIA, P., 2021. ¿Está aumentando la frecuencia o la intensidad de las precipitaciones extremas en el Mediterráneo? Aemetblog. <https://aemetblog.es/2021/05/02/esta-aumentando-la-frecuencia-o-la-intensidad-de-las-precipitaciones-extremas-en-el-mediterraneo/>

## Conclusión

---

Podemos dar por bueno el argumento de que ninguno de los fenómenos que se han registrado este verano en España son nuevos. Tormentas, granizadas, tornados, olas de calor, reventones, etc. no son desconocidos en nuestro territorio; pero no se trata de eso, eso forma parte del tiempo, de lo que se trata es de **si estos fenómenos ahora son más intensos y violentos que antes y más frecuentes**, es decir, **se trata de averiguar si el clima**



**está cambiando** y qué consecuencias e impactos están teniendo lugar a causa de esos cambios.

Como se ha expuesto en este artículo, **quedan pocas dudas de que esa mayor intensidad y frecuencia de los fenómenos adversos veraniegos, sobre todo los relacionados con el calor, las olas de calor o la mayor temperatura del agua del mar, ya se está produciendo y, al menos por lo que respecta al área mediterránea, también se está produciendo un aumento en frecuencia e intensificación de las situaciones que provocan lluvias muy fuertes o torrenciales y de extensión significativa.**

# RESUMEN DE ACTIVIDADES Y MENCIONES A LOS MEJORES REPORTES DEL AÑO 2021 EN SINOBAS: SELECCIÓN DE REPORTES

*Delia Gutiérrez Rubio*

AEMET, Coordinadora del grupo de gestión de SINOBAS

(publicado en el blog de AEMET el 23 de diciembre de 2021)



**Reportes del año 2021.** Hemos destacado por su calidad e interés 22 de estos informes. Los reportes destacados pretenden señalar, de manera no exhaustiva, algunos de los eventos más notables y mejor documentados, y se distinguen porque el pequeño icono sobre el mapa tiene el fondo dorado. Si se activa la casilla «Reportes destacados» en la esquina superior izquierda, dichos iconos «brincan» para llamar la atención.



**SINOBAS** es el acrónimo de **Sistema de Notificación de Observaciones Atmosféricas Singulares**. Mediante este sistema, en la línea de conceptos como el crowdsourcing y la ciencia ciudadana, AEMET recoge información, de cualquier persona que desee colaborar, sobre la ocurrencia de fenómenos meteorológicos que, por su escala, pueden pasar desapercibidos para nuestras redes de observación convencional y para nuestros sistemas de teledetección, pero que tienen relevancia meteorológica y pueden causar un impacto significativo en la población. Para más información sobre el tipo de fenómenos meteorológicos que consideramos singulares, recomendamos nuestra [Guía de Fenómenos](#).

SINOBAS está operativo desde abril de 2013, y es para AEMET una herramienta consolidada, que nos proporciona, gracias a la colaboración ciudadana, valiosa información que de otro modo podríamos perder, además de haberse convertido en un vínculo con numerosas personas aficionadas a la meteorología y apasionadas por el seguimiento del tiempo y de los fenómenos atmosféricos.

En este sentido, nos felicitamos de haber tenido oportunidad de inaugurar en este año una serie de encuentros denominada [Tardes de Meteorología](#), promovidas conjuntamente por AEMET y la Meteofederación de asociaciones de personas aficionadas a la meteorología.

El sistema permite informar no solo de eventos recientes, sino también de episodios históricos de interés, por lo que es posible encontrar registros incluso anteriores a la fecha del lanzamiento, y en cualquier momento se puede reportar cualquier evento relevante que alguien eche de menos. Poco a poco, se está convirtiendo en una valiosa base de datos, de carácter público, de fenómenos meteorológicos que, de otro modo, serían difícilmente localizables. Este año hemos iniciado un trabajo de «arqueología» meteorológica, que nos ha permitido la incorporación de registros de eventos históricos como el [tornado de Cádiz de 1671](#) o el de [Madrid de 1886](#).

A lo largo de este año hemos acometido algunas mejoras en la programación de la aplicación que, por un lado, actualmente permite filtrar con un solo click los reportes «históricos», entendiendo por tales todos los anteriores al año 2000, y que, por otra parte, facilita a cualquier usuario registrado la descarga en formato csv de los resultados de su búsqueda.

## Selección de reportes

---

Todos los reportes incluidos en el sistema son para nosotros enormemente valiosos y motivo de gran satisfacción por la colaboración altruista que suponen. Si bien no es fácil hacer una selección, ofrecemos a continuación un repaso de algunos de los **mejores reportes del año**.

El **reporte más visitado del año** ha sido el de [la tromba marina del pasado 25 de agosto avistada desde Nerja \(Málaga\)](#) que, por ocurrir a plena luz del día y en plena temporada turística en la Costa del Sol, tuvo mucha repercusión en redes y medios, pese a no causar, afortunadamente, impactos. Debemos agradecer el reporte a nuestro usuario [stormmalaga](#).

Otros reportes destacados de la temporada veraniega —casi siempre, la más activa en fenómenos convectivos, y por tanto también en nuestro sistema— fueron un [tornado en Villafranca del Cid \(Castellón\)](#) el 7 de julio, muy bien documentado con fotos y vídeos por el usuario *psolsona*, y otro ocurrido el 17 de junio, de categoría EF1 y un recorrido de 6,6 km, en La Llacuna (Barcelona), que desgraciadamente provocó dos heridos, uno de ellos grave, según nos informa en su muy completo reporte el usuario *Enric*.



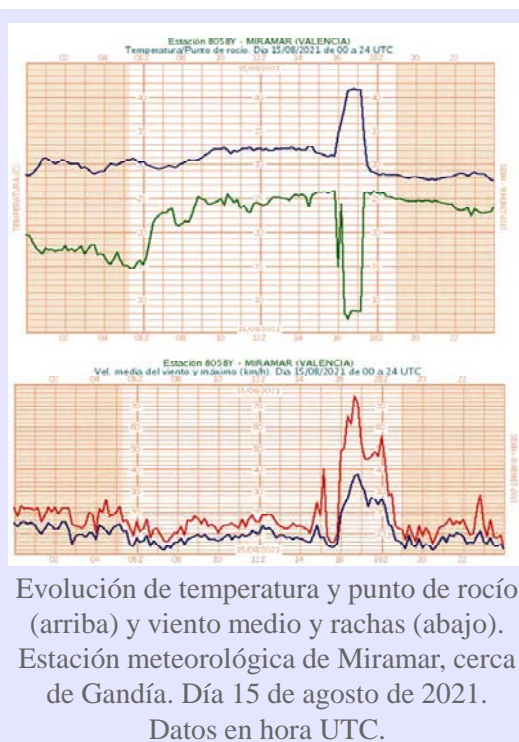
Imagen de *stormmalaga* de la tromba avistada desde Nerja (Málaga) el pasado 25 de agosto.



A la izquierda, imagen del tornado en Villafranca del Cid del pasado 7 de julio (captura de pantalla de uno de los vídeos incluidos en el reporte).  
A la derecha, daños tras el paso del tornado en La Llacuna el 17 de junio.

El 15 de agosto, en pleno episodio de [ola de calor](#), se registraron en el Levante peninsular algunos reventones de violencia suficiente como para provocar daños considerables y, desgraciadamente, heridos.

El [reventón cálido que afectó a Gandía](#) y otras localidades de su comarca fue notificado por el usuario *Miguel17*, que en su reporte informó de que se habían producido cinco heridos. Además de los heridos, se produjeron numerosos daños dispersos por la comarca, entre ellos la caída de una noria en la playa de Gandía, o el levantamiento de una pequeña embarcación en el puerto de Oliva que el viento hizo volar hasta caer encima de otra. Las rachas de viento oscilaron entre 70 y 80 km/h y los ascensos de temperatura superaron los 10 °C.



Evolución de temperatura y punto de rocío (arriba) y viento medio y rachas (abajo). Estación meteorológica de Miramar, cerca de Gandía. Día 15 de agosto de 2021. Datos en hora UTC.



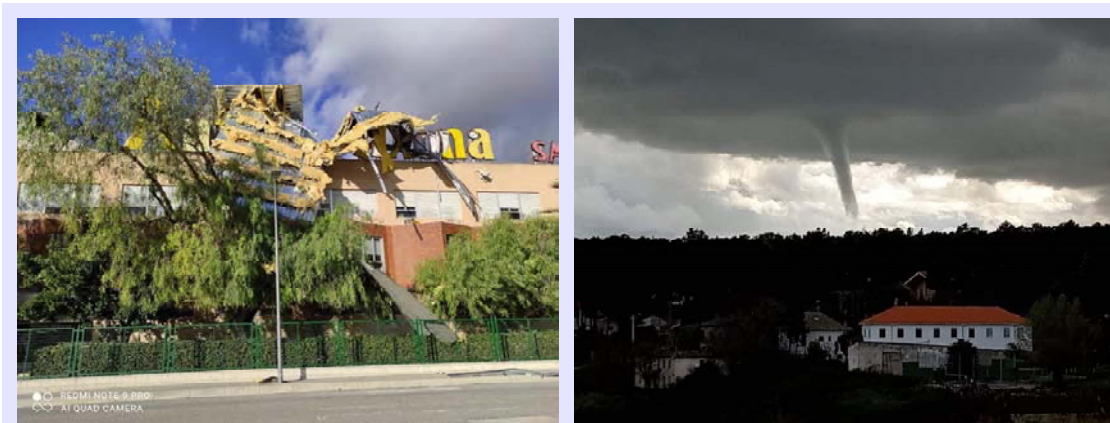


El mismo día 15, una tormenta seca se formó en el entorno de la sierra de la Cabeza de Asno, en la Región de Murcia, desplazándose posteriormente a Cieza y Abarán. En el término municipal ciezano se llegaron a escuchar algunos truenos, pero no cayó ni una gota a la superficie, y, de repente, en torno a las 17:30 h, se levantó un intenso vendaval, con rachas que llegaron a alcanzar prácticamente los 80 km/h. El [reporte de reventón seco en Cieza](#) fue notificado por *MeteOrihuela*, quien comunicó que hubo dos heridos. El reporte incluye vídeos muy ilustrativos.

Pero el año había comenzado con episodios de muy distinta índole. El invierno, parco en reportes, como suele ser habitual, nos dejó sin embargo algunos muy memorables, como el de la histórica nevada asociada a la borrasca Filomena, que fue reportada por distintos usuarios, en Madrid y en Zaragoza. Nos quedamos con esta imagen de la histórica [nevada en Madrid](#) aportada por *margainclanrobr*, y agradecemos también a *fercazatormentas* y *meteobenas* sus reportes.

Otro episodio muy poco frecuente que nos dejó el invierno fue un caso de viento de ladera en Xixona (Alicante) el 22 de enero, reportado por el usuario *MeteoXixona*. Las fuertes rachas arrancaron la cubierta de la nave de una empresa turrонера, de las que en estos días nos endulzan las fiestas, tal y como se aprecia en la fotografía inferior izquierda.

Las tormentas de primavera nos dejaron, como es habitual, fenómenos como tornados y trombas marinas, tubas, reventones o frentes de racha, precipitación súbita torrencial y, sobre todo, granizadas singulares.

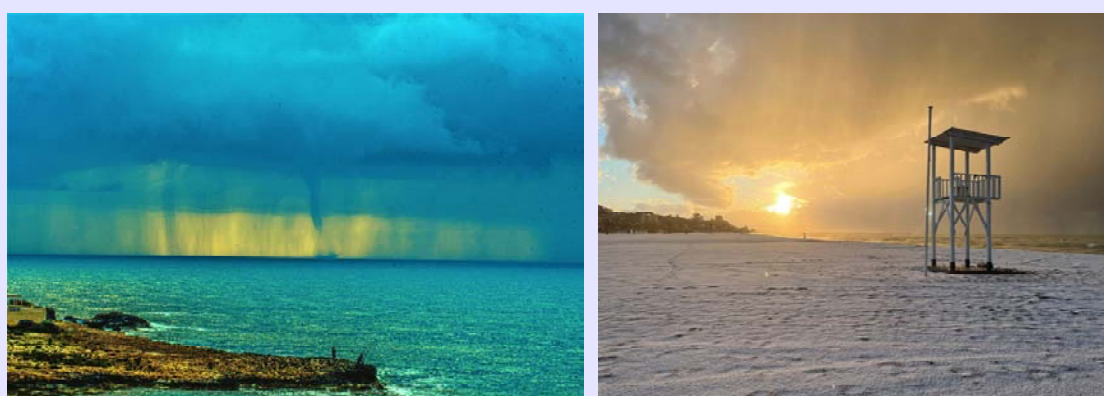


Izquierda: efectos de un intenso viento de ladera en Xixona. Imagen aportada por *MeteoXixona*. Derecha: espectacular tuba en Las Navas del Marqués el 27 de abril.

Ha sido muy visitado el reporte de la [tuba en Las Navas del Marqués \(Ávila\)](#) del 27 de abril, reportado por *meteoavila3*, asociada a una posible supercélula que atravesó buena parte de la provincia.

El reporte de [tromba marina avistada desde Cabo de Palos](#) el 18 de abril, incluido por el usuario *JOSEMMOL*, destaca por el colorido de la imagen captada. Según informa el usuario, durante el episodio se pudieron observar varias trombas de escasa duración.

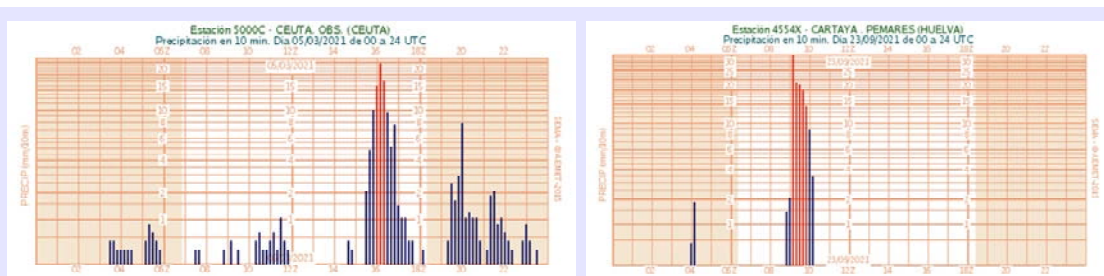
De entre las numerosas granizadas singulares, hemos destacado la que afectó a [Benjarafe \(Málaga\)](#) el 20 de marzo, reportada por el usuario *stormmalaga*, que dejó un singular paisaje en la playa malagueña.



Izquierda: Tromba marina en Cabo de Palos; en la imagen, se aprecia cómo bajo la tuba se forma un remolino en el agua. Derecha: una de las hermosas fotografías que acompañan el reporte de la granizada singular en la playa de Benjarafe el 20 de marzo.

Destacamos también el episodio de precipitación súbita torrencial en Ceuta ocurrido el 10 de marzo, recogido por nuestro compañero *jriescom*, que dio lugar a inundaciones en la ciudad.

También el otoño nos dejó un episodio inolvidable de [precipitación súbita torrencial en Cartaya \(Huelva\)](#), con un registro de 112 mm en una hora, siendo una de las precipitaciones más intensas registradas en España, seguido de cerca por la [PST del 1 de setiembre en Vinaròs \(Castellón\)](#), reportada por nuestro compañero *jnunez*, que dejó 100 mm en una hora, y 230 mm en total.



Izquierda: registro del observatorio de Ceuta; se recogieron 76 mm en una hora en el periodo de mayor intensidad, y 133 mm en todo el día. Derecha: registro de precipitación inusualmente intensa en nuestra estación de Cartaya-Pemares, aportado por *jriescom*.



Supercélula que descargó una granizada singular sobre la población de Quel (La Rioja).

El pasado otoño también destacamos la granizada singular ocurrida el día 2 en Quel (La Rioja), reportada por [meteo-sojuela](#), bien documentada y acompañada de una bonita fotografía de [Adrián Escobar](#) de la supercélula que la provocó.

El otoño también nos dejó algunos reportes notables de [tornado, como el que el 22 de octubre afectó a los invernaderos de Níjar](#), incluido por nuestro compañero [cjimenezc](#), y de [tromba marina, como la que se avistó desde Melilla](#) el 5 de noviembre, y que reportó [angel1970](#).



Fotograma del vídeo que recoge con mucha claridad y cercanía el tornado de Níjar.

Terminamos ya destacando la imponente [granizada que afectó a la ciudad de Alicante](#) el 23 de noviembre, que fue reportada con prontitud y profusión de fotos y vídeos, por el usuario [REMER\\_03T108](#).

Desde el equipo de SINOBAS queremos, un año más, **dar las gracias** a todas las personas que han colaborado en el sistema [sinobas.aemet.es](#) y quienes nos siguen en nuestra cuenta de Twitter, [@AEMET\\_SINOBAS](#) por su participación en este proyecto de *ciencia ciudadana* que, con la colaboración voluntaria de mucha gente, recopila los episodios más singulares de nuestra meteorología.



Granizada en Alicante (23 de noviembre). Fotografía de Paula Fernández aportada por el usuario [climatologiaua](#).

Salvador Ponce, Jesús Riesco, José Ángel Núñez, Manuel Mora y Delia Gutiérrez.

## 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](#)).
- CANO BARBACIL, CARLOS: 2017 ([17](#)).
- CANO ESPADAS, DARÍO: 2019 ([84](#)).
- CANO SÁNCHEZ, JAVIER: 2017 ([17](#)), 2018 ([25](#)).
- DÍAZ JIMÉNEZ, JULIO: 2021 ([19](#)).
- FUENTES LÓPEZ, BENITO JOSÉ: 2016 ([30](#)), 2017 ([5](#)).
- 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](#)).
- HIERRO CARNICERO, JOSÉ: 2020 ([68](#)).
- LARA JAÉN, MANUEL: 2021 ([26](#)).
- LINARES GIL, CRISTINA: 2021 ([19](#)).
- 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](#)).
- ORIA IRIARTE, PEIO: 2018 ([80](#)), 2020 ([35](#)), 2021 ([31](#)).
- 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](#)).



AEmet