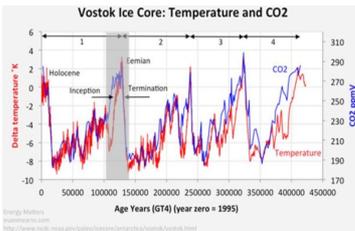
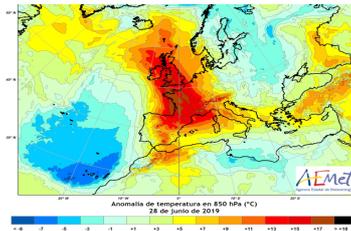
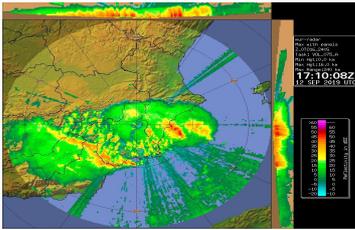


Selecciones del blog

AEMet 2019



Este documento contiene una selección de algunos de los mejores artículos publicados en el blog de AEMET durante 2019. Los artículos han sido adaptados ligeramente para su publicación en esta selección.



El blog oficial de la Agencia
Estatad de Meteorología

<https://aemetblog.es>

Las opiniones, observaciones, interpretaciones y conclusiones expresadas en los artículos de esta publicación son las del autor 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
Agencia Estatal de Meteorología
Madrid, 2020

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

NIPO: 666-20-025-9
<https://doi.org/10.31978/666-20-025-9.2019>

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 2019

Índice

<i>¿Dónde está el cambio climático cuando hace frío?,</i> por Delia Gutiérrez Rubio	5
<i>La meteorología en el Museo del Prado,</i> por Manuel Antonio Mora García	11
<i>¿A qué nos referimos cuando hablamos de la temperatura global?,</i> por Asunción Pastor Saavedra, Delia Gutiérrez Rubio y Rubén del Campo Hernández	47
<i>Análisis de la ola de calor de julio de 2019 en un contexto de crisis climática,</i> por José Ángel Núñez Mora	61
<i>Análisis meteorológico y climático del temporal de precipitaciones torrenciales de septiembre de 2019 en la Comunidad Valenciana,</i> por José Ángel Núñez Mora	69
<i>La riada de Cebolla del 8 de septiembre de 2018,</i> por Darío Cano Espadas, David López-Rey y Ricardo Torrijo Murciano	84
ÍNDICE ALFABÉTICO DE AUTORES	93

¿DÓNDE ESTÁ EL CAMBIO CLIMÁTICO CUANDO HACE FRÍO?

Delia Gutiérrez Rubio
Meteoróloga de AEMET



(publicado en el blog de AEMET
el 7 de febrero de 2019)

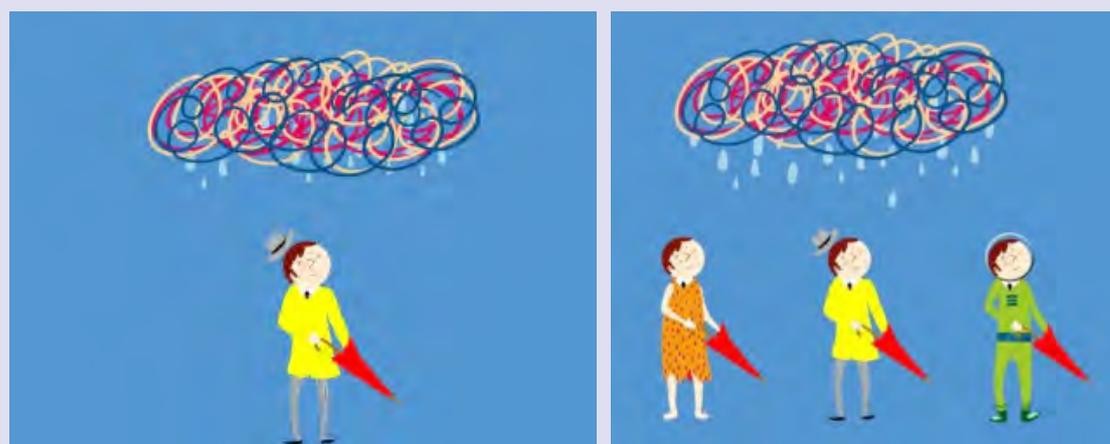


Imagen: @TheSocial360

La reciente ola de frío en Estados Unidos ha hecho clamar al mismísimo presidente del país «¿Dónde demonios está el cambio climático?» desde su cuenta de Twitter. Han sido muchas las voces que se han aprestado a explicar al señor Trump, y a quien pueda estar tentado de pensar que un episodio de frío extraordinario como este desmiente el calentamiento global, lo que la ciencia tiene que decir al respecto. Repase-mos algunas ideas esenciales y algunos datos.

El tiempo no es el clima

Tal como explicamos en nuestro [MeteoGlosario Visual](#): «El **tiempo** se refiere al estado de la atmósfera en un lugar y momento concretos, mientras que el **clima** es el término para la estadística de las condiciones atmosféricas durante periodos más largos de tiempo en una



Así ha visto nuestro compañero Julio Aristizábal la diferencia entre el tiempo y el clima en nuestro MeteoGlosario Virtual.

determinada área». Es decir, si vamos de viaje a Almería un día de precipitaciones torrenciales, no deberíamos aconsejar a nuestros amigos que nunca visiten la ciudad al sur de la Alpujarra sin unas buenas botas de agua y un impermeable; si visitamos Madrid un día de nevada, no podemos concluir que los niños madrileños juegan a hacer muñecos de nieve en los parques todos los inviernos.

El estudio del clima requiere compilar y analizar largas series de datos que permiten establecer valores medios y tendencias. Los cambios en el clima no se concluyen a partir de un episodio determinado, sino de un análisis concienzudo de las propiedades del clima durante largos periodos de tiempo.

Para abundar más en la diferencia entre tiempo y clima, te aconsejamos este otro post: [¿Cuál es la diferencia entre tiempo y clima?](#) de nuestro blog.

El noroeste de Estados Unidos no es el planeta

Tal como se refleja en [el informe de enero de 2019](#) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), si bien el este de Estados Unidos y parte de Canadá han registrado temperaturas mínimas de récord (de casi 50 °C bajo cero), Alaska y grandes zonas del Ártico han alcanzado temperaturas por encima de los valores normales. Al mismo tiempo, en Australia han padecido el mes de enero más cálido desde que hay registros, con una serie de olas de calor sin precedentes en el país, con varios registros cercanos a los 50 °C. Las condiciones extraordinariamente cálidas y secas han dado lugar además a grandes incendios, con graves consecuencias en la calidad del aire y en los ecosistemas. También en Chile y Argentina el verano austral está dejando nuevos récords de temperaturas máximas, como los 38,2 °C alcanzados en el mítico glaciar de Perito Moreno.

Por otra parte, en las mismas zonas del medio oeste americano que han sufrido el conocido episodio de frío polar a finales de enero, solo unos días más tarde han batido récords de temperaturas máximas. Esto se reflejaba de manera muy gráfica en el distinto atuendo que

Llevaba el observador de servicio a la hora de lanzar un globo sonda, con tan solo 4 días de diferencia:

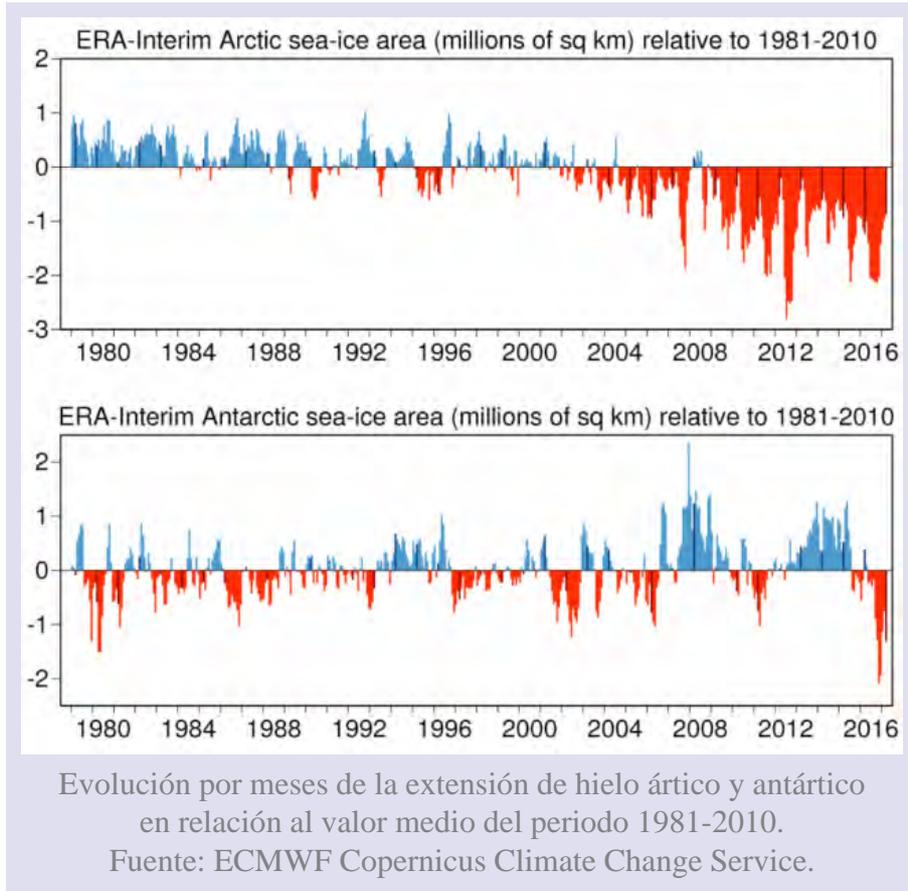


The image shows a Twitter thread from the account SINOBAS (@AEMET_SINOBAS). The main tweet, dated February 4, 2019, at 7:37 AM, reads: "El observador de servicio lanza un globo sonda en Minnesota hace apenas 4 días, vestido como un astronauta para protegerse del frío." It includes a video thumbnail and a retweet from NWS Twin Cities (@NWSTwinCities) with the text: "He may be dressed like an astronaut, but for good reason. It was the coldest balloon launch in 23 years. The temperature was -29.5. #BoldNorth". Below this is another tweet from SINOBAS dated February 3, 2019, at 7:37 AM, which says: "Y tres días más tarde lanza el globo vestido como para ir a la playa:" and includes a video thumbnail. To the right of the tweets are two video player screenshots. The top video, titled "Lanzamiento de un globo sonda en Minnesota, los días 30 de enero y 3 de febrero", shows a person in a dark, space-like suit holding a large yellow balloon against a dark sky. The bottom video shows a person in a light-colored shirt and a green scarf holding a large white balloon in a snowy field. The source is cited as @NWSTwinCities.

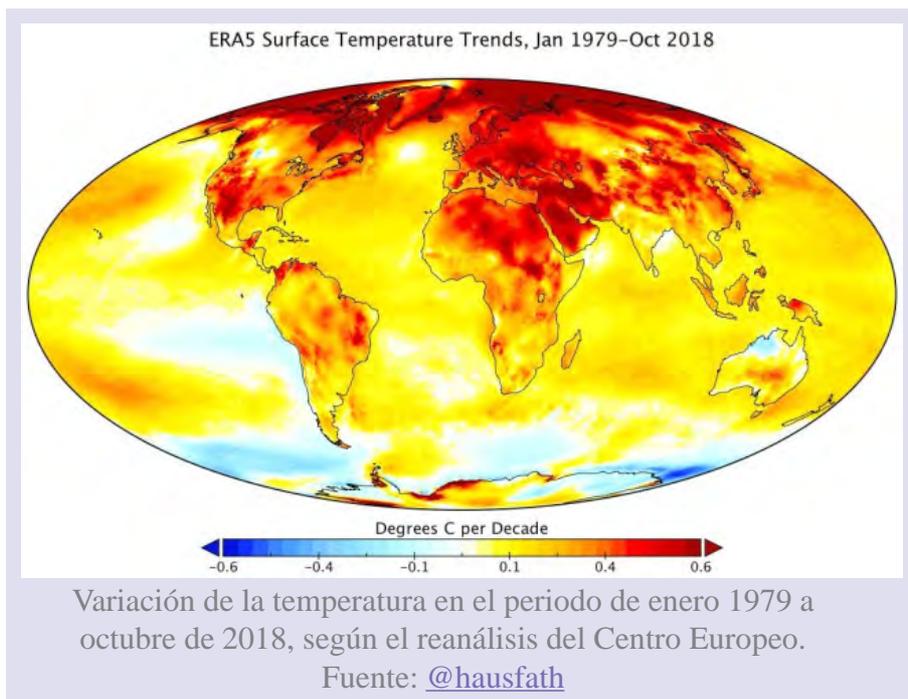
Si el Ártico se calienta, es más fácil que se escape el frío

Los datos indican que el Ártico se está calentando a un ritmo que es el doble de la media global (lo que se denomina la *Amplificación Ártica*, AA), y la pérdida de cubierta helada es patente en las observaciones satelitales, como ilustra por ejemplo este vídeo de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de Estados Unidos:

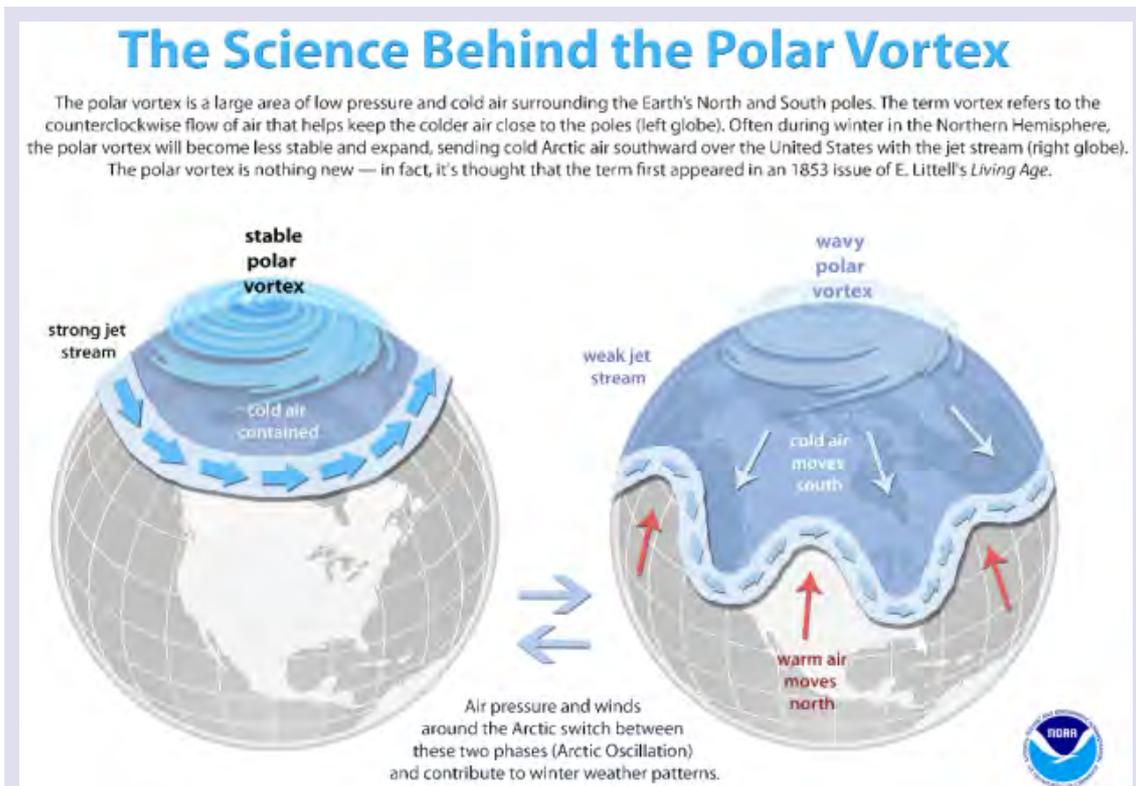




En la siguiente imagen queda patente el acusadísimo calentamiento en latitudes árticas por comparación al resto del planeta:



Pues bien, como dice el Secretario General de la OMM, «**lo que pasa en el Ártico no se queda en el Ártico**, sino que influye en las condiciones del tiempo y el clima en latitudes más bajas». Tal como se refleja en el siguiente gráfico de la NOAA, las condiciones meteorológicas en latitudes medias tienen mucho que ver con el comportamiento del —ya famoso a estas alturas— *vórtice polar*.



El vórtice polar troposférico es una estructura que separa la masa de aire frío polar de la templada de latitudes medias. Cuando el vórtice es intenso, las borrascas circulan rápidamente de oeste a este y descienden menos de latitud. Cuando el vórtice se debilita, la circulación es más lenta y se ondula mucho, alternando entradas frías y cálidas en las latitudes medias.

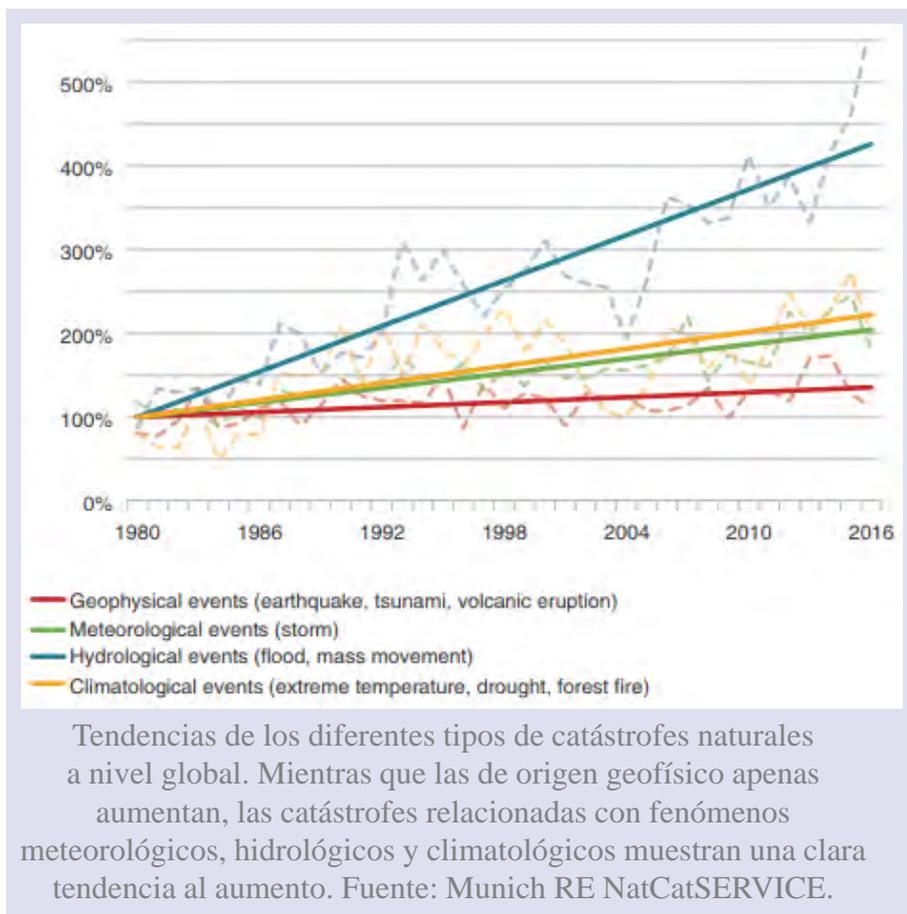
Fuente: <https://www.noaa.gov/multimedia/infographic/science-behind-polar-vortex>

Estas oscilaciones no son un fenómeno nuevo (este patrón del clima se conoce como Oscilación Ártica), sin embargo, se está analizando cuál es el impacto del cambio climático en este patrón, y ya hay estudios como [este](#) que relacionan el calentamiento del Ártico con un debilitamiento del vórtice polar y un aumento de los episodios invernales de frío extremo.

Si quieres saber más sobre los vórtices polares troposférico y estratosférico, te recomendamos este otro post de nuestro blog, [¿REALMENTE VUELVE EL VÓRTICE POLAR?](#)

Conclusiones

Los episodios de tiempo extremo no solo no desmienten el cambio climático, sino que forman parte de él. Nos enfrentamos con frecuencia creciente a catástrofes naturales de origen meteorológico. Ignorar las cada vez más abrumadoras evidencias y no actuar es una temeridad que no nos podemos permitir.



Referencias

<https://public.wmo.int/en/media/news/weather-january-month-of-extremes>

<https://www.nature.com/articles/s41467-018-02992-9>

<https://www.nature.com/articles/s41467-018-07954-9>

<https://easac.eu/publications/details/extreme-weather-events-in-europe/>

<https://climate.copernicus.eu/sea-ice-cover-january-2019>

<https://public.wmo.int/es/media/noticias/el-fr%C3%ADo-extremo-en-estados-unidos-no-contradice-el-cambio-clim%C3%A1tico>

LA METEOROLOGÍA EN EL MUSEO DEL PRADO

Manuel Antonio Mora García

Delegación Territorial de AEMET en Castilla y León

(publicado en el blog de AEMET
entre marzo y abril de 2019)

Este artículo contiene un extracto de los 10 capítulos (18 entradas del blog) publicados en el blog de AEMET por el autor, Manuel A. Mora García, en 2019, dedicados a la «Meteorología en el Museo del Prado».

Introducción

MUSEO
DEL
PRADO
200
AÑOS

Este año se celebra el bicentenario del Museo Nacional del Prado, cuya pinacoteca se considera como una de las mejores del mundo. Desde nuestra perspectiva de aficionados a la meteorología, nos unimos a esta celebración y les proponemos una visita al museo del Prado para descubrir la belleza de los fenómenos meteorológicos que esconden esta colección, meteoros como la tormenta, la lluvia, la nieve o el arcoíris, así como los distintos cielos y nubes. Esta importante colección también alberga algunas curiosidades meteorológicas, como el milagro de la nube, un posible tornado o las condiciones meteorológicas durante el primer vuelo aerostático tripulado en España.

La composición de un cuadro, a través de los bocetos preliminares, se trata de un complejo proceso en el que el artista cuida todos los detalles. Por ello los cielos, las nubes o los fenómenos meteorológicos que aparecen en sus obras no se incluyen de forma caprichosa, obedecen en algunos casos a la simbología o iconografía clásica (religiosa o mitológica) y en otros casos son un complemento del paisaje, elemento fundamental que modula la gama cromática y la luminosidad del cuadro. Con frecuencia, los diferentes estilos de los pintores a la hora de representar los paisajes han creado «escuela», y estos patrones se ven repetidos. Como veremos la meteorología es un tema aparentemente secundario en muchas obras, pero en algunas de ellas es el tema principal.

Desde el punto de vista de la «cultura visual», el análisis de las obras de arte nos aporta información meteorológica de gran importancia. El pintor da testimonio de la vida y costumbres cotidianas, incluyendo el tiempo. Así los pintores flamencos y holandeses de los siglos XVI y XVII, en especial durante el periodo entre 1565 y 1665, reflejan los paisajes

nevados, constituyendo un estilo pictórico fiel reflejo de los rigores invernales de la Pequeña Edad de Hielo que afectó a Europa. Otros maestros de la pintura muestran peculiaridades del tiempo o el clima de su época, como Francisco de Goya, que representa de forma primorosa la primavera en Madrid, con sus nubes de desarrollo vertical precursoras de tormenta que aparecen en la mayoría de sus escenas campestres, o Diego Velázquez, que nos muestra la tristeza y escasa luminosidad de algunos días plomizos del otoño e invierno madrileño, con sus nubes medias estratiformes sobre la sierra de Guadarrama que acompañan a sus retratos reales.

El museo del Prado recopila más de 6000 obras pictóricas que se inician en el siglo XII y que abarcan hasta el siglo XX. Gracias a su colección digitalizada disponemos de un completo catálogo para poder apreciar estas obras: <https://www.museodelprado.es/coleccion/>.

I. El arcoíris

publicado en el blog de AEMET el 6 de marzo de 2019

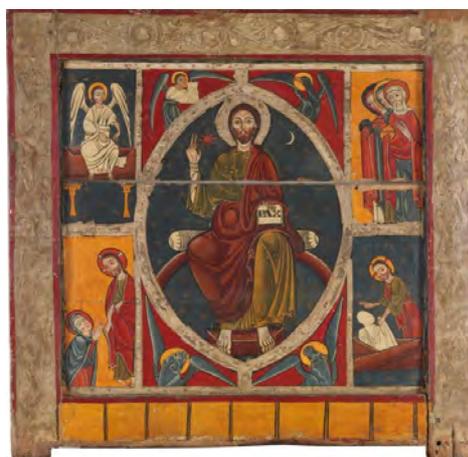
Para los meteorólogos, este fenómeno no es más que una curiosidad, de indudable belleza, pero sin transcendencia para la predicción del tiempo. Se trata de un fotometeor que se produce por la refracción, dispersión y reflexión interna de los rayos solares o lunares en las gotitas de lluvia, llovizna, niebla o agua pulverizada en diminutas gotitas.

Sin embargo, para la cristiandad se trata de un símbolo con un gran significado, ya que representa el fin del diluvio universal y el pacto entre Dios y los hombres, como se expresa en el Antiguo Testamento (Génesis 9,13-15).

Los diferentes artistas representan el arcoíris como un elemento del paisaje o como símbolo cristiano, pero no tienen en cuenta que es un fenómeno óptico sometido a estrictas reglas geométricas y leyes ópticas, que no fueron completamente desarrolladas hasta el siglo XVII. Por ello no es extraño observar que no se cumplen algunas reglas básicas, como el orden de coloración invertido del arco secundario frente al principal, o la más básica de todas, cada persona ve su propio arcoíris justo delante de sus ojos, con la cortina de gotitas de agua enfrente y el sol a su espalda.

Por orden cronológico, entre las obras del Museo del Prado se encuentra esta bella tabla del s. XII, donde aparecen dos símbolos del arte románico y bizantino como el Pantocrátor (representación de Dios padre, hijo o ambos) y el Tetramorfos (los cuatro evangelistas y sus respectivos símbolos).

En el centro se encuentra Cristo en actitud de «Maiestas Domini», bendiciendo con su mano derecha y sujetando el libro de los siete sellos con la izquierda, con un fondo que representa el cielo, con el Sol, la Luna y las estrellas. Se encuentra sentado sobre un **arcoíris**, de gran radio y con tonalidad roja, fenómeno que se conoce como **arcoíris rojo**.



Frontal de Solanllong. Pantocrátor con el Tetramorfo.
Taller del Maestro de Lluça. Año 1200-1210.
Temple sobre tabla, 102 x 108,3 cm.



La siguiente obra analizada, del siglo XV y de autor aún no identificado, se trata de un tríptico, en cuya puerta derecha se representa el Juicio Final. Sobre sendas nubes cumulonimbos cuyos bordes festoneados rodean los cuerpos de la Virgen y san Juan, se alza un **arcoíris** con una coloración extraña que parece corresponder a un arcoíris secundario (colores rojos y anaranjados en el interior), con la figura de Cristo resucitado sentado sobre el mismo, recordando su pacto con los hombres, mientras sus pies reposan sobre el globo terráqueo. En la parte inferior, la resurrección de la carne y la separación de fieles (conducidos por un ángel) y réprobos (atrapados por el demonio que surge desde las profundidades). En las vueltas del arco, de izquierda a derecha, distintas obras de misericordia: vestir al desnudo, dar de beber al sediento, dar de comer al hambriento, aconsejar al necesitado, redimir a los presos y visitar a los enfermos. En las albanegas (esquinas superior derecha e izquierda), conducción de un cadáver y un sepelio.

Tríptico de la Redención: el Juicio Final. Maestro de la Redención del Prado. Hacia 1450. Óleo sobre tabla, 195 × 77 cm.

La siguiente obra pertenece a la segunda mitad del s. XVI, de autor anónimo, probablemente del taller del maestro veneciano Bassano, con influencias de Tiziano y Tintoretto y especializado en temas bíblicos. Nos muestra a Noé ofreciendo un sacrificio a Yahvé mientras un grupo de hombres y mujeres reconstruyen un poblado. Sobre un cielo muy nuboso donde se distinguen estratocúmulos, prácticamente en el centro del cuadro se observa un **arcoíris** sin coloración.



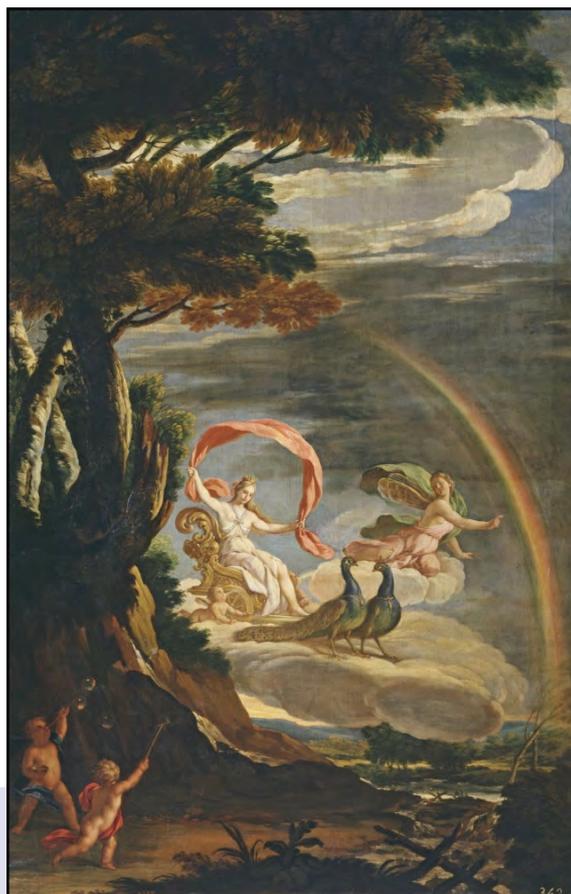
Noé después del Diluvio. Anónimo (Taller de Bassano). Segunda mitad del siglo XVI. Óleo sobre lienzo. 80 × 113 cm.

Entre los autores de la pinacoteca del museo del Prado que han representado el arcoíris, no podía faltar uno de los grandes maestros de la pintura como Rubens. En esta obra la belleza del paisaje, en concreto el **arcoíris principal y secundario** formado por las gotitas de agua pulverizadas por una cascada, resta protagonismo al tema principal de carácter mitológico, que aparece en la esquina inferior izquierda.



Paisaje con Psique y Júpiter. Paul Bril y Pedro Pablo Rubens. Hacia 1610. Óleo sobre lienzo, 95 × 129 cm.

Ya en el s. XVIII encontramos esta obra de carácter mitológico de Antonio Palomino. Pintor y escritor, reconocido fresquista que llegó a tener el título de pintor del Rey, Palomino representa a la diosa Hera (Juno) en su carro sobre una nube estratocúmulo, tirado por dos pavos reales, acompañada por la ninfa Iris y unos amorcillos. Uno de ellos, en la nube, sopla de forma que la propulsión del carro bien parece eólica, con una tela sujeta por Hera a modo de velamen. El **arcoíris**, presenta casi todas las tonalidades (le faltan las tonalidades azules).



El Aire.
Aciselo Antonio Palomino y Velasco.
Hacia 1700.
Óleo sobre lienzo, 246 × 156 cm.



Felipe V a caballo.
Jean Ranc.
Hacia 1723.
Óleo sobre lienzo, 335 × 270 cm.

El pintor francés Jean Ranc, con influencias de Rubens y de Velázquez, representa al rey Felipe V sobre un caballo rampante, vistiendo media armadura y detrás, a caballo, se encuentra su paje sosteniendo el casco. Sobre ambos una Victoria con una palma en la mano alada señala el camino del triunfo. En el ángulo superior izquierdo, aparece Sagitario, el signo astrológico del monarca, nieto de Luis XIV, que nació en Versalles el 19 de diciembre de 1683 y fue proclamado rey de España en 1700.

Un **arcoíris** (sin coloración) circunscribe el conjunto, sobre un cielo con nubes estratiformes.

II. Nubes singulares

publicado en el blog de AEMET el 10 de marzo de 2019

Las nubes, formadas por minúsculas gotitas de agua, cristalitos de hielo o ambos, adquieren distintas tonalidades en función de su estructura microfísica y de la iluminación recibida, constituyendo un elemento natural del paisaje que forma parte de las composiciones pictóricas. Su coloración, ya sea blanquecina como en el caso de las nubes cumuliformes, grisácea o azulada en el caso de las nubes estratiformes o rosada o anaranjada en los amaneceres y atardeceres, es utilizada por los pintores para equilibrar el cromatismo e iluminar sus obras. En algunas ocasiones, su presencia está asociada a determinados cánones, iconografías o referencias de distinta índole según la escena representada, pero en otras, las nubes transmiten los sentimientos y estados de ánimo del autor.

En esta segunda entrega nos centraremos en las nubes singulares que aparecen en la pinacoteca del Museo del Prado, más adelante se analizarán las nubes desde un punto de vista más general.

La primera obra analizada se titula «El milagro de la nube» y su autor es Pedro de Berruguete. La formación de esta nube no se debe a las condiciones meteorológicas reinantes, según la leyenda, se trata de una obra divina.

Esta bella tabla de finales del siglo XV representa el milagro que tuvo lugar durante la disputa entre un obispo cátaro (secta herética que propugna la vida ascética) y el inquisidor san Pedro Mártir de Verona en la plaza mayor de Milán, en un día especialmente caluroso. El hereje reta a san Pedro, diciéndole que pida a Dios que interponga una nube entre ellos y el sol y así aminore el calor sofocante. San Pedro acepta el reto a condición de que el hereje abjure de su error, y de forma milagrosa, surge una nube del género *Stratus*.



El milagro de la nube.
Pedro Berruguete. 1493-1499.
Óleo sobre tabla, 132 × 84 cm.



Nubes de primavera.
Adolf Fényes. 1925.
Óleo sobre lienzo.
58 × 74 cm.

Continuamos con una obra contemporánea (siglo XX) del pintor húngaro Adolf Fényes, víctima del Holocausto. En ella se observan nubes del género *Stratocumulus* que podrían considerarse con la característica suplementaria *fluctus*.

La nube del género *Alto cumulus* y especie *castellanus* es un tipo de nube media precursora de tormentas, ya que sus protuberancias o almenas indican inestabilidad en niveles medios de la atmósfera. Su presencia a primeras horas de la mañana suele anunciar el desarrollo de cumulonimbos durante la tarde que pueden dar lugar a la formación de tormentas.

En esta obra (a la derecha) del Maestro D. Álvaro de Luna, observamos a san Antonio de Padua, con el Niño en la mano derecha sobre una esfera y un donante arrodillado. Como elemento del paisaje destacan los *Alto cumulus castellanus*.



San Antonio de Padua.
Maestro de Don Álvaro de Luna.
Principio del siglo XVI.
Técnica mixta sobre tabla, 105 × 53 cm.



Llanto sobre Cristo muerto.
Adriaen Isenbrandt. Primera mitad del s. XVI.
Óleo sobre tabla, 54,5 × 40 cm.

La siguiente obra (izquierda) analizada de Isenbrandt, maestro flamenco, nos muestra dos escenas en el mismo cuadro. El tema principal recoge el momento en que Cristo es bajado de la cruz para ser envuelto en el sudario, ocupando prácticamente todo el espacio del cuadro; en el cielo se observan nubes medias estratiformes, probablemente *Altostratus*. En la franja vertical del extremo derecho, transcurre la escena secundaria, el entierro de Cristo en el interior de la cueva de una gran roca. En la parte superior vemos dos nubes cumuliformes, la de la izquierda con un aspecto inclinado indica la presencia de cizalladura del viento. La otra nube cumuliforme, camuflada parcialmente por la vegetación, presenta en su parte inferior lo que podría ser una nube embudo. La vegetación también parece girar por el intenso viento asociado al tornado. Sin embargo, la observación se ve limitada por el follaje, así que podría ser simplemente el tronco de un árbol (las modernas técnicas de análisis de obras de arte basadas en

rayos X, radiación infrarroja o ultravioleta (espectrografía) seguramente nos aporten información que permita confirmar o desechar esta hipótesis).

Otro tipo de nube singular es la denominada «nube rotor», que se forma a sotavento de las montañas en determinadas condiciones de flujo intenso y estabilidad (onda de montaña). Se caracteriza por las intensas corrientes ascendentes y descendentes debidas a la rotación del aire sobre un eje horizontal paralelo a la barrera montañosa, originando gran turbulencia, por lo que es muy peligrosa para la aviación. Generalmente son nubes del género *Stratocumulus* y variedad *volutus*.



Escenas de la vida de san Antonio Abad.
Juan de la Abadía el Viejo.
Hacia 1490. Óleo sobre tabla.

Esa rotación de la nube se observa perfectamente en esta obra del siglo XV de Juan de la Abadía el Viejo (tabla izquierda, escena superior e inferior), aunque la atención del espectador suele dirigirse a la escena central, donde aparecen varios demonios a modo de criaturas fantásticas asediando al santo.

En la otra tabla que forma pareja, el autor nos sorprende con otras nubes singulares. En las escenas central e inferior aparecen nubes del género *Cirrus* y la especie *floccus*. La variedad *floccus* se refiere al aspecto de penacho.

En la tabla superior aparecen *Alto cumulus lenticularis duplicatus*. La especie *lenticularis*, asociada a *Alto cumulus*, *Cirrocumulus* y *Stratocumulus*, debe su nombre a la forma característica de almendra, lente o lenteja, y suele estar asociada a las crestas de las ondas en el caso de flujo de viento intenso ondulado (principalmente en zonas montañosas). La variedad *duplicatus* se refiere a la existencia de varios elementos soldados o no en la vertical.

El maestro Juan de la Abadía el Viejo tenía su taller en Huesca, donde estas llamativas nubes orográficas se observan con frecuencia por su proximidad a los Pirineos.



San Bruno reza en La Torre, Calabria.
Vicente Carducho. 1626-1632.
Óleo sobre lienzo, 337 × 297,5 cm.

Este tipo de nubes se observa también en esta obra del florentino Vicente Carducho, pintor del rey Felipe IV.

En esta obra de Abel Grimmer (derecha) se observa una nube especial, recientemente reconocida en la última edición del Atlas Internacional de Nubes de la Organización Meteorológica Mundial. Se trata de nubes originadas por la actividad humana, en este caso por el humo de grandes chimeneas, dando lugar a la formación de una nube cumuliforme. En este caso se denominaría *Cumulus homogenitus*.



Parábola del banquete de bodas del hijo del rey.
Abel Grimmer. Hacia 1611. Óleo sobre tabla, 24 × 34 cm.

III. Tormentas

publicado en el blog de AEMET el 12 de marzo de 2019

La tormenta, rayo o descarga eléctrica probablemente constituya el fenómeno meteorológico más complejo y espectacular. Su origen se encuentra en las nubes cumulonimbos, nubes de gran desarrollo vertical que adquieren una distribución de carga eléctrica singular debido a las fuertes corrientes verticales que se producen en su seno y a aspectos microfísicos en los que juega un papel fundamental la presencia de hielo.

La mitología nórdica atribuye el origen del rayo al dios Thor. En la mitología griega, se considera al dios Zeus (Júpiter para los romanos) dominador de los cielos y era este quien lanzaba los rayos, ayudado por su hija Astrea (del griego Astrapê, «relámpago») que portaba los rayos que previamente había forjado Hefesto (Vulcano para los romanos), el herrero de los dioses del Olimpo.

El gran pintor Pedro Pablo Rubens realizó varias obras donde aparece el rayo. En el «Rapto de Ganímedes», representa a Júpiter, convertido en «águila capaz de soportar sus propios rayos», raptando al príncipe troyano Ganímedes, del que se había enamorado. En la parte superior se observan los rayos zigzagueantes amarillos que surgen de la nube *Cumulonimbus*.



El rapto de Ganímedes.
Pedro Pablo Rubens. 1636-1638.
Óleo sobre lienzo, 181 x 87,3 cm.



Santa Bárbara. Francisco de Goya y Lucientes.
Hacia 1772. Óleo sobre lienzo, 97,2 x 78,5 cm.

En el cristianismo podemos encontrar referencias al rayo durante el martirio de santa Bárbara que tuvo lugar durante el siglo III en Nicomedia (Anatolia o Asia Menor). Según la tradición cristiana recogida en el martirologio romano, la bella y joven virgen se convirtió al cristianismo pese a permanecer encerrada en una torre por su padre, que de esa forma pretendía mantenerla alejada de sus pretendientes. Por ello fue martirizada y a continuación decapitada en un monte por su propio padre, que resultó alcanzado por un rayo.

Francisco de Goya y Lucientes (arriba) representa a santa Bárbara con la corona de princesa, una custodia y la palma del martirio. Mención especial merece la obra sobre santa Bárbara (a la derecha) del misterioso e innovador pintor flamenco Robert Campin (Maestro de la Flemalle). Representa con notable minuciosidad a la santa en el interior de la estancia, mientras a través de la ventana se observa la torre donde sería encerrada por su padre (en construcción) y en los cielos se observa nubosidad de evolución diurna, grandes cúmulos *congestus* precursores del cumulonimbo que derivaría en tormenta, uno de cuyos rayos fulminaría al padre de la santa.



Santa Bárbara. Robert Campin. 1438. Óleo sobre tabla de madera de roble, 101 x 47 cm.



Alegoría del Invierno.
José de Madrazo y Agudo. 1819.
Óleo sobre lienzo, 87 × 54 cm.

En la «Alegoría del Invierno», obra de José de Madrazo y Agudo, además de representarse la lluvia (más bien lluvia «a cántaros») y el viento (con jóvenes figuras masculinas aladas que soplan y empujan con sus brazos las nubes), se observa una descarga que impacta sobre lo que pudiera ser una veleta e incluso un pararrayos.



Marina con escena de naufragio.
José Carlos de Borbón.
Tercer cuarto del siglo XVIII.
Óleo sobre lienzo, 76 × 97 cm.

Las tormentas se producen fundamentalmente en verano, primavera y otoño, aunque también pueden producirse en invierno. Incluso pueden formarse asociadas a tempestades marítimas, como se observa en la obra (arriba) de José Carlos de Borbón, pro hijado de raza negra de Carlos III procedente de Nápoles, que parece ser que falleció en Madrid a causa de las condiciones climáticas en 1773 (no olvidemos que el s. XVIII pertenece al periodo climático conocido como la Pequeña Edad de Hielo). Además de los rayos, en esta pintura llama la atención la intensa actividad eléctrica intranube.

En esta obra maestra de Tiziano (abajo), se muestra a una sensual Dánae mientras es poseída por la lluvia de oro en la que se ha transformado Júpiter. Por medio del oráculo el rey Acrisio supo que sería asesinado por su nieto, por lo que mantuvo encerrada a su hija Dánae y evitar que fuera fecundada. Para poder poseerla, Júpiter se transformó en lluvia de oro que entró por la ventana de su celda. Fruto de esa unión, Dánae dio a luz a Perseo.



Al tratarse del hijo de Zeus, para no levantar su ira, Acrisio abandonó a Dánae y Perseo en el mar, pero sobrevivieron y finalmente se cumplió la profecía y Perseo mató por accidente a su abuelo Acrisio. La tormenta presenta una gran actividad eléctrica intranube, y la celestina recoge con su mandil el abundante «granizo dorado» en forma de monedas.

Dánae recibiendo la lluvia de oro. Tiziano.
1560-1565. Óleo sobre lienzo, 129,8 × 181,2 cm.

IV. La Pequeña Edad de Hielo

publicado en el blog de AEMET en dos partes:

☞ parte 1: el 23 de marzo de 2019

☞ parte 2: el 30 de marzo de 2019

El clima europeo en la Edad Media entre los siglos VII y XIII se caracterizó por temperaturas relativamente cálidas, un periodo conocido como el Óptimo Climático Medieval, que permitió el fuerte desarrollo de la agricultura y que la población se multiplicara notablemente. Sin embargo, a partir del siglo XIV comenzó un periodo relativamente frío conocido como **La Pequeña Edad de Hielo (PEH)**, que finalizó a mediados del siglo XIX. Durante la PEH el clima no fue uniforme, se produjeron cambios súbitos y de corta duración, alternando años o ciclos de pocos años anómalamente fríos, cálidos, húmedos o secos. Tampoco afectó de igual forma a todas las estaciones, algunos autores indican que el enfriamiento se produjo fundamentalmente en los inviernos, pero no tanto en los veranos. Por otro lado, no todas las regiones europeas notaron sus efectos de igual forma. Por lo tanto, no hay que considerar la PEH como un periodo uniformemente frío, quizás sea más apropiado considerar que hubo un clima similar al actual con frecuentes episodios anómalamente fríos, con fuerte variabilidad, sobre todo en el sur de Europa.

El enfriamiento producido en el hemisferio norte por la disminución de la radiación solar se atribuye a distintas causas, como ciclos de mínima actividad solar, cambios en los parámetros orbitales del sol o un incremento de la actividad volcánica tropical. Aunque hubo fuerte variabilidad y grandes fluctuaciones, y sus efectos varían de un lugar a otro, el periodo comprendido entre **1560 y 1660** se considera como uno de los más fríos. Durante algunos gélidos inviernos, era frecuente que los ríos y lagos se congelaran, lo que implica la persistencia durante varios días de temperaturas inferiores a -10°C o -15°C . Esta inusual escena de paisajes invernales, dio lugar a un nuevo estilo pictórico iniciado por artistas flamencos, con Pieter Brueghel el Viejo como máximo exponente.

La **Pequeña Edad de Hielo** ocupa un periodo de unos 550 años, y aunque su nombre parece sugerir que el hielo y el frío fueron sus únicos protagonistas, hay que tener en cuenta que también hubo años cálidos o muy cálidos, periodos muy húmedos y también grandes sequías, además de grandes temporales, como los responsables del naufragio de la Armada Invencible durante el verano de 1588. Por ello, las obras pictóricas del Museo del Prado de esta época no solo muestran patinadores sobre ríos helados, sino también bañistas disfrutando de un caluroso día de verano o escenas de naufragios, como en esta obra del gibraltareño José Gartner que muestra las naves a pique frente a los acantilados.



La Invencible. José Gartner de La Peña. 1892. Óleo sobre lienzo, 130 × 420 cm.



Paisaje con río y bañistas. Atribuido a Annibale Carracci.
Último tercio del siglo XVI - principio del siglo XVII.
Óleo sobre lienzo, 47 × 56 cm.

En esta obra atribuida al italiano Annibale Carracci (1560-1609), de finales del siglo XVI o principios del XVII, se representa un paisaje probablemente del norte de Italia, con un caudaloso río y varios bañistas en primer término, mientras que detrás de ellos aparece un barquero y otros personajes parecen practicar «surf de pala o remo» (un deporte en auge en los últimos años). El cielo se presenta bastante nuboso, con nubes medias estratiformes.



Kermesse en un paisaje rocoso. Lucas Van Valckenborch.
1580-1590. Óleo sobre tabla, 46 × 67,5 cm.

Esta obra de Valckenborch presenta una fiesta popular en una villa de Flandes, aparentemente próspera; mientras los campesinos bailan aparecen varios burgueses en primer término. De nuevo se muestran cielos nubosos, en este caso estratocúmulos, que junto a los ropajes de los personajes, bastante abrigados, revelan que se trata de un fresco día de verano o primavera.



Alegoría del mes de Febrero con el triunfo de Neptuno y el signo de Piscis. Anónimo. Finales del siglo XVI.
Óleo sobre lienzo, 173 × 236 cm.

El Museo del Prado dispone de una colección de alegorías de los 12 meses del año de autor anónimo, elaboradas a finales del s. XVI, que aparentemente, no muestran un clima muy diferente del actual (quizás se puede intuir que fuera más frío en invierno). En la correspondiente al mes de febrero, en el que se representa una escena mitológica (triunfo de Neptuno, dios del mar), en segundo término se observa una ciudad amurallada a los pies de una montaña nevada. También se aprecia un río helado que rodea la muralla con dos hombres caminando sobre el hielo y varios patinadores, así como probable escarcha en el campo.

La última década del siglo XVI fue especialmente fría. El verano de 1601 fue el más frío en el hemisferio norte desde 1400, y en los países nórdicos, uno de los más fríos de la era cristiana.

Brueghel el Joven, en 1601, realizó una copia de la obra que pintó originalmente en 1565 su padre (Brueghel el Viejo). Representa un paisaje nevado, una pequeña población de Flandes dividida por un río completamente helado, donde sus habitantes patinan y juegan sobre el hielo al «curling» y al «kolf» (el juego del kolf se considera precursor del actual golf), otros niños se deslizan sobre un trineo o juegan a la peonza. Un agujero circular practicado en la capa de hielo para facilitar la pesca da idea de su espesor, al menos unos 15 o 20 cm (parte inferior izquierda del cuadro). En el cuadrante inferior derecho se aprecia la trampa para pájaros que da título al cuadro.



Paisaje nevado con patinadores y trampa para pájaros.
Pieter Brueghel el Joven. Hacia 1601. Óleo sobre tabla, 40 × 57 cm.

El holandés Dubbels, que nació y murió en Amsterdam, nos muestra el puerto de su ciudad completamente helado, con los barcos encallados en el hielo. Se repiten las escenas habituales de patinadores, niños con trineos o jugadores de kolf. El velamen y las banderas de los navíos señalan un viento que podría ser indicio de la aproximación de un frente cálido, cuya nubosidad delantera aparece por la izquierda del cuadro, su tonalidad rosada indica que son nubes medias o altas y que probablemente esté anocheciendo.



El puerto de Ámsterdam en invierno. Hendrick Jacobsz Dubbels.
1656-1660. Óleo sobre lienzo, 67 × 91 cm.

El pintor flamenco Alsloot nos muestra esta otra escena festiva ambientada en Amberes, aunque con personajes más distinguidos. Sobre el río helado la burguesía y la nobleza celebran el carnaval, probablemente no por mucho tiempo, ya que en el oscuro cielo de la parte de la derecha del cuadro parece distinguirse un *cumulunimbus calvus*, que podría originar un chubasco o tormenta de nieve.



Mascarada patinando o El Carnaval sobre el hielo de los fosos de la Kipdorppoort en Amberes. Denis van Alsloot.
Hacia 1620. Óleo sobre tabla, 57 × 100 cm.



Paisaje de invierno con la Adoración de los pastores.
Francisco Collantes. 1630-1650. Óleo sobre lienzo, 72,2 × 105,7 cm.

Francisco Collantes, paisajista madrileño del s. XVII muestra esta estampa invernal de la adoración al niño Jesús, con el campo completamente cubierto de nieve. Desde los cúmulos comienzan a caer grandes copos de nieve. El museo posee otras obras de este artista; en sus bellos paisajes predominan los cielos con cúmulos, pero ninguno de estos paisajes aparece nevado. Quizás la presencia de la nieve en esta obra esté inspirada en los fríos inviernos de mediados del s. XVII en la Meseta, con abundantes nevadas.



La nevada o El Invierno. Francisco de Goya y Lucientes. 1786.
Óleo sobre lienzo, 275 × 293 cm.

La famosa obra de Goya, «La nevada o el Invierno» representa un paisaje nevado en una fuerte ventisca, que impide el avance normal de los personajes y flexiona el tronco y las ramas de los árboles. El cuadro está fechado en 1786, justo después de unos años con abundantes nevadas en el cuadrante noroccidental de la Península, como el invierno del año 1782-83 y el durísimo mes de enero de 1784, con fuertes nevadas y heladas.



Vista de Villalba (Madrid). Francisco Fernández de la Oliva. 1875.
Óleo sobre lienzo, 100 × 149 cm.

Aunque la **Pequeña Edad de Hielo** siguió afectando a Europa hasta mediados o finales del siglo XIX, en España durante este siglo se produce una recuperación térmica sostenida, aunque con pequeñas fluctuaciones hasta nuestros días.

Un ejemplo de primavera fresca y húmeda del siglo XIX se muestra en este bello paisaje de la sierra madrileña, con la abundante vegetación y la persistencia de la nieve en las cumbres, sobre las que comienza a surgir la nubosidad de evolución diurna.

V. Las nubes

publicado en el blog de AEMET en cuatro partes:

☞ parte 1: el 10 de abril de 2019

☞ parte 2: el 12 de abril de 2019

☞ parte 3: el 13 de abril de 2019

☞ parte 4: el 15 de abril de 2019

Las obras pictóricas del Museo del Prado anteriores al s. XVI tienen un carácter fundamentalmente religioso, donde el paisaje, en caso de representarse, consistía en cielos despejados, incluso con coloraciones ilusorias alejadas de la realidad, como en esta obra del Maestro de la Madonna della Misericordia, del s. XIV, donde el cielo aparece dorado.

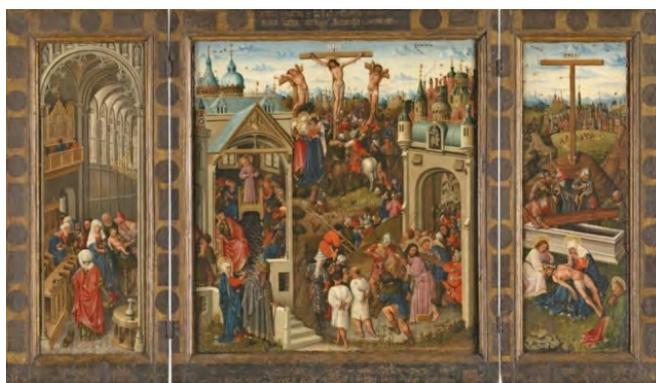


San Eloy ante el rey Clotario. Maestro de la Madonna della Misericordia. Hacia 1370. Dorado, Témpera sobre tabla, 35 × 39 cm.

Las nubes comienzan a tomar protagonismo durante el s. XV. El pintor flamenco Robert Campin, identificado como el Maestro de la Flamelles, es un pintor minucioso, que cuida todos los detalles, entre ellos las nubes. Sus representaciones de cúmulos son de gran realismo (abajo, izquierda). Ese detallismo también se aprecia en el trabajo del Maestro de las Horas Collins, donde se representan *Alto cumulus castellanus* en este tríptico con pasajes de la vida de Cristo (abajo, derecha).



Los Desposorios de la Virgen. Robert Campin. 1420-1430. Grisalla, Óleo sobre tabla de madera de roble, 77 × 88 cm.



Tríptico con pasajes de la vida de Cristo. Maestro de las Horas Collins. Hacia 1440. Grisalla, Óleo sobre tabla de madera de roble, 78 × 134 cm.

Con la llegada del Renacimiento se perfeccionó el uso de la perspectiva en los cuadros. Andrea de la Mantegna, dominador de esta técnica, como se aprecia en su obra maestra «El tránsito de la Virgen», representa los últimos instantes de vida terrenal de la Virgen, acompañada de los apóstoles. Sobre la vista del lago de Mantua se aprecian *stratocumulus cumulogenitus*, que parecen unirse al trágico desenlace que se avecina, extendiéndose horizontalmente y disipándose gradualmente al final de la tarde.



El Tránsito de la Virgen. Andrea Mantegna. Hacia 1462. Técnica mixta sobre tabla, 54,5 × 42 cm.

Como característica común de las obras pictóricas previas al s. XVI podríamos destacar el predominio de cielos despejados o poco nubosos, en consonancia con la bonanza del tiempo durante el final del Óptimo Climático Medieval. Es a partir del s. XVI cuando aparecen los grandes paisajistas flamencos y son numerosas las obras con celajes cubiertos con gran variedad de nubes, desapareciendo prácticamente los cielos despejados, además de los paisajes nevados y helados.

Las nubes se clasifican en diez **géneros**, pero a su vez, según su forma y estructura interna se subdividen en **especies**, y de acuerdo a la distribución de sus elementos constitutivos y su transparencia se pueden distinguir distintas **variedades**. Pueden tener partes diferenciadas singulares, mezcladas o soldadas con ellas, en ese caso se denominan **características suplementarias**. De igual forma, otras pequeñas nubes pueden estar soldadas o muy próximas acompañando a la nube principal, siendo consideradas como **nubes accesorias**. Si la nube evoluciona a partir de otra de distinto género, a esta se la considera como **nube-madre**. Por último, también existen nubes que por su singular origen se consideran **nubes especiales**.

Otra clasificación mucho más general se basa en el desarrollo vertical de las nubes. Así se distingue entre nubes **estratiformes** (poco desarrollo vertical) y **cumuliformes** (nubes de desarrollo vertical). También se clasifican por su altura en nubes medias, bajas y altas.

En las obras del Museo del Prado se representan fundamentalmente nubes cumuliformes y nubes medias estratiformes, apenas aparecen por tanto nubes altas. Habitualmente los artistas seguían los dictados de las iconografías y se fijaban en otras obras ya representadas, por lo que en muchas ocasiones existen grandes similitudes en las nubes representadas en paisajes y escenas religiosas o mitológicas. Además, algunos artistas incorporan a sus obras un tipo de nube característico que los identifica, como podrían ser los **cúmulos** en El Greco o Goya, o los **altoestratos** en Velázquez.

Los cielos con nubes medias estratiformes aparecen en muchas obras, como en los cuadros de Jan Brueghel el Viejo, realizados en el siglo XVII.



Los Archiducos de caza. Brueghel el Viejo, Jan. Hacia 1611. Óleo sobre lienzo, 135 × 246 cm.

En cuanto a los paisajes de Rubens, en las obras que dispone el museo del Prado aparecen nubes estratiformes, pero también cumuliformes, entre ellas destacamos su retrato ecuestre del duque de Lerma, donde podemos apreciar una nube de gran desarrollo vertical que asemeja un cumulonimbo, incluso parece apreciarse cierta rotación en un eje vertical, por lo que las similitudes con una supercélula son evidentes.

Otro afamado pintor del siglo XVI, Tiziano, representa este tipo de celajes de nubes medias en sus obras. En su retrato de «Carlos V en la Batalla de Mühlberg» las nubes medias más altas tienen tonos rosáceos, como se aprecia en ocasiones durante el ocaso.

Velázquez solía incluir en sus paisajes cielos cubiertos de nubes estratiformes, generalmente medias, aunque en alguna de sus obras muestra nubes blancas festoneadas, con apariencia cumuliforme. Uno de sus lienzos más emblemáticos, «La Rendición de Breda», muestra uno de estos típicos cielos de nubes medias, donde la horizontalidad de las nubes estratificadas contrasta con la verticalidad de las picas que sostienen los soldados. En muchos de sus retratos utilizaba como fondo la sierra de Guadarrama, cuyos cielos acostumbraba a cubrir con nubes medias estratiformes, y en alguna ocasión con nubes cumuliformes.



Retrato ecuestre del duque de Lerma.
Pedro Pablo Rubens. 1603.
Óleo sobre lienzo, 290,5 × 207,5 cm.



Carlos V en la Batalla de Mühlberg.
Vecellio di Gregorio Tiziano. 1548.
Óleo sobre lienzo, 335 × 283 cm.



Las lanzas o La rendición de Breda. Diego Rodríguez de Silva y Velázquez.
Hacia 1635. Óleo sobre lienzo, 307,3 × 371,5 cm.



Felipe IV, a caballo. Diego Rodríguez de Silva y Velázquez. Hacia 1635.
Óleo sobre lienzo, 303 × 317 cm.



San Juan Bautista y san Juan Evangelista. El Greco (y taller). 1600-1610. Óleo sobre lienzo, 110 × 86 cm.

Los artistas desarrollan a lo largo de sus vidas un estilo propio que permite identificar sus obras. Grandes maestros de la pintura como El Greco o Goya representan de forma singular las nubes de desarrollo vertical, que sirven como telón de fondo de sus paisajes.

En esta obra de El Greco vemos a san Juan Bautista y san Juan Evangelista con su iconografía habitual. San Juan Bautista bendice un cáliz con un dragoncillo, en referencia al intento de envenenamiento que sufrió. En el paisaje se identifica una edificación que podría ser el monasterio de El Escorial, y sobre el horizonte, la tonalidad oscura se puede interpretar como precipitación procedente de las nubes de desarrollo vertical, en este caso cumulonimbos, que parecen adaptarse al contorno de san Juan Bautista.



La cometa. Francisco de Goya y Lucientes. 1777-1778. Óleo sobre lienzo, 269 × 285 cm.

El museo del Prado dispone de una gran colección de obras de Goya, en las que podemos ver gran variedad de cúmulos y cumulonimbos en distintos estados de desarrollo, nubes de evolución diurna típicas de primavera que acompañan sus escenas costumbristas madrileñas.

En «La cometa» vemos una escena lúdica campestre, en la que varios *majos* se divierten volando una cometa. Al fondo se observa una gran nube cumulonimbo. La gran distancia a la que se encuentra la nube del observador y el obstáculo que supone el árbol en primer plano, impide apreciar todos los detalles, pero bien podría ser un *Cumulunimbus capillatus incus velum*, que se caracterizan por tener una estructura fibrosa superior (especie *capillatus*) y un yunque superior (característica suplementaria *incus*).



Paisaje con gitanos. David Teniers. 1641-1645. Óleo sobre lienzo, 177 × 239 cm.

A partir del siglo XVI surgen grandes paisajistas además de los ya citados en anteriores capítulos. Podemos apreciar **cúmulos y estratocúmulos**, así como otro tipo de nubes, en decenas de cuadros de autores internacionales reconocidos que posee el Museo del Prado. Entre ellos podríamos destacar, por la calidad y abundancia de obras, a Dughet, Valckenborch, Vos, Swanevelt, Poussin, Lorena, Boudewinjs, Both, Snayers, Lione, Teniers, Wouwerman, Giaquinto, Vanvitelli, o los españoles Francisco Collantes, Aguirre, Martínez del Mazo, Carlos de Haes, Muñoz Degraín, Jiménez Fernández, Rico y Ortega o Beruete entre otros.



Playa con pescadores. Adam Willaerts. 1627. Óleo sobre lienzo, 83 × 125 cm.

Los cúmulos y estratocúmulos son nubes que se forman con frecuencia en el mar. En las marinas, paisajes marítimos o escenas navales se observan este tipo de nubes.

A lo largo de los siglos XVIII, XIX y XX continua el género paisajista, el Museo Nacional del Prado también dispone de un gran número de obras con nubes cumuliformes de esta época.



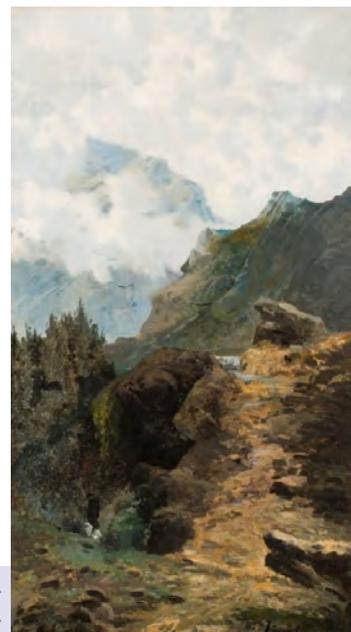
La dama del quitasol. Ginés Andrés de Aguirre. Siglo XVIII. Óleo sobre lienzo, 280 x 363 cm.



Paisaje de montaña. Carlos de Haes. Hacia 1872. Óleo sobre papel pegado en lienzo, 18 x 26 cm.

Finalizamos este capítulo dedicado a las nubes en el Museo del Prado con el análisis de la nubosidad baja, básicamente estratos y estratocúmulos. En general los estratos conforman una capa con base bastante uniforme gris (como en el caso de las nieblas), pero a menudo aparecen en forma de jirones desgarrados a muy baja altura, especie denominada *Stratus fractus*. Cuando se forman como resultado de la disipación de las nieblas, o por evaporación y posterior condensación tras la lluvia en zonas de montaña, se denominan estratos de buen tiempo. Los estratos conocidos como de «mal tiempo» suelen estar asociados a nimboestratos, y veremos bastantes ejemplos de ellos en el capítulo dedicado a la precipitación.

En esta obra del paisajista Juan Espina observamos estratos de «buen tiempo» en una zona montañosa.



Después de la tempestad. Juan Espina y Capo. 1885. Óleo sobre lienzo, 130 x 70 cm.



Nos detenemos en esta famosa obra de Francisco Pradilla, donde aparece la reina Juana I de Castilla velando el cadáver de su esposo Felipe el Hermoso, acompañada del cortejo fúnebre. Había fallecido el 25 de septiembre de 1506, y tras ser embalsamado, recibió sepultura en la Cartuja de Miraflores (Burgos).

Doña Juana la Loca. Francisco Pradilla y Ortiz. 1877. Óleo sobre lienzo, 340 x 500 cm.

Para cumplir el deseo de su esposo de reposar eternamente en Granada, la reina ordenó su traslado. Pese a su avanzado estado de gestación y ser pleno invierno, Juana encabezó el cortejo fúnebre que salió el 20 de diciembre de 1507, realizando cortas etapas que comenzaban al final de la tarde y cesaban por la noche. El viaje fue interrumpido por el nacimiento de la infanta Catalina en Torquemada el 14 de enero de 1507, por lo que la escena representada, donde se observa a la reina aún encinta, es previa a esa fecha.

A finales de abril, pasada la cuarentena del parto, prosiguió el cortejo fúnebre su camino. Al llegar a Hornillos, se produce el célebre episodio que dará origen al apodo popular que acompañará para siempre a Juana, «La Loca». Según las crónicas, que relata el historiador Manuel Fernández Álvarez, una vez llegados al convento de Hornillos, al comprobar que era ocupado por monjas, y temiendo que ellas pudieran robar el cuerpo de su amado esposo, la reina, apoderada de tremendos celos, ordenó abrir el doble féretro (plomo y madera) en pleno campo, y tras comprobar que aún contenía el cadáver, velaron el mismo toda la noche a la intemperie. Esta macabra escena, observada por los lugareños, solo podría atribuirse a una persona demente. Finalmente, el viaje terminaría en Tordesillas en 1509, donde quedó recluida de por vida la reina y se dio sepultura a Felipe. En 1525, su hijo, Carlos I trasladaría definitivamente el cuerpo de su padre a Granada.

Desde el punto de vista meteorológico, tal y como relata Fernández Álvarez: «...a la débil luz de las hachas, que apenas si dejaban arder la violencia del viento», la escena transcurre en una noche fría y ventosa, mientras que el artista representa *Stratus fractus* bajo un cielo cubierto de *Altostratus*.



Paisaje (A orillas del Guadalquivir). Andrés Cánovas y Gallardo. Hacia 1886. Óleo sobre tabla, 17 × 28 cm.

En esta vista de Sevilla desde el Guadalquivir, con la emblemática Torre del Oro, Cánovas y Gallardo nos muestra un cielo cubierto de nubes densas y grises, sin aparente lluvia o llovizna, quizás podrían ser *Altostratus* o *Nimbostratus*, con zonas más oscuras en su base que podrían ser *Stratus fractus*.

Aunque nos hemos centrado básicamente en las nubes **estratos**, también hay bellos ejemplos de nubes **estrato-cúmulos** en la colección del Museo del Prado, como estos *Stratocumulus stratiformis opacus* que aparecen en el retrato ecuestre de la reina Margarita de Austria, obra de Velázquez (en ocasiones es difícil distinguir entre una capa baja de altocúmulos y una capa alta de estratocúmulos).



La reina Margarita de Austria, a caballo.
Diego Rodríguez de Silva y Velázquez.
Hacia 1635. Óleo sobre lienzo, 297 × 212 cm.

VI. Precipitación

publicado en el blog de AEMET en tres partes:

☞ parte 1: el 16 de abril de 2019

☞ parte 2: el 17 de abril de 2019

☞ parte 3: el 19 de abril de 2019

La precipitación es un hidrometeoro que consiste en la caída desde las nubes de gotas de agua líquida (**lluvia** o **llovizna**, en función de su tamaño), o agua sólida en forma de nieve (en sus múltiples formas) o hielo (básicamente **granizo** o **pedrisco**, en función de su tamaño). La precipitación asociada a las nubes de origen cumuloniforme habitualmente se produce en forma de chubascos, cuya característica es que la precipitación comienza y termina súbitamente, y en general es de cierta intensidad. En ocasiones, debido a la excesiva altura de la base de las nubes y/o la sequedad del ambiente, la precipitación se evapora antes de llegar al suelo, denominándose **virga**.

Jochim Patinir, nacido a orillas del río Mosa, en los Países Bajos, es considerado el primer paisajista flamenco. Amigo de Alberto Durer y con influencias de El Bosco, mezcla la realidad del paisaje con algunas imaginativas escenas idealizadas, manejando con destreza el cromatismo de las tonalidades verdes y azuladas del paisaje. Nuestro interés se centra en la cortina de precipitación procedente de una densa nube (bien podría ser un *Cumulonimbus*) que se observa en la esquina superior izquierda del cuadro «Paisaje con san Jerónimo»).

El pintor flamenco Paul Bril, con claras influencias del paisajismo de Brueghel y Patinir nos ofrece esta vista de un puerto, que muestra una gran actividad, con estibadores, carpinteros, etc. Desde las nubes cumuloniformes se aprecian cortinas de lluvia, inclinadas por la cizalladura del viento (viento que varía de intensidad con la altura).

Sánchez Coello, pintor de cámara del rey Felipe II, nos muestra la febril actividad del puerto de Sevilla a orillas del Guadalquivir a finales del s. XVI. A través de un cielo prácticamente cubierto de **nubes cumuloniformes**, se capta el instante en que los rayos solares iluminan la Giralda y parte del río Guadalquivir. Las zonas más oscuras en contacto con el horizonte podrían ser cortinas de precipitación, chubascos asociados a estas nubes convectivas.



Paisaje con san Jerónimo. Joachim Patinir.
1516-1517. Óleo sobre tabla, 74 × 91 cm.



Puerto con castillo. Paul Bril. Hacia 1601.
Óleo sobre lámina de cobre, 24 × 35 cm.



Vista de la ciudad de Sevilla. Atribuido a Alonso Sánchez Coello. Finales del s. XVI. Óleo sobre lienzo.



El Gran Capitán, recorriendo el campo de la batalla de Ceriñola. Federico de Madrazo y Kuntz. 1835. Óleo sobre lienzo, 134,3 × 187,5 cm.

Una de las obras maestras del romanticismo español es este cuadro de Federico de Madrazo, en el que se muestra al Gran Capitán tras la victoria de Ceriñola en el momento de recoger el cadáver de su adversario, el virrey de Nápoles, cuyas tropas asediaban la ciudad. La escena transcurre bajo un cielo gris cubierto de **nimboestratos**, con cortinas de precipitación a distancia.

Durante el siglo XIX el paisaje adquirió gran protagonismo. El museo del Prado dispone de un gran número de obras de grandes paisajistas españoles, como Carlos de Haes. En este caso se muestran cortinas de precipitación a distancia. Resulta difícil identificar las nubes, pero por el tipo de precipitación (aparentemente chubascos) y los claros que aparecen en el cielo, teniendo en cuenta además que se trata de una zona montañosa, es lógico pensar que se trate de nubosidad convectiva. Además de la característica suplementaria «**praecipitatio**» (precipitación) y la nube aneja «**pannus**» (jirones) que son evidentes, la nube principal tal vez podría ser un cumulonimbo a gran distancia, por su intenso color blanquecino al reflejar la luz solar, aunque sus bordes deberían ser más festoneados.



La cruz (Monasterio de Piedra). Carlos de Haes. Hacia 1872. Óleo sobre lienzo pegado a lienzo, 29 × 48 cm.



Recuerdos de Granada. Antonio Muñoz Degrain. 1881. Óleo sobre lienzo, 97 × 144,5 cm.

Otro destacado paisajista español es Muñoz Degrain. Su obra más emblemática, conocida también como «Chubasco en Granada» nos muestra una adaptación libre de un pintoresco rincón granadino en el Albaicín en torno al crecido río Darro, bajo una lluvia que parece amainar, aunque previamente, a tenor del agua que mana de los canalones y tejados, debió ser muy intensa. Se observan perfectamente los «**pannus**» o jirones de nubes bajas, por debajo de las nubes **Cumulonimbus**.

El tiempo afecta al ánimo de las personas sensibles, y en el caso de la lluvia, suele acompañarnos una sensación de melancolía. Algunos pintores son capaces de transmitir ese sentimiento magistralmente, como se aprecia en este óleo de Férriz, madrileño aficionado a la pintura y discípulo de Carlos de Haes, en la que vemos a varios paseantes que transitan por un camino encharcado tras la reciente lluvia, bajo un cielo de **altoestratos y estratos**.



Después del aguacero en Madrid. Cristóbal Férriz Sicilia. 1877. Óleo sobre lienzo, 63 × 106 cm.

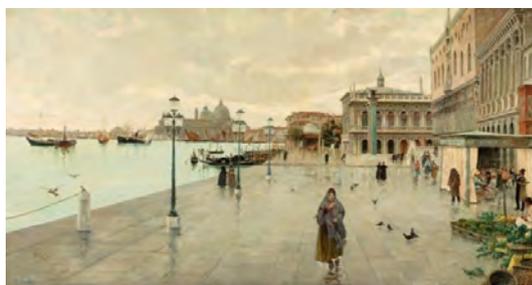
El barcelonés Modesto Teixidor nos muestra esta escena otoñal tras la lluvia, que no ha impedido el paseo de los viandantes, con el cielo cubierto de **nimboestratos**.



Plaza de Palacio (Barcelona). Modesto Teixidor Torres. Hacia 1887. Óleo sobre lienzo, 133 × 196 cm.



Un paisaje después de la lluvia (Loyola). Manuel Ramos Artal. 1886. Óleo sobre lienzo, 100 × 60 cm.



Riva degli Schiavoni. Hermenegildo Estevan y Fernando. Hacia 1888. Óleo sobre lienzo, 124 × 231 cm.

El paisajista aragonés Hermenegildo Estevan nos muestra una escena tras la lluvia en la romántica Venecia, bajo un cielo cubierto de **altoestratos**.

El nimboestrato es la nube de lluvia por antonomasia; el paisajista madrileño Manuel Ramos nos muestra un paisaje tras la lluvia, bajo un cielo de **estratos y nimboestratos**.



Recuerdo de Bretaña. Juan Espina y Capo. Hacia 1881. Óleo sobre lienzo, 95 × 183 cm.

Los chubascos primaverales o las tormentas veraniegas frecuentemente son de corta duración aunque de cierta intensidad. Una vez han cesado y los cielos se abren, la luminosidad, el color del paisaje y el olor a tierra mojada ayudan a mitigar nuestra sensación de melancolía. En esta obra de Juan Espina, un fuerte chubasco o tormenta ha dejado el suelo anegado y el sol ilumina los campos.



Guadarrama. Un patio en Miraflores. Jaime Morera y Galicia. 1901. Óleo sobre lienzo, 41 × 71 cm.

Son numerosas las obras del Museo del Prado con referencia a paisajes nevados, como ya hemos visto en el capítulo dedicado a la Pequeña Edad de Hielo. Entre las obras contemporáneas podemos destacar al paisajista Jaime Morera, cuyas obras representan con frecuencia paisajes nevados.



El derecho de asilo. Francisco Javier Amérigo y Aparici. 1892. Óleo sobre lienzo, 340 × 540 cm.

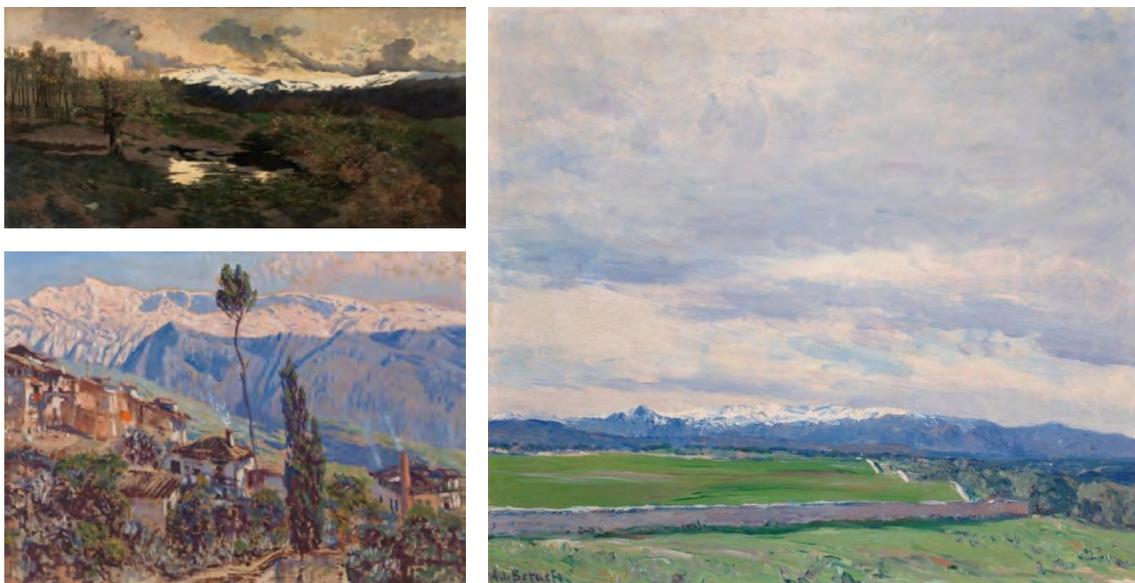
Esta obra del valenciano Francisco Javier Amérigo representa a un fugitivo solicitando derecho de asilo sagrado en un convento, algo habitual en la Edad Media, en presencia de su esposa e hijo y sus perseguidores.

En la imagen inferior, precioso dibujo a lápiz de Joaquín Araujo, que aprovecha el blanco del papel para representar la nieve caída.



Paisaje nevado. Joaquín Araujo y Ruano. Segunda mitad del s. XIX. Lápiz sobre papel agarbanzado, 85 × 235 mm.

Los paisajes con las cumbres nevadas constituyen un atractivo motivo para muchos artistas. Mostramos una selección de obras cuyo título es suficientemente descriptivo del lugar representado.



(arriba, izq.) *El pico de Peñalara (Rascafría)*. Juan Espina y Capo. 1897. Óleo sobre lienzo, 162 × 330 cm.
(abajo, izq.) *Vista de Granada y Sierra Nevada*. Antonio Muñoz Degraín. Hacia 1915. Óleo sobre lienzo, 50 × 67 cm.
(derecha) *La tapia del Pardo*. Aureliano de Beruete. 1911. Óleo sobre lienzo, 47,5 × 53,3 cm.

Además de los paisajes de parajes españoles, el museo del Prado dispone de paisajes de otros lugares europeos, donde aparecen cumbres montañosas nevadas o parajes nevados.



(arriba, izq.) *Montes Apeninos*. José Nogué y Massó. 1908. Óleo sobre lienzo, 110 × 196 cm.
(abajo, izq.) *Invierno en Múnich*. Enrique Martínez Cubells y Ruiz Diosayuda. 1901. Óleo sobre lienzo, 118 × 236 cm.
(derecha) *Invierno en Berlín*. Dery Bela. 1929. Óleo sobre lienzo, 66 × 54 cm.



Tristeza invernal. Mariano Barbasán Lagueruela. 1917. Óleo sobre lienzo, 64 × 98 cm.

Con la llegada de la primavera comienza el deshielo, y en ocasiones constituye un fenómeno adverso si se produce de forma súbita por precipitaciones intensas y una subida brusca de temperaturas.



La serpiente de metal. Antonio Van Dyck. 1618-1620. Óleo sobre lienzo, 207 × 234 cm.

En ocasiones, los violentos tornados y trombas marinas, como mínimos barométricos de pequeña dimensión, son capaces de succionar pequeños objetos o incluso pequeños animales (peces, ranas, sapos, etc.) durante su recorrido terrestre (incluyendo lagunas y ríos) o marítimo, que tras ascender y ser transportados en el seno de las corrientes ascendentes del cumulonimbo, acaban precipitando sobre zonas alejadas de su origen. Este hecho excepcional aparece recogido a lo largo de la historia en diferentes crónicas, y se interpretaba como un regalo o castigo de los dioses según el objeto o ser que precipitaba. En esta obra de Van Dyck podemos apreciar una **lluvia de serpientes**, que simboliza la plaga divina sobre el pueblo de Israel.



Episodio de la inundación de Murcia. Antonio Muñoz Degraín. 1892. Óleo sobre lienzo, 102 × 165 cm.

Las lluvias torrenciales en el área de Levante dan lugar a numerosos episodios de inundaciones y a través de los cuadros podemos seguir el relato del clima pasado. Antonio Muñoz Degraín representa una trágica escena, con una madre y una hija refugiadas en el tejado de una vivienda por la gran crecida del río, al igual que las ratas, mientras un hombre y su perro en actitud heroica se disponen a lanzarse a las turbulentas aguas para rescatar a una madre y su bebé. Se titula «Episodio de la inundación de Murcia» y está fechado en 1892, por tanto probablemente se refiera al trágico desbordamiento del río Segura el 14 de octubre de 1879, donde perecieron 179 personas.

VII. Brumas y nieblas

publicado en el blog de AEMET el 22 de abril de 2019

La niebla es un hidrometeoro que se produce en niveles muy bajos de la atmósfera, en contacto con la superficie terrestre o a muy poca distancia de ella, y consiste en la suspensión de una gran concentración de minúsculas gotitas de agua de tal manera que la visibilidad se ve reducida, por definición, a una distancia inferior a 1 km. Si la visibilidad es reducida pero superior a 1 km se considera como bruma o neblina, siempre y cuando se deba a la presencia de gotitas de agua.

En cuanto a su formación, es fundamental la existencia de abundante vapor de agua y un mecanismo de enfriamiento hasta alcanzar la saturación. Existen distintos tipos de niebla en cuanto a su origen (radiación, advección, evaporación, etc.), y en cuanto a su extensión, pueden ocupar amplias zonas, pero también existen nieblas localizadas debido a la orografía, como valles o ríos, o nieblas fragmentadas en bancos. Cuando las nieblas se disipan, suelen originar transitoriamente nubosidad de tipo estrato hasta desaparecer completamente.

La reducción de la visibilidad impide apreciar el paisaje, por ello es un tema poco atractivo para los paisajistas. Sin embargo, en el museo del Prado existen algunos cuadros en los que se representan nieblas y brumas. En esta vista de Venecia (arriba) desde el *Ponte del Formager*, obra del paisajista sevillano Sánchez Perrier, se aprecia cómo la niebla reduce notablemente la visibilidad.

En la obra del madrileño (abajo, izquierda) Vicente Palmaroli «El martirio de santa Cristina» podemos observar la **niebla de vapor**, aunque la escena corresponda a un hecho religioso, el martirio de santa Cristina de Bolsena. Según la tradición cristiana, la niña mártir, hija de un magistrado romano, se convirtió al cristianismo, y su padre ordenó numerosas torturas de las que salió indemne, hasta que finalmente fue asesinada a flechazos. La escena recoge una de las torturas y aparece atada a una rueda de molino, que tras ser arrojada al lago de Bolsena (Toscana) permanece a flote. Otros ejemplos de visibilidad reducida por **nieblas** y **neblinas** en El Prado se aprecian en paisajes y marinas (abajo, derecha).



Vista de Venecia. Emilio Sánchez Perrier. 1885. Óleo sobre tabla, 35,5 × 22,5 cm.



(izquierda) *El martirio de santa Cristina*. Vicente Palmaroli y González. 1895. Óleo sobre lienzo, 181,5 × 301 cm.
(derecha) *Una marina con navíos*. Anónimo. Siglo XVII. Óleo sobre lienzo, 104 × 144 cm.



Las nieblas al disiparse suelen fragmentarse, dando lugar a *stratus fractus*, como se observa en este paisaje.



Paisaje del Pardo al disiparse la niebla.
Antonio Muñoz Degrain. 1866.
Óleo sobre lienzo, 200 × 300 cm.

La **bruma** o **neblina** reduce notablemente la visibilidad, aunque no tanto como la niebla. En el ámbito aeronáutico se cifra bruma cuando la visibilidad se encuentra entre 1 y 5 km. Las gotitas que la forman pueden proceder de los propios rociones del fuerte oleaje. En este paisaje de la costa de Normandía, cuyo autor es Carlos de Haes, podemos apreciar la bruma costera y la reducción de visibilidad que produce.



Brumas (Villerville). Carlos de Haes. 1877-1884.
Óleo sobre lienzo sobre cartón, 23,5 × 41 cm.

Aunque los términos **bruma** y **neblina** se refieren al mismo fenómeno de reducción de la visibilidad por gotitas de agua, en general se utiliza el término **bruma** en la costa y **neblina** en ámbitos terrestres. En el léxico marino, para evitar confusiones entre niebla y bruma, se omite este meteoro y se indica simplemente la visibilidad (buena, regular o mala). En este paisaje, la **neblina** difumina las montañas lejanas.



Manada de toros junto a un río, al pie de un castillo.
Genaro Pérez Villaamil y Dughet. 1837.
Óleo sobre lienzo, 91 × 115 cm.

VIII. Litometeoros

publicado en el blog de AEMET el 23 de abril de 2019

Los litometeoros se caracterizan por ser partículas en su mayoría sólidas (no acuosas) suspendidas en la atmósfera o levantadas por el viento, y que reducen la visibilidad. Pueden estar formados por partículas de polvo en suspensión (genéricamente denominado calima), granos de arena o humo. Cuando el material es levantado transitoriamente a gran escala por fuertes corrientes convectivas y desplazados a cortas distancias por el viento se denominan tormentas (de polvo o arena), reservándose el término tolvanera para movimientos rotatorios de pequeña escala que levantan polvo o arena, en situaciones de fuerte caldeo del suelo.



Paisaje con ruinas. Ignacio Iriarte.
Siglo XVII. Óleo sobre lienzo, 97 × 101 cm.

En España (excepto el archipiélago canario) y en la Europa Occidental son mucho más frecuentes las nieblas o neblinas que las calimas, no existiendo tormentas de arena porque no existen desiertos extensos. Sin embargo, el fino polvo levantado por el viento a grandes alturas puede recorrer grandes distancias, alejándose del continente africano, por lo que no es extraño que afecte a los países del sur de Europa. Incluso se han constatado que el polvo en suspensión procedente del continente africano puede arribar a las costas americanas. Además, influye en la calidad del aire, al tratarse de material particulado microscópico que afecta y puede dañar las vías respiratorias (PM_{10} o $PM_{2,5}$).

En la pinacoteca del Museo del Prado existen algunas referencias a los **litometeoros**, básicamente por su plasticidad, ya que al atardecer o al amanecer, cuando en la atmósfera existen pequeñas partículas sólidas, predomina la dispersión de Mie y la luz rojiza o amarillenta es dispersada intensamente.



Bautizo del eunuco de la reina Candace.
Jan Both. 1639-1641. Óleo sobre lienzo,
212 × 155 cm.

En la obra «Paisaje con ruinas» del guipuzcoano Ignacio Iriarte, que desarrolló su carrera pictórica en Sevilla, vemos un paisaje con ruinas clásicas con un cielo anaranjado, quizás debido a la presencia de **calima**.

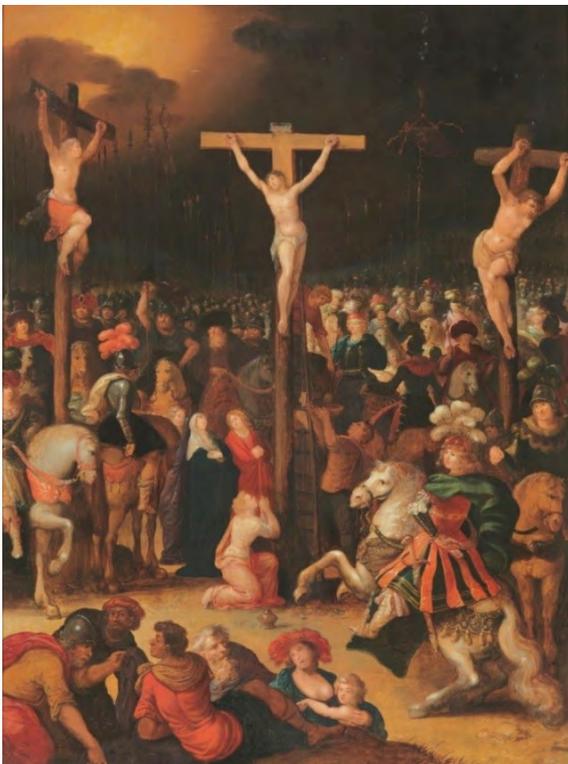
Otro ejemplo de **calima** se aprecia en la obra «Bautizo del eunuco de la reina Candace» de Jan Both. La escena transcurre en Etiopía y representa el bautismo del eunuco esclavo de la reina Candace por el apóstol san Felipe. La luz y las nubes toman un matiz amarillento, y la visibilidad parece reducida ya que las montañas al fondo aparecen difuminadas.

Durante el crepúsculo, con cielos despejados, en ocasiones se observa un resplandor púrpura cuando el sol ya se encuentra bajo el horizonte. En ocasiones muy singulares, aparece intensificado por la presencia de finas partículas de polvo de origen volcánico o nubes polares estratosféricas. Un color púrpura semejante se aprecia en este paisaje del sevillano Manuel Barrón.



Paisaje fluvial con figuras. Manuel Barrón y Carrillo. 1850. Óleo sobre lienzo, 79,5 × 141 cm.

El cielo toma coloraciones anaranjadas también cuando existen partículas de cenizas procedentes de incendios o erupciones volcánicas. En este Calvario del pintor flamenco Caulery, las densas nubes negras que provocan el oscurecimiento (tinieblas) referido en la Biblia, podría ser debido al humo de un incendio, mientras que el resplandor anaranjado sería producido por finísimas partículas de ceniza de incendio. Otra posible explicación podría ser la presencia de densas nubes de cenizas volcánicas y fino polvo de cenizas, fruto de una erupción volcánica, esta posibilidad sería compatible con la explicación sobre el temblor de tierra y la fractura del velo del templo que recoge el testimonio de los apóstoles del Nuevo Testamento, ya que las erupciones volcánicas pueden ir acompañadas de pequeños seísmos.



La Crucifixión. Louis de Caulery. Siglo XVII. Óleo sobre tabla, 75 × 56 cm.

Mateo 27.45: «Y desde la hora sexta hubo tinieblas sobre toda la tierra hasta la hora novena.»

Mateo 27.51: «Y he aquí, el velo del templo se rasgó en dos, de arriba abajo; y la tierra tembló y las rocas se partieron.»

Marcos 15.33: «Y cuando vino la hora sexta, hubo tinieblas sobre toda la tierra hasta la hora novena.»

Lucas 23.44: «Y cuando era como la hora sexta cuando, hubo tinieblas sobre toda la tierra hasta la hora novena.»

Lucas 23.45: «Y el sol se oscureció, y el velo del templo se rasgó por en medio.»

IX. Otros fotometeoros

publicado en el blog de AEMET en tres partes:

☞ parte 1: el 24 de abril de 2019

☞ parte 2: el 24 de octubre de 2019

☞ parte 3: el 26 de abril de 2019

Uno de los primeros capítulos de esta serie de artículos dedicados a la meteorología en el Museo del Prado, se dedica en exclusiva a analizar las obras pictóricas que incluyen el arcoíris, quizás el fotometeoro visualmente más espectacular. Sin embargo, esta extraordinaria pinacoteca incluye otras obras con fotometeoros, como los rayos crepusculares o simplemente bellas estampas de atardeceres, donde la luz tiñe de color los cielos y las nubes.



Castillo de Alcalá de Guadaíra. David Roberts.
Hacia 1833. Óleo sobre tabla.

Los **rayos crepusculares** se definen como el conjunto de bandas azuladas oscuras alternando con haces de rayos solares, como resultado de las sombras que proyectan las nubes próximas al horizonte durante el amanecer o el atardecer, aunque su uso se ha generalizado y se considera cualquier momento del día. Incluso popularmente se designan rayos crepusculares a cualquier haz de rayos que se distingue al atravesar los pequeños huecos de las nubes, aunque obviamente difiere del término técnico.

Las sombras se dirigen hacia arriba, ya que el sol está muy bajo en el horizonte y por debajo de la nube o accidente geográfico que las origina, como podemos apreciar en esta obra de David Roberts (arriba).

La dispersión selectiva de la radiación solar de acuerdo a su longitud de onda (dispersión de Rayleigh) al atravesar la gran capa atmosférica, debido a la inclinación de los rayos solares en los atardeceres y amaneceres, da lugar a espectaculares coloraciones del cielo y de las nubes, conocidas como «candilazos». Según esta teoría los colores azules son muy dispersados y la luz resultante que ilumina el cielo y las nubes adquiere tonalidades rosáceas, anaranjadas o amarillentas.



Venus vendando los ojos a Cupido. Anónimo (copia de Tiziano).
Siglo XVI. Óleo sobre lienzo, 121 × 185 cm.

En esta copia de Tiziano (a la derecha), de autor anónimo, se aprecia un espectacular candilazo.

Los grandes paisajistas del siglo XIX acostumbraban a pintar atardeceres de gran belleza y colorido, como vemos en las siguientes obras.



(arriba, izq.) *La oración. Costumbres de la provincia de Salamanca*. Francisco Aznar y García. Hacia 1866. Óleo sobre lienzo, 95 × 137 cm.

(arriba, der.) *Recuerdos del Escorial de Abajo*. Luis Ponzano y Mur. 1864. Óleo sobre lienzo, 47 × 78 cm.

(abajo, izq.) *El autor y su hijo*. Carlos Verger Fioretti. 1912. Óleo sobre lienzo, 108 × 128,5 cm.

(abajo, der.) *La hija del Faraón sacando del Nilo a Moisés*. José María Avrial y Flores. 1862. Óleo sobre lienzo, 70 × 96 cm.

Son numerosas las obras del museo del Prado que representan amaneceres y atardeceres donde las nubes adquieren matices rosáceos, anaranjados o amarillentos, como resultado de la dispersión selectiva de la luz solar, algunas de ellas ya han sido analizadas en anteriores capítulos. En realidad estas coloraciones de las nubes no se consideran como **fotometeoros** en general, salvo la luz crepuscular como fulguración luminosa en el ocaso, sin presencia de nubes.



San Juan Bautista. Fray Juan Bautista Maíno. Antes de 1613. Óleo, 19,3 × 14,4 cm.



La huida a Egipto. El Greco. Hacia 1570.
Óleo sobre tabla de madera de pino, 15,9 × 21,6 cm.

Destacamos esta obra de El Greco, realizada en 1570, por tanto de su etapa italiana antes de establecerse en Toledo. Las nubes, aunque de aspecto cumuliforme, tienen mayor dimensión horizontal que vertical. Aunque se trata de una escena bíblica, «La Huida a Egipto», que otros autores representan como un tranquilo viaje, la escena mostrada por El Greco es inquietante, ya que José intenta tirar del terco rucio que se rebela, mientras María parece impasible y sujeta ligeramente al Niño, este mira con temor el suelo e intenta aferrarse a su madre, anticipándose a una posible caída. La sombra alargada de José nos indica que se trata de un atardecer, y que la nubosidad anaranjada se encuentra en el punto antisolar.

Es curioso observar que dentro de la iconografía del episodio bíblico, “*noli me tangere*”, que incluye la pala o el rastrillo de hortelano o jardinero y el sudario a modo de túnica para representar a Cristo, algunos autores muestran el orto o salida del Sol.

En este episodio se representa la Resurrección de Cristo, en el momento en que María Magdalena, que acudió al sepulcro en la mañana, se acerca y se postra de rodillas ante él en actitud de tocarle (de ahí las palabras de Cristo «no me toques», «*noli me tangere*» en latín), referidas en el Nuevo Testamento:

En este episodio se representa la Resurrección de Cristo, en el momento en que María Magdalena, que acudió al sepulcro en la mañana, se acerca y se postra de rodillas ante él en actitud de tocarle (de ahí las palabras de Cristo «no me toques», «*noli me tangere*» en latín), referidas en el Nuevo Testamento:

Juan 20:17: «Jesús le dijo: No me toques, porque aún no he subido a mi Padre...»

En la obra del italiano Giulio Romano el cielo toma un espectacular tono violáceo, mientras que en la obra del español Jerónimo Vallejo toma un ligero matiz amarillento.



(izquierda) *Noli me tangere.* Giulio Romano. Primera mitad del siglo XVI. Óleo sobre tabla, 220 × 160 cm.
(derecha) *Noli me tangere.* Jerónimo Vicente Vallejo Cósida. Hacia 1570. Óleo sobre tabla, 61 × 47 cm.

Aunque el sol haya desaparecido bajo el horizonte, todavía puede iluminar puntos terrestres elevados como las cumbres montañosas, que toman un color rosáceo. Este fenómeno es frecuente en los Alpes, por lo que este fotometeor se denomina «**resplendor alpino**».

Un efecto similar (aunque estrictamente no se puede considerar como resplendor alpino) se observa en algunas escenas populares, donde los campanarios de las iglesias tienen una característica tonalidad rosácea.



Huérfanos o Pastorcitos. Ángel Andrade y Blázquez. 1906. Óleo sobre lienzo, 205 × 330 cm.



Procesión en una iglesia. Efecto de luna. Joaquín Sigüenza y Chavarrieta. Hacia 1864. Óleo sobre lienzo, 73 × 58 cm.

La luna llena también ilumina las nubes, en este caso (imagen de la izquierda) la luz es blanca, como se observa en los *altocumulus* blanquecinos de esta obra del conquense Joaquín Sigüenza.

Los paisajes nocturnos iluminados por la nítida luz de la luna llena son motivo de inspiración para algunos artistas.

En la marina (abajo, a la izquierda) del alemán Louis Douzette la luna llena aparece velada por una capa de *cirrostratus* o de *cirrocumulus*. También se observan nubes bajas desgarradas (*stratus fractus*).

En la obra de Snayers (abajo, a la derecha), la luna llena asoma por un hueco en la extensa capa de *altocumulus* y *altostratus*.



Marina. Louis Douzette. Hacia 1870. Óleo sobre cartulina, 57 × 75 cm.



Ataque nocturno a Lille. Peter Snayers. 1650. Óleo sobre lienzo, 181 × 267 cm.

X. El viento

publicado en el blog de AEMET el 27 de abril de 2019

En este último capítulo sobre la meteorología en el Museo del Prado, nos centraremos en el viento, variable meteorológica que algunos autores han sido capaces de representar, obviamente por sus efectos indirectos. El viento es la fuerza motriz del oleaje, tanto en la mar de fondo que se genera a cientos de kilómetros del lugar donde se observa, como en la mar de viento que se genera casi instantáneamente con los vientos súbitos o repentinos en un determinado lugar, como ocurre en el caso de las galernas del Cantábrico.

El museo del Prado atesora numerosas obras con escenas donde la mar es protagonista: marinas, naufragios o combates navales. Algunos de ellos ya han sido analizados en anteriores capítulos, a continuación mostraremos algunos más.

Los temporales marítimos se han cobrado muchas vidas de tripulantes y pasajeros de buques mercantes, de la Armada y de pesqueros. A través de esta selección de cuadros del museo podemos reproducir escenas trágicas de nuestra historia, en una narración que se inicia con los expertos marinos que se enfrentan a un fuerte temporal, incapaces de vencer a la fuerza del oleaje, encallan en las abruptas costas. Algunos naufragos consiguen llegar a la costa, pero aún queda la penosa tarea de visitar a las familias de los desaparecidos y dar sepultura a los fallecidos.



(arriba, izq.) *Marina*. Edwin Hayes. 1876. Óleo sobre lienzo, 92 × 153 cm.

(arriba, der.) *¡Todo a babor!* Ventura Álvarez Sala. 1897. Óleo sobre lienzo, 230 × 280 cm.

(abajo, izq.) *La última ola*. Emilio Ocón y Rivas. 1893. Óleo sobre lienzo, 250 × 224 cm.

(abajo, der.) *La última borrasca*. Heliodoro Guillén Pedemonti. 1892. Óleo sobre lienzo, 130 × 210 cm.



El huracán. Gaspar Dughet. Hacia 1667.
Óleo sobre lienzo, 74 × 98 cm.

Esta obra del italiano Gaspar Dughet se titula «El huracán». En la parte de la izquierda se ve a un campesino que avanza con dificultad por el sendero, quizás por la intensidad del viento, que se aprecia de forma más notable por la aparente agitación de las ramas de los árboles de la colina, donde además parece que arrecia la lluvia. A la derecha, aparece un árbol con el tronco fracturado y la copa en el suelo. Según la escala de viento Beaufort, previamente se podrían haber producido vientos huracanados de unos 120 km/h (capaces de arrancar grandes ramas de árboles).

Vientos aparentemente más débiles se intuyen en la obra «Bosque» del pintor flamenco Simón Vlieger, donde parecen agitarse vigorosamente las ramas de los árboles. Las tormentas también son capaces de originar fuertes vientos, en la obra «Paisaje con ganado» del francés Louthembourg; parece que el pastor se sujeta el sombrero para que no vuele y el grupo lo cierra el perro con el rabo entre las piernas, quizás asustado por los truenos.



(izquierda) *Bosque.* Simón de Vlieger. 1640-1645. Óleo sobre tabla, 61 × 61 cm.



(derecha) *Paisaje con ganado.* Jacques Philip de Louthembourg. Segunda mitad del s. XVIII – Principio del s. XIX.
Óleo sobre lienzo, 36 × 46 cm.

Para finalizar mostramos el oscuro sarcasmo de Goya en este dibujo, un aguafuerte de la serie «Los Caprichos». En él se muestra a dos prostitutas, una de ellas, a causa del viento muestra sus piernas hasta las rodillas. En la moralista España de aquella época el título lo dice todo: «Mala noche», en alusión a la escasez de clientes por el tiempo.



Mala noche. Francisco de Goya y Lucientes. 1797-1799.
Aguafuerte, Aguatinta bruñida sobre papel verjurado, ahuesado, 306 × 201 mm.

Agradecimientos

A Rubén del Campo Hernández, por la revisión de los textos y asesoramiento específico.

Referencias

Tanto las imágenes como los pies correspondientes contienen hipervínculos a los cuadros de la colección del museo del Prado. Se recomienda su acceso para poder apreciar la obra en toda su dimensión y visualizar todos los detalles.

La mayoría de las obras referenciadas de la colección del museo del Prado aparecen profusamente comentadas, incluyendo bibliografía y datos técnicos sobre la obra y el autor. Esta información se ha aprovechado parcialmente para realizar los comentarios específicos. <https://www.museodelprado.es/coleccion/>.

Se recomienda consultar las entradas de este artículo en el blog para obtener la relación completa de referencias y bibliografía utilizadas.

¿A QUÉ NOS REFERIMOS CUANDO HABLAMOS DE LA TEMPERATURA GLOBAL?

Asunción Pastor Saavedra, Delia Gutiérrez Rubio
y Rubén del Campo Hernández
AEMET

(publicado en el blog
de AEMET el 30 de
mayo de 2019)

Quién no ha oído hablar del calentamiento global o del cambio climático, tal vez incluso le ha entrado vértigo al ver las gráficas que nos muestran el pronunciado aumento de la temperatura del planeta. Como apunta la Organización Meteorológica Mundial (OMM), de los 17 años más cálidos desde 1880, 16 se sitúan en el siglo XXI, habiéndose encadenado cuatro años de temperaturas récord. En esto consiste el calentamiento global. Vamos a tratar de mostrar qué entendemos por temperatura global y cómo se estima a partir de las observaciones disponibles, en la actualidad, en los últimos 100-150 años, y en épocas más lejanas, paleoclimáticas. Hay que subrayar que la comprensión de los cambios climáticos del pasado es esencial para la previsión de los climas del futuro.

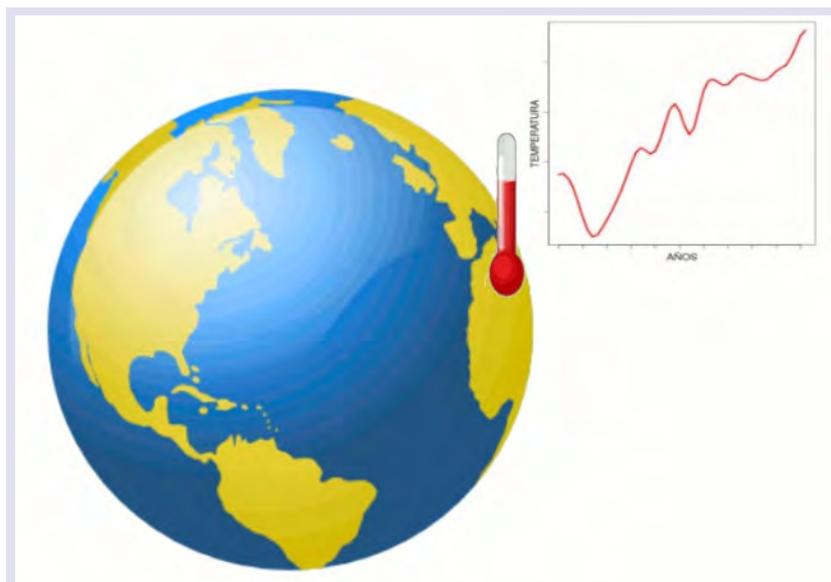


Ilustración del concepto «calentamiento global» por nuestra compañera P. Ramos, en el MeteoGlosario Visual de AEMET.

La temperatura global

En primer lugar, vamos a centrarnos en el concepto, esto es, si tiene sentido hablar de la temperatura a escala planetaria o global. Nuestra fuente básica de información ha sido <http://www.climat-en-questions.fr/reponse/evolution-actuelle/temperature-globale-par-alexis-hannart>. Alexis Hannart es un investigador del Instituto Franco-Argentino de Estudios del Clima y de sus Impactos (IFAECI), un laboratorio internacional del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNRS, de sus siglas en francés) con sede en Buenos Aires. Su principal tema de investigación se refiere a la detección y atribución del cambio climático, cuya finalidad es poner en evidencia los lazos de causalidad eventuales entre las respuestas climáticas observadas (tendencias a largo plazo o eventos puntuales) y los forzamientos externos (naturales o antropogénicos), para lo cual desarrolla una serie de métodos estadísticos.

Somos conscientes de la gran variedad de climas existentes en la Tierra. Así, hay una media de -20°C en Groenlandia, $+25^{\circ}\text{C}$ en el Sahara y $+10^{\circ}\text{C}$ en nuestras latitudes. Cuando se calcula una media de todos estos valores locales de la temperatura en todos los puntos del globo, se obtiene un valor global de 14° . Llegados aquí, no resulta extraño preguntarse acerca del sentido y de la pertinencia de este valor. En efecto, contrariamente a la temperatura que hace en la habitación en la que os encontráis en este instante, que se define de forma precisa en términos físicos, la temperatura global no corresponde a una realidad inmediata, local y perceptible, en la medida en que se trata de una media, es decir, de una magnitud estadística y no física, o sea, de un índice que agrega muchas informaciones diferentes. **Por tanto, en sentido estricto, es un abuso del lenguaje hablar de temperatura global de la Tierra, puesto que ningún termómetro la mide.** En rigor, se debería hablar del *índice de temperatura global*. Sin embargo, a pesar de este ligero abuso de lenguaje, la temperatura global tiene claramente un sentido y una utilidad, como vamos a tratar de mostrar.

En climatología, el uso de tales índices de media es sistemático y universal. De hecho, la noción de clima en un lugar dado del globo viene definida como la media en el transcurso del tiempo de numerosas situaciones meteorológicas, a veces con gran contraste, que se suceden en este lugar. **El clima es, por tanto, intrínsecamente una noción estadística y por consiguiente, clima y media son inseparables.** Por tanto, afirmar que calcular las medias de las temperaturas no tiene ningún sentido sería lo mismo que afirmar que la noción de clima carece de sentido. Sin embargo, las nociones de media y de clima tienen un sentido y una utilidad que es bastante fácil de percibir intuitivamente. Desde un punto de vista práctico, en primer lugar, cuando se afirma que, por ejemplo, el clima de Asturias es más húmedo que el clima mediterráneo, todo el mundo comprende bien que se habla de una situación media, y que ocasionalmente, en Asturias puede haber más sequedad que en Murcia, y que esta media tiene un sentido general que resulta fácil de conectar con una realidad vivida. Desde un punto de vista más científico, los valores medios pueden también dar lugar a una interpretación física. Así, **la temperatura global de la Tierra es la temperatura de equilibrio radiativo.** Existe una ley física denominada ley de Stefan-Boltzmann que establece una relación matemática entre la temperatura y la cantidad de energía emitida por radiación. Aplicando esta ley, podemos dar a la temperatura global de 14°C una interpretación en términos de balance radiativo y, por extensión, tener una idea de la

modificación de esta temperatura (el *calentamiento climático*) cuando el balance radiativo es perturbado por la actividad humana (las emisiones de gases de efecto invernadero). Este tipo de interpretaciones no se limitan a nuestro planeta sino que son también aplicables a otros planetas del sistema solar, incluso a otros cuerpos celestes. A efectos de comparación: los astrónomos calculan usualmente temperaturas globales para toda clase de objetos, en ocasiones bastante más pesados que la Tierra, a partir de la energía radiada. La temperatura global media de la superficie del Sol así obtenida es de 5500 °C, la de Marte de -60 °C, y la de Venus de 460 °C: estos valores son índices globales promediados de temperatura tras los cuales pueden existir variaciones locales importantes, pero que sin embargo, nos permiten caracterizar el clima que reina en estos planetas. Finalmente, volviendo a la Tierra, **la temperatura global no es más que un indicador descriptivo entre otros muchos que, tomado aisladamente, resulta completamente insuficiente, pero esto no impide que tenga un sentido y una pertinencia.**

Independientemente de la cuestión del sentido y de la pertinencia de la temperatura global, resulta legítimo preguntarse si esta cifra puede en la práctica calcularse con un nivel de fiabilidad correcto. La respuesta a esta cuestión es positiva. Sin que ello signifique que este cálculo sea sencillo, tanto desde el punto de vista técnico como conceptual. De hecho, cuando se aborda el problema de la determinación de este valor, uno se enfrenta a múltiples dificultades. **En efecto, las lecturas de temperatura que deben agregarse en una media global proceden de diferentes fuentes.** En los continentes, se trata de datos procedentes de varios millones de estaciones meteorológicas operadas por los servicios meteorológicos nacionales. Estos servicios utilizan con frecuencia instrumentos y procedimientos de recogida que difieren de un país a otro y que han evolucionado en el transcurso del tiempo. De manera similar, la densidad espacial de las redes de estaciones difiere de una zona a otra y también ha evolucionado en el transcurso del tiempo. Paralelamente, las lecturas de la temperatura de la superficie del mar se obtienen a partir de instrumentos de medida embarcados en boyas, sobre barcos científicos o comerciales y, desde los años 80, también en satélites meteorológicos. En este último caso, la temperatura de la superficie se mide indirectamente, a partir de la radiación terrestre emitida, que es registrada por los sensores del satélite, los cuales pueden variar de una generación de satélites a otra.

En consecuencia, se percibe bien que la dificultad principal de cálculo de la temperatura media global reside en la agregación de numerosos datos, de orígenes múltiples y cambiantes. Para resolver esta dificultad, se utilizan en ocasiones complejos procedimientos estadísticos. Nos podemos preguntar, por tanto, acerca de la fiabilidad de estos procedimientos. ¿Pueden afectar de una forma sustancial a la evaluación hecha de la temperatura global, y por tanto, del *calentamiento climático*? Para responder a estas interrogaciones legítimas, es importante subrayar que estos procedimientos se apoyan en un cuadro conceptual probado, que ha sido ideado por matemáticos hace más de un siglo, precisamente con el fin de poder **cuantificar la incertidumbre** introducida en un cálculo complejo de este tipo, realizado a partir de observaciones diversas y que adolecen de errores. Este marco conceptual es el de la estadística, y se funda en la **teoría de las probabilidades**. La utilización de este marco permite en esencia obtener no solamente una cifra, sino también un margen de error —a menudo denominado **intervalo de confianza**— que proporciona una indicación del **nivel de fiabilidad** del resultado. En particular, el problema consistente en agregar un gran número de datos heterogéneos en una media o una suma

global ya ha sido ampliamente tratado porque se presenta de forma similar en múltiples ramas de la ciencia. En economía, por ejemplo, el cálculo del PIB de un país y de su crecimiento, indicadores cumulativos fáciles de comprender y universalmente utilizados, es sin embargo de una complejidad y tecnicismo elevado. Notemos por otra parte, que los márgenes de error del PIB y el crecimiento se comunican muy poco, en comparación con otras ciencias —entre las que se encuentran las del clima— en las que la comunicación de los **barras de error** está mucho más extendida. A pesar de su importancia en economía, raras son las personas que se alarman por su ausencia en este dominio.

Pues bien, aunque es difícil de obtener una estimación precisa del valor absoluto de la temperatura media global, sus variaciones en el transcurso de las últimas décadas pueden en cambio ser estimadas con una buena precisión. **Así, la temperatura media absoluta en el periodo 1961-1990 se estima que sea 14 °C, con un margen de error de $\pm 0,5$ °C pero la estimación de la diferencia entre la temperatura media en 2010 y la de este periodo de referencia se eleva a +0,53 °C con un margen de error de $\pm 0,09$ °C. El margen de error de la segunda es inferior en un factor de cinco con respecto a la primera, y es suficientemente débil para poder afirmar que el planeta se ha calentado en este periodo. Por otra parte, un cambio de muy pocos grados en la temperatura media global del planeta tiene un gran impacto en el medio.**

Para terminar y a modo de resumen, **el cálculo de la temperatura media y de sus variaciones así como la cuantificación de la incertidumbre asociada es, por tanto, un problema complejo, pero se encuentran disponibles procedimientos rigurosos para tratarla, permitiendo controlar la fiabilidad del resultado.**

Observaciones modernas

Antes de abordar la forma de cálculo, nos detendremos en los diferentes **tipos de observaciones** que, *grosso modo*, podríamos clasificar en: datos de estaciones en tierra, datos de satélite y datos de indicadores paleoclimáticos (o *proxies*).

Los estudiosos del clima utilizan cualquier medida disponible, ya sea directa o indirecta, para estudiar la historia del clima de la Tierra, desde las últimas observaciones procedentes de satélite y de estaciones de superficie, hasta las muestras de hielo prehistórico extraídas de los glaciares. En conjunto, estos datos ofrecen una visión global de la variabilidad y de los cambios a largo plazo de la atmósfera, del océano, de la criosfera y de la superficie de las tierras emergidas.

Cuando se centran en los cambios que han tenido lugar en los últimos 100-150 años, utilizan las observaciones hechas con los instrumentos científicos modernos. Aunque el termómetro de mercurio y el barómetro se inventaron en el siglo XVII, estos y otros instrumentos modernos no se utilizaron de manera generalizada en las observaciones meteorológicas hasta mucho más tarde.

En consecuencia, antes de la puesta en marcha de los satélites, los meteorólogos dependían de las observaciones en superficie, en tierra y también mar, gracias a los barcos y boyas. La información aérea se limitaba a datos atmosféricos procedentes de radiosondas a bordo de globos, cometas y aeronaves. La llegada de los satélites supuso la entrada de



Primera imagen del satélite Meteosat-1 de EUMETSAT, del 9 de diciembre de 1977.

Fuente: https://m.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/Cuarenta_años_de_Meteosat

una gran cantidad de información que, en combinación con los nuevos modelos informáticos, permitieron ofrecer análisis mejores y, en consecuencia, también pronósticos más fiables para periodos de tiempo más largos. El primer satélite de observación de la Tierra de la Agencia Espacial Europea (ESA, de sus siglas en inglés) fue lanzado el 23 de noviembre de 1977. Cuando llegó a su destino, Meteosat-1 completó la cobertura total del planeta desde una órbita geostacionaria, sentando las bases para la cooperación meteorológica a nivel europeo y mundial, que continúa hoy en día.

Al ser capaces de ver la totalidad del planeta, los meteorólogos pueden observar el desarrollo de los sistemas meteorológicos y calcular la velocidad y la dirección

de los vientos en función de los movimientos de las nubes. A pesar de que los primeros satélites meteorológicos no tenían como objetivo medir el cambio climático, las imágenes satelitales han aportado mucha información de los cambios en la cubierta terrestre o el hielo polar, así como datos de temperatura de la superficie del mar.

Los satélites no miden directamente la temperatura. Van provistos de sensores (radiómetros) que miden la energía radiante procedente de diversas fuentes emisoras que ha sufrido una serie de procesos en el sistema tierra-atmósfera. Las principales fuentes de emisión son la superficie de la Tierra, la atmósfera, las nubes y las zonas acuosas (mares, océanos, lagos, ríos, etc.). Los datos de satélites cubren prácticamente todo el globo terráqueo con una buena precisión.

Registros paleoclimáticos

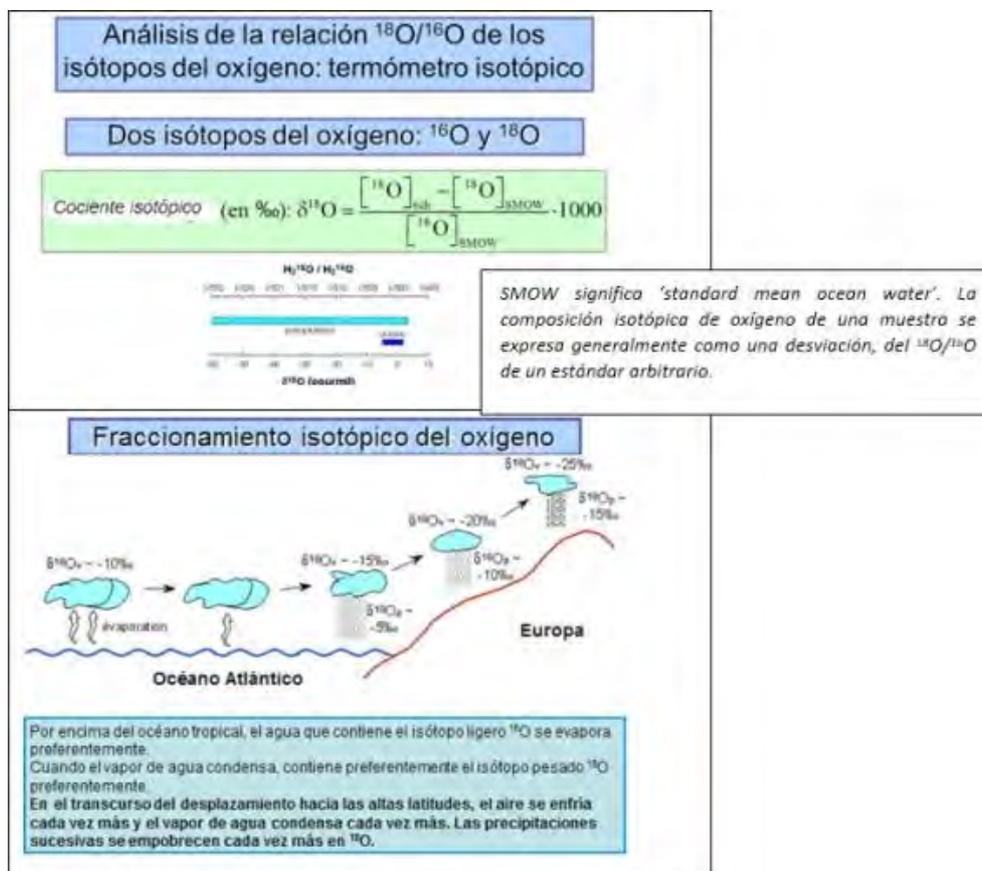
Cuando los investigadores se centran en el clima del periodo anterior a los últimos 100-150 años, utilizan registros procedentes de materiales físicos, químicos y biológicos preservados en el interior del registro geológico. Estos *indicadores paleoclimáticos* son registros locales cuya interpretación, basada en principios físicos y biofísicos, permite representar un conjunto de variaciones relacionadas con el clima en tiempos pasados. Algunos ejemplos de indicadores paleoclimáticos (o *proxies*) son: el análisis del polen, el estudio del crecimiento de los anillos de los árboles, las características de los corales o ciertos datos obtenidos a partir de sedimentos marinos y testigos de hielo.

Tomados en conjunto, estos indicadores extienden nuestro conocimiento del clima pasado a cientos de millones de años atrás (véase <https://climate.nasa.gov/faq/34/what-kinds-of-data-do-scientists-use-to-study-climate/>). Los registros globales fiables del clima solo se iniciaron en la década de 1880, y estos *paleoindicadores* constituyen el único medio

científico para determinar los patrones climáticos antes de que comenzara el mantenimiento de registros directos por el ser humano.

Un «proxy» o paleoindicador es, por ejemplo, la proporción de distintos isótopos de oxígeno:

- Las masas de aire que se mueven de los trópicos a las latitudes altas tienen una proporción menor de ^{18}O respecto a ^{16}O ya que la condensación elimina el ^{18}O en primer lugar y el vapor de agua queda enriquecido en ^{16}O .
- La proporción de ^{18}O respecto de ^{16}O depende de la temperatura de la siguiente forma: conforme el clima es más cálido, los organismos en el océano que utilizan oxígeno en la secreción de sus esqueletos (p.ej., CaCO_3) secretan más ^{18}O porque el ^{16}O , más ligero, se ha evaporado.



Se ha comprobado que las variaciones de la relación de oxígeno $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ en las conchas de foraminíferos concuerdan razonablemente con las variaciones previstas de insolación inducidas por los cambios cíclicos de los parámetros orbitales de la Tierra y con las consiguientes fluctuaciones climáticas pronosticadas por la teoría de Milankovitch. Cuanto más débil es el valor de $\delta^{18}\text{O}$ del hielo, más frío hacía en el momento de su formación, mientras que un aumento del $\delta^{18}\text{O}$ del hielo corresponde a un aumento de temperatura. La correlación entre temperatura y composición isotópica también permite identificar el hielo depositado durante los periodos glaciales, debido a que tiene una concentración muy reducida de isótopos pesados en relación con la precipitación de épocas más recientes.

El cálculo de la temperatura global

Una vez descritas, aunque sea someramente, el tipo de observaciones que se manejan en meteorología y climatología, nos surge la pregunta de cómo podemos hablar de temperatura del planeta cuando solo se disponía de un número limitado de estaciones meteorológicas y, en el mejor de los casos, concentradas en Europa y América del Norte.

En esencia, la respuesta consiste en hallar **una climatología global o planetaria de referencia** (JONES *et al.*, 2012), construyendo una rejilla global o planetaria observacional. Los nuevos datos en rejilla regular de $5^\circ \times 5^\circ$ (longitud-latitud), aproximadamente unos $500 \text{ km} \times 500 \text{ km}$ se basan en un archivo de temperaturas medias mensuales proporcionadas por más de 5500 estaciones meteorológicas distribuidas alrededor del mundo.

La temperatura de una estación dada se convierte en anomalía respecto a la temperatura promedio del periodo 1961-90 de esa estación, y el valor correspondiente a una celdilla de la rejilla se obtiene como la media de todas las anomalías de las estaciones de observación que caen dentro de la celdilla. Al igual que la anomalía media, se proporcionan estimaciones de las incertidumbres que surgen de la precisión del termómetro, de la homogeneización, del muestreo de las celdillas de la rejilla cuando se dispone de un número finito de medidas, de los sesgos a gran escala como la progresiva urbanización del terreno y de la estimación de los promedios regionales con una cobertura de medidas globales no completa.

Por último, se calculan las series temporales hemisféricas promedio (JONES, 1994). Los promedios se calculan para cada mes desde enero de 1850, y luego los promedios estacionales y anuales se calculan utilizando los valores mensuales promedios hemisféricos. Se utilizan las estaciones estándar de tres meses, esto es, primavera (MAM), verano (JJA), otoño (SON) e invierno (DEF) tomándose, en el caso del invierno, el mes de diciembre del año anterior, enero y febrero del actual.

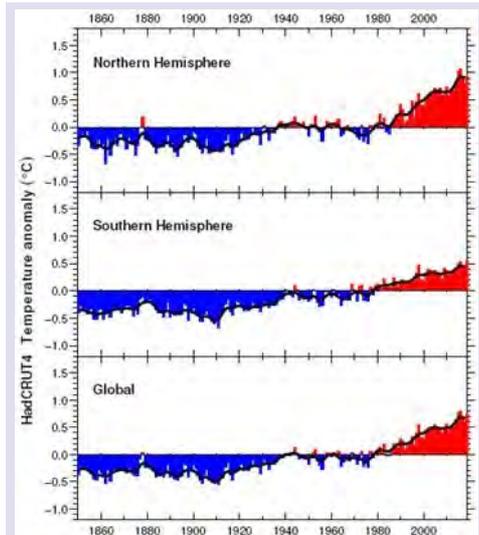
Como diciembre de 1849 no se encontraba disponible, todas las series anuales y estacionales comienzan en 1851 para el hemisferio norte. En el hemisferio sur, el primer año es 1856. Antes de esta fecha, había menos de 5 estaciones con datos.

Los conjuntos de datos

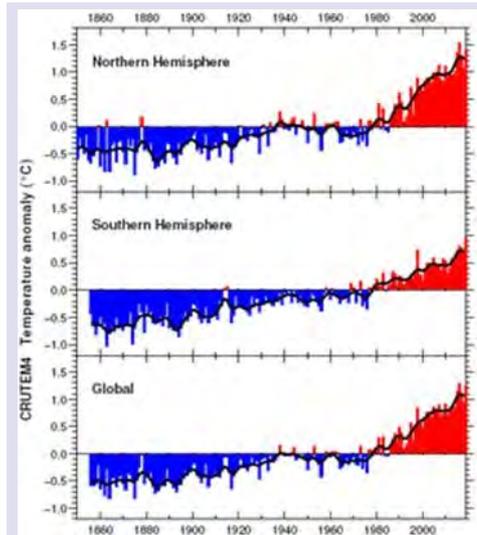
HadCRUT4 es un conjunto de datos de temperatura global, que proporciona anomalías de temperatura en una rejilla global así como promedios para los hemisferios y el globo como conjunto. CRUTEM4 y HadSST3 son las componentes de tierra y oceánica de este conjunto global. Estos conjuntos de datos han sido elaborados por la Climatic Research Unit (Universidad de East Anglia, Reino Unido) en colaboración con el Hadley Centre (UK Met Office).

Por lo que respecta al conjunto de datos de la temperatura de la superficie del mar (SST), ha sido desarrollado en exclusividad por el Hadley Centre. Estos conjuntos de datos se actualizarán a intervalos aproximadamente mensuales en el futuro. Los promedios hemisféricos y globales expresados como valores mensuales y anuales estarán disponibles como ficheros separados.

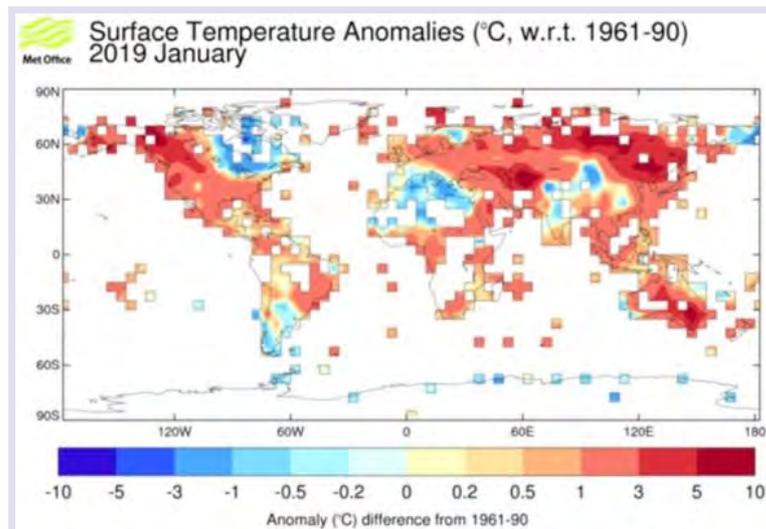
¿A qué nos referimos cuando hablamos de la temperatura global?



Anomalías de temperatura anual media (HN, HS, Global). HadCRUT4 es un conjunto de datos de temperatura global. Fuente: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>.



Anomalías de temperatura anual media (HN, HS, Global). CRUTEM4 es un conjunto de datos de temperatura de aire sobre tierra. Fuente: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>.



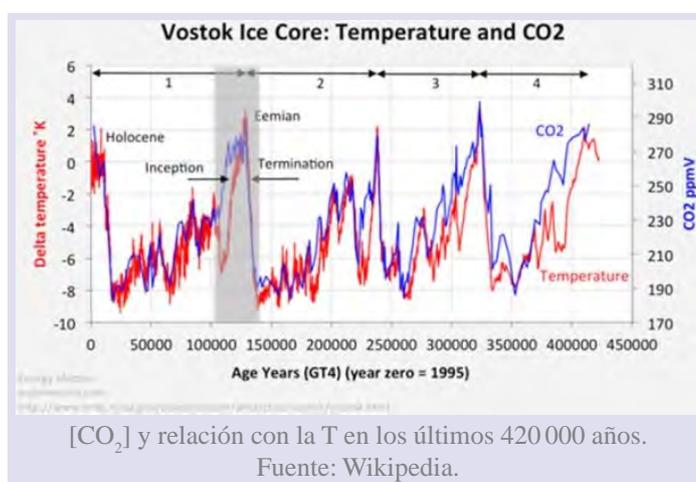
Anomalías de la temperatura en superficie para el mes de enero de 2019 del conjunto de datos en punto de rejilla sobre tierra (CRUTEM4). Fuente: <https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/crutem4/>.

¿Qué aporta la paleoclimatología?

Las grandes redes de medidas meteorológicas permiten conocer la evolución del clima desde hace aproximadamente 150 años, que es relativamente breve o corto. Numerosos métodos han sido desarrollados por los paleoclimatólogos para estimar la evolución anterior del clima. En efecto, las variaciones de múltiples parámetros del clima dejan huella en los medios naturales. Se han elaborado métodos basados en la perforación para extraer estos archivos naturales del clima, tanto en los continentes (en los hielos polares, los sedimentos lacustres, los suelos, las estalagmitas y los troncos de árboles) como en el fondo de

los océanos (en los sedimentos marinos o en los corales). Igualmente, se han desarrollado métodos cada vez más precisos para datar estos archivos y extraer una información climática rigurosa.

Ciertas características biológicas, químicas o físicas de estas muestras pueden ligarse, cuantitativamente, a las variaciones de parámetros climáticos como la temperatura, la cantidad de precipitaciones o la salinidad del agua del mar. Estas relaciones denominadas **funciones de transferencia**, se establecen a partir de los gradientes geográficos actuales o bien por comparación con los registros meteorológicos u oceanográficos de los últimos decenios. Resulta posible entonces estimar las variaciones pasadas de los parámetros climáticos, suponiendo que las relaciones actuales continúan siendo válidas para los climas pasados.



Para ilustrar este enfoque, tomemos como ejemplo, la utilización de la abundancia de las diferentes formas de la molécula de agua ($H_2^{16}O$, $HD^{16}O$, $H_2^{18}O$), denominados «isótopos». El vapor de agua, formado en la superficie de los océanos se encuentra empobrecido en isótopos pesados en relación al agua del mar. En las regiones templadas y polares, el enfriamiento de las masas de aire lleva consigo una condensación de vapor de agua y la pérdida preferencial de los isótopos pesados. Existe, por tanto, una relación estrecha entre la temperatura del aire y el cociente entre las formas ligeras y pesadas de las moléculas de agua presentes en las precipitaciones: cuanto más frío sea el aire, las precipitaciones se encontrarán empobrecidas en las formas pesadas de las moléculas de agua. Este «termómetro» permite entonces estimar las variaciones pasadas de la temperatura, gracias a la medida de estos cocientes isotópicos sea en precipitaciones antiguas (preservada en los hielos polares), sea en archivos indirectos de estas precipitaciones (calcita de estalagmitas, celulosa de los anillos de los árboles, calcita de los sedimentos de los lagos, etc.).

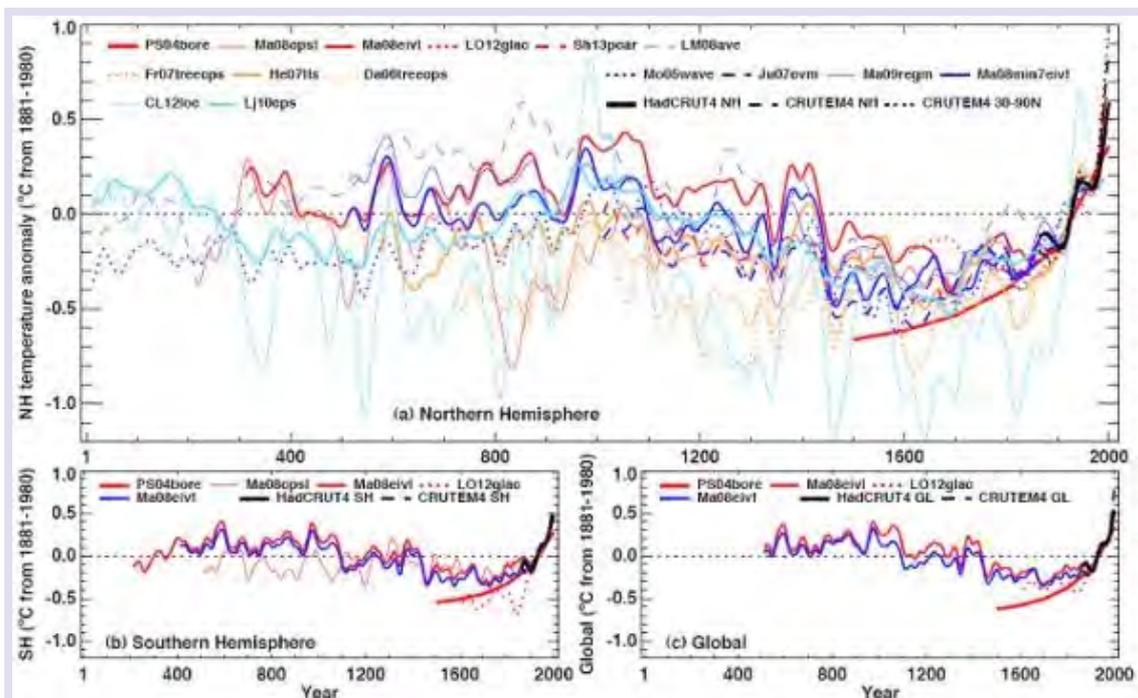
La mayor parte de los registros paleoclimáticos aportan informaciones locales, relativas al clima del emplazamiento o lugar de medida. Diferentes parámetros medidos en un mismo archivo y diferentes archivos de una misma región se combinan después en bases de datos globales, y posteriormente se aplican métodos estadísticos para estimar las variaciones climáticas de gran escala.

La paleoclimatología permite comprender las amplitudes, las velocidades y los mecanismos de los cambios climáticos pasados y la forma en que el clima reacciona a diferentes tipos de perturbaciones. Igualmente, ha revelado la capacidad del sistema climático para producir inestabilidades brutales. Las respuestas acerca de cómo fueron los climas del pasado, de si hubo o no cambios rápidos, proporcionan un contexto para evaluar posibles cambios climáticos en el futuro.

A partir de los años 1990, **el estudio de los climas del pasado ha permitido caracterizar de una forma más precisa la evolución del clima** a escalas que van desde el año al siglo, ya sea para el periodo histórico reciente, o para las inestabilidades del clima glacial.

Reconstrucción de las variaciones del clima del último milenio

Ya que la amplitud de las inestabilidades glaciales no guarda proporción con las variaciones pequeñas del clima en el transcurso de los últimos milenios, se examinan con mucha atención. Ciertos archivos climáticos proporcionan acceso a informaciones estacionales. Este es el caso de los anillos anuales de crecimiento de los árboles o las estrías de crecimiento de los corales. Se han desarrollado métodos estadísticos para combinar diferentes fuentes de información y para estimar la variabilidad, año a año, de la temperatura media (anual o para estaciones específicas) a la escala de las grandes regiones (como Europa), de un hemisferio o del globo. Estas reconstrucciones sugieren **fluctuaciones modestas de la temperatura media en la superficie de la Tierra (inferior a 1 °C)** y permiten caracterizar la estructura espacial de estos cambios. Por ejemplo, la «anomalía medieval» (episodio cálido entre los años 950 y 1200) y la «Pequeña Edad de Hielo» (episodio frío entre los



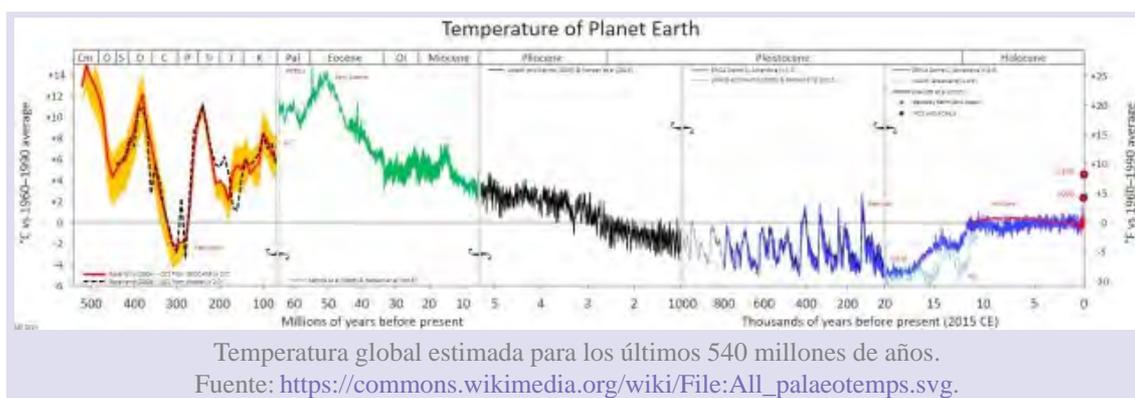
Reconstrucciones recientes de la temperatura anual desde el año 1 de nuestra era (HN, HS, Global) tomadas del WG1_AR5_Chapter 5: Information from Paleoclimate Archives, pp.409 (2013).

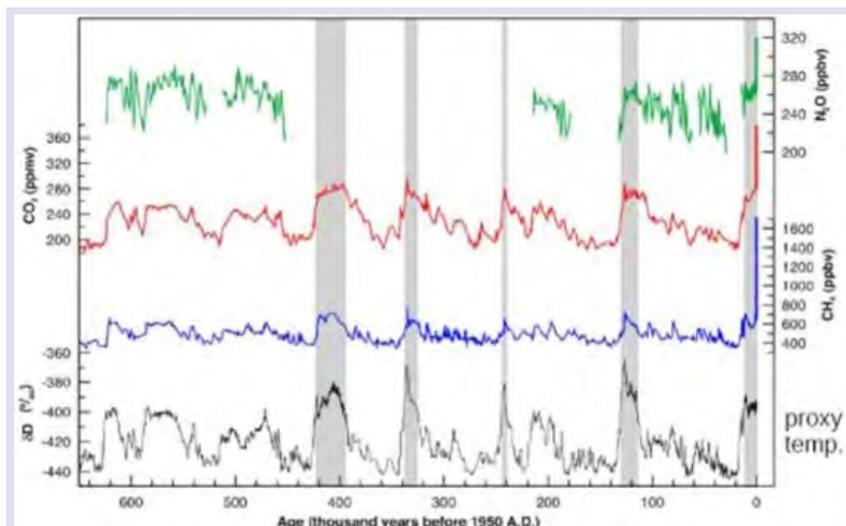
años 1300 y 1850) han sido particularmente marcados en las latitudes medias y altas del hemisferio norte. Respecto al *Periodo Cálido Medieval*, algunos científicos piensan que las temperaturas más cálidas en los últimos 2000 años antes del siglo XX se registraron en este periodo. Este calentamiento permitió a los vikingos viajar más hacia el norte de lo que había sido posible anteriormente debido a la disminución del hielo marino y al hielo terrestre en el Ártico. Sin embargo, existen pruebas de que algunos lugares fueron mucho más fríos que en el presente, incluyendo el Pacífico tropical. Desde el punto de vista de un arqueólogo y antropólogo (Brian Fagan), el climatólogo y meteorólogo británico Hubert Lamb fue uno de los primeros científicos en documentar el calentamiento medieval y fue él quien acuñó el término ‘Periodo Cálido Medieval’ para referirse a esos siglos. Durante ese periodo, gran parte del hemisferio norte gozó de un clima favorable y unas excelentes cosechas, y en consecuencia se produjo una explosión demográfica en Europa. Durante esta época, los europeos construyeron catedrales. Los prolongados ciclos secos de la época medieval incidieron en la desaparición de Angkor Wat y los poblados indígenas del cañón del Chaco. Gran parte de la aridez se debió a las condiciones que acompañaron a La Niña en el Pacífico, en especial alrededor de los años 1100 a 1200.

Los registros paleoclimáticos permiten igualmente caracterizar los **factores externos (forzamientos externos)** que han podido afectar a la evolución del clima en el transcurso del último milenio:

- La **actividad volcánica**, en particular las erupciones que inyectan partículas en la atmósfera superior, que tienen un efecto global y cuyos impactos pueden identificarse en los hielos polares de Groenlandia y de la Antártida.
- La **actividad solar** (gracias a los isótopos cosmogénicos producidos en la atmósfera superior y registrados en los anillos de crecimiento de los árboles y los hielos polares).
- Los **cambios de uso de los suelos** (deforestación y extensión de las zonas cultivadas), estimados a partir de datos arqueológicos e históricos.
- La **composición atmosférica** (gases de efecto invernadero y aerosoles), conocida gracias a los análisis del aire y de los aerosoles en los hielos polares.

En consecuencia, es posible simular el clima del pasado al prescribir en los **modelos** del clima las estimaciones de estos factores externos. Como el estado inicial del clima se





Reconstrucción de la concentración de distintos elementos químicos relacionados con la temperatura atmosférica durante los últimos 700 000 años a partir de testigos de hielo y observaciones recientes. Fuente: IPCC, 2013.

conoce mal (por ejemplo, la dinámica del océano profundo hace 1000 años), los *ensembles* de simulaciones se realizan con diferentes estados iniciales. Estas simulaciones permiten comprender, en el marco teórico, la manera en la que los diferentes factores externos afectan al clima y cotejarlo con los datos disponibles. El análisis de los datos y de las simulaciones del último milenio muestra la importancia de la variabilidad interna climática, su respuesta a los factores naturales (vulcanismo, actividad solar, etc.) y el papel determinante de las emisiones de los gases de efecto invernadero en el calentamiento de los últimos decenios.

Comparativa de datos de temperatura global de distintas fuentes

Los registros de la temperatura global calculados por las distintas organizaciones que trabajan en la investigación climática son notablemente similares. Según las estimaciones, la temperatura media a escala global en 2018 (OMM, N.º 1233) supera en $0,99 \pm 0,13$ °C el valor de referencia que es el de la época preindustrial (1850-1900); y por tanto se dispone de evidencias de que el calentamiento global se está produciendo. Las técnicas utilizadas por el NASA's Goddard Institute for Space Studies (GISS), el National Climatic Data Center (NCDC) y otros grupos respetados tales como el [Hadley Centre/Climatic Research Unit](#) de la Universidad de East Anglia (CRU) y el [Australian Bureau of Meteorology](#) son revisadas por pares (*peer reviewed*) e, igualmente, los conjuntos de datos procesados son sometidos a muchos análisis.

Una organización independiente sin ánimo de lucro llamada [Berkeley Earth](#), financiada por becas de educación, ha elaborado sus propias técnicas de procesamiento de datos. De nuevo, los resultados son muy similares a los resultados obtenidos por el NCDC, GISS y CRU.

Epílogo

En el pasado mes de febrero, tan solo unos días antes de la muerte de Wallace S. Broecker, quien había empleado el término «calentamiento global» en un artículo publicado en 1975 en el que advertía de este riesgo, la OMM alertaba de que **el planeta había encadenado cuatro años de temperaturas récord** a causa del cambio climático. Desde 2015, las temperaturas que ha registrado el planeta han sido las más cálidas observadas desde que existen registros, es decir, desde 1850. Tanto en la superficie terrestre como en los océanos, el ritmo al que se está produciendo este calentamiento es excepcional.

El año pasado, la temperatura del planeta fue la cuarta más elevada en más de un siglo y medio, con aproximadamente 1 °C sobre la época preindustrial. Aun así, es una cifra por debajo del récord del año 2016, que estuvo marcada por el fenómeno climático de El Niño, que impulsó el registro hasta 1,2 °C. En 2015 y 2017, fue de 1,1 °C. **La OMM cree que los datos muestran una tendencia preocupante y un «claro signo» de la relación entre cambio climático a largo plazo y las concentraciones de gases de efecto invernadero.** «La tendencia de la temperatura a largo plazo es mucho más importante que la temperatura de cada año y esa tendencia es al alza», manifestó el secretario general de la OMM, Petteri Taalas. Según los datos recopilados por la Agencia, los 20 años más cálidos de los que se tienen datos se han registrado en los últimos 22. Hoy, todos los modelos científicos concuerdan en que, al superar el umbral de 1,5 o 2 °C de calentamiento, el planeta entrará en un proceso irreversible de cambio climático e inestabilidad. La OMM recordó que este 2019 ya ha comenzado con un episodio de frío extremo en Norteamérica, el enero más caluroso en Australia —con temperaturas cercanas a los 50 °C— e intensas o copiosas nevadas en los Alpes o el Himalaya. Unos eventos que se suman a los acaecidos en 2018 y que afectaron a numerosos países y a millones de personas.

«Muchos de los fenómenos meteorológicos extremos corresponden plenamente a lo previsible en una situación de cambio climático. Se trata de una realidad a la que tenemos que hacer frente. La reducción de las emisiones y las medidas de adaptación al clima deberían gozar de máxima prioridad a nivel mundial», dijo Taalas.

Por último, mencionar que [en octubre de 2018 se aprobó el resumen del Informe Especial +1,5 °C del IPCC dirigido a los que tienen que tomar decisiones](#). Entre los mensajes más importantes: el cambio climático es una realidad, cada medio grado de calentamiento asociado refuerza los riesgos asociados, la estabilización a +1,5 °C exige reducir de una manera drástica las emisiones de CO₂ y actuar igualmente sobre otras emisiones de los gases de efecto invernadero. Como afirma Valérie Masson-Delmotte, copresidente del grupo de trabajo I del IPCC, se trata de un esfuerzo histórico asociado a transiciones muy profundas de los sistemas energéticos, urbanos, industriales y de la gestión de las tierras. La ambición de contener el calentamiento a 1,5 °C exigiría una actuación más temprana y más rápida que la necesaria para limitarla a 2 °C. **Desde el estricto punto de vista del funcionamiento intrínseco del clima, una estabilización a +1,5 °C no es imposible.** Y queda un gran margen de maniobra. **Todo depende de las acciones que se emprendan desde hoy hasta 2030.** Cualquier retraso en la acción implica un calentamiento suplementario en las próximas décadas; regresar después a +1,5 °C exigiría ser capaz de extraer el CO₂ de

la atmósfera. Nos enfrentamos a dos grandes retos: la amplitud del esfuerzo que hay que realizar y la amplitud del riesgo.

Siguen existiendo incertidumbres y se siguen expresando de la misma forma en cada uno de los informes. En el [informe especial de +1,5 °C](#), cada conclusión se expresa con un nivel de confianza. Cada capítulo presenta los métodos de evaluación y las herramientas utilizadas, concluyendo con una sección centrada en los límites de los conocimientos disponibles actualmente. Todavía hay información limitada acerca de la cuestión del uso de la tierra y de las previsible presiones en el uso de los suelos para producir alimento para animales y personas, así como fibras textiles y energía, que cabe esperar que se produzcan para hacer frente a las consecuencias del cambio climático. Por todas estas razones, el IPCC prepara para agosto de 2019 otro informe especial sobre este tema.

Referencias

JONES, P. D. (1994). Hemispheric surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993. *J. Climate*, 7: 1794-1802.

JONES, P. D., LISTER, D. H., OSBORN, T. J., HARPHAM, C., SALMON, M. y MORICE, C. (2012). Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2012. *J. Geophys. Res.*, 117: D05127, doi: [10.1029/2011JD017139](https://doi.org/10.1029/2011JD017139).

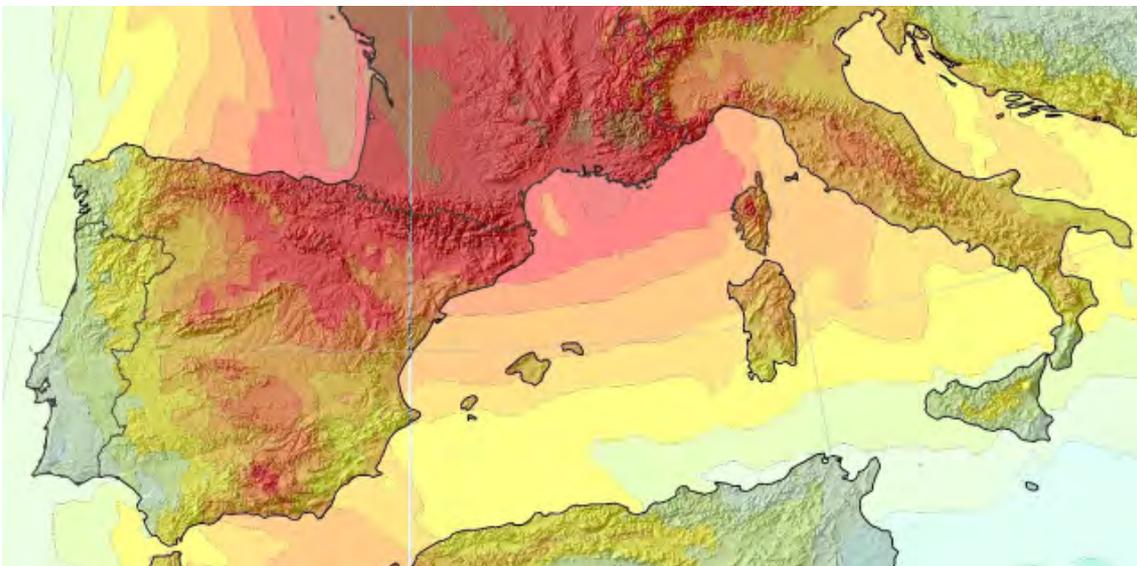
OSBORN, T. J. y JONES, P. D. (2014). The CRUTEM4 land-surface air temperature dataset: construction, previous versions and dissemination via Google Earth. *Earth System Science Data*, 6: 61-68. doi: [10.5194/essd-6-61-2014](https://doi.org/10.5194/essd-6-61-2014).

ANÁLISIS DE LA OLA DE CALOR DE JUNIO DE 2019 EN UN CONTEXTO DE CRISIS CLIMÁTICA

José Ángel Núñez Mora
AEMET en la Comunidad Valenciana



(publicado en el blog de AEMET
el 2 de julio de 2019)



RESUMEN

- 1. Se han analizado las características térmicas de las masas de aire que durante los últimos cuarenta años han sobrevolado nuestro territorio en verano (en el nivel de 850 hPa, a 1500 metros de altitud).*
- 2. La masa de aire que sobrevoló el centro, norte y nordeste de la Península y amplias zonas de Europa occidental la última semana de junio de 2019, es la más cálida de todas las que se han registrado en un mes de junio desde al menos 1979.*
- 3. En algunas zonas de las ciudades anteriormente, la masa de aire fue la más cálida de toda la serie histórica, incluyendo los meses de julio y agosto.*
- 4. La frecuencia de tránsito de masas de aire cálido en junio que dan lugar a temperaturas anormalmente altas en las zonas afectadas por la ola de calor de junio de 2019, es casi diez veces superior en las dos primeras décadas del siglo XXI que en las dos últimas del siglo XX, pasando de una vez cada 30,7 años, a una vez cada 3,7 años.*

5. La frecuencia de tránsito de masas de aire extremadamente cálido en junio que dan lugar a efemérides meteorológicas y olas de calor en las zonas afectadas por la de junio de 2019, es más de diez veces superior en las dos primeras décadas del siglo XXI que en las dos últimas del siglo XX, pasando de un periodo de retorno estimado superior a cien años, a un periodo de retorno de 10 años.

6. La diferencia de temperatura media de las masas de aire que en verano sobrevuelan el territorio de la Península, Baleares y Ciudades Autónomas entre la década de los diez del siglo XXI y la década de los ochenta del siglo XX, es de 1,3 °C y en Canarias de casi 1,1 °C.

7. Todas las conclusiones de este análisis son coherentes con las previsiones contenidas en los escenarios de cambio climático que se vienen realizando desde hace décadas.

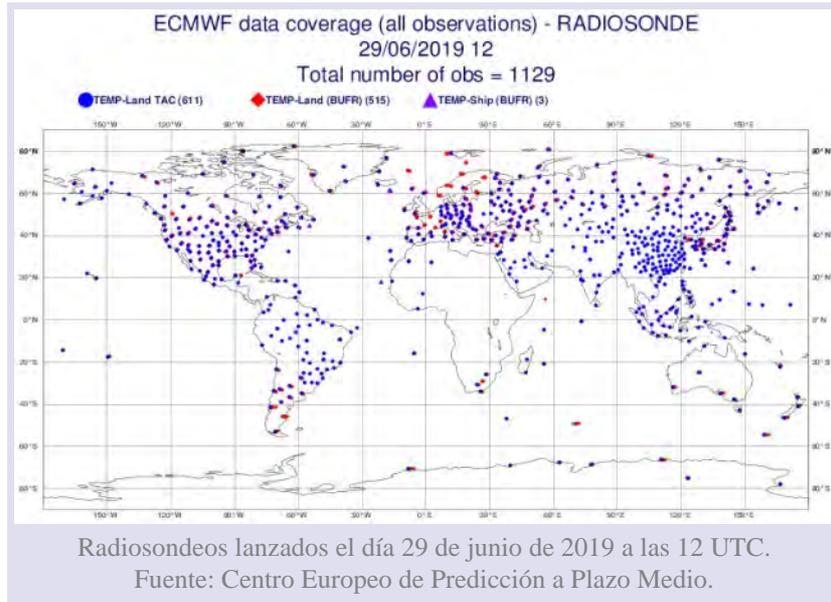
8. La mayor frecuencia de tránsito de masas de aire muy cálido o extremadamente cálido y la expansión de la presencia de estas masas de aire extremadamente cálido a los meses de junio y septiembre, o incluso a mayo, como ocurrió en el año 2015, es coherente con las bases físicas que rigen los procesos de cambio climático.

9. Nuestra generación está avanzando por un planeta más cálido que el de nuestros antepasados.

1. Introducción

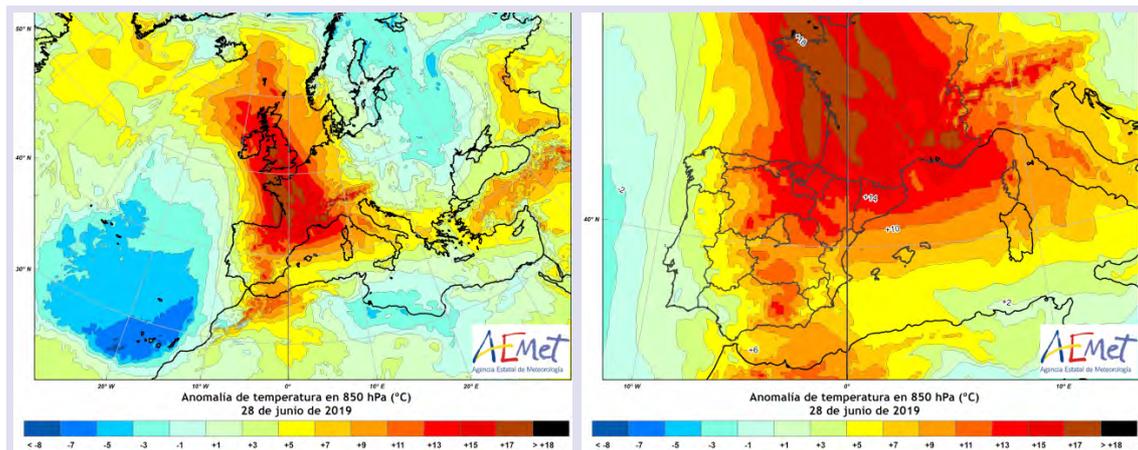
Es habitual en meteorología que para caracterizar térmicamente una masa de aire se use el parámetro de temperatura a una altitud de 1500 m, que se corresponde con un nivel de presión de 850 hPa. Esto se hace así porque ese nivel está usualmente situado en atmósfera libre, fuera de la capa límite atmosférica, y, por tanto, de algún modo libre de los efectos del contacto del aire con el suelo, aunque en nuestro territorio, con zonas de mesetas elevadas y altiplanos, los efectos del calor del suelo llegan a propagarse hasta ese nivel a partir de mediodía, por eso solemos emplear como referencia la temperatura en 850 hPa a las 12 UTC, momento del día en el que el calentamiento de la capa superficial del aire (o enfriamiento en el caso de horas nocturnas), aún no ha llegado con toda la intensidad al nivel de 1500 metros de altitud (o el enfriamiento se ha diluido, para el caso de horas nocturnas).

Además, las 12 UTC coincide con la hora de lanzamiento de uno de los dos radiosondeos aerológicos que se llevan a cabo en todo el mundo por los Servicio Meteorológicos Nacionales y otros organismos implicados, que suelen ser más de mil en cada uno de los horarios de lanzamiento. Esos radiosondeos atmosféricos se vienen haciendo desde hace décadas y sus datos han servido, entre otras diversas actividades, para realizar análisis, pronósticos y reanálisis atmosféricos.

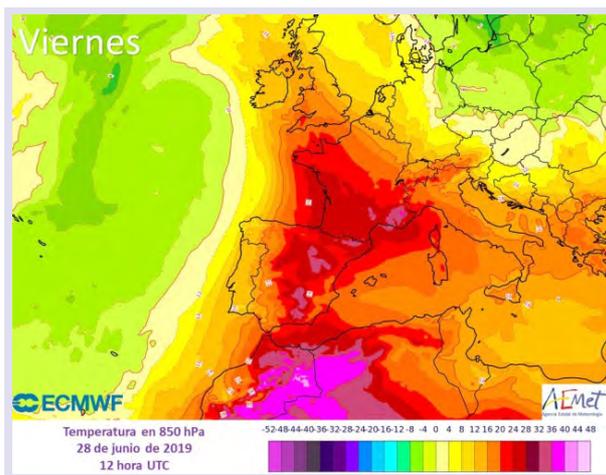


2. La masa de aire que sobrevoló Europa occidental en los últimos días de junio de 2019

Con esas consideraciones previas, se puede hacer una caracterización de la masa de aire que sobrevoló la Península (afectando especialmente a zonas del centro, norte y nordeste) y el oeste del continente europeo durante los días finales de junio de 2019 en base a los datos de temperatura en 850 hPa. En esas zonas, la masa de aire africano que las sobrevoló es la más cálida de las registradas en un mes de junio en al menos las últimas cuatro décadas. Incluso en áreas más reducidas de las zonas indicadas fue la masa de aire más cálida en los últimos cuarenta años en cualquier mes del año.



Como queda reflejado en las dos imágenes anteriores, las anomalías de temperatura en la mitad norte de la Península superaron los $+10\text{ °C}$ el día 28 de junio de 2019 en 850 hPa, presentando un gran contraste con el suroeste, donde la masa de aire tenía una temperatura normal para la época o incluso algo fría en zonas del golfo de Cádiz. Mientras que en el nordeste de la Península la masa de aire era extremadamente cálida, en Canarias la masa de aire era fresca o fría, y las anomalías medias fueron de -6 °C .



Esta gran diferencia térmica entre la masa de aire atlántica y la masa de aire que sobrevoló el oeste del continente europeo en la última semana de junio de 2019 se debió a la presencia de un patrón estacionario de tipo «resonancia de onda planetaria» que publicaciones recientes consideran que son mecanismos que causan fenómenos meteorológicos extremos en verano.

La presencia de una vaguada atlántica con aire frío en su seno, por cuyo flanco oriental se inyectaba una masa de aire

muy cálido hacia Europa occidental, además del recalentamiento del aire sobre tierra, justifica esta distribución de anomalías de temperatura.

3. Caracterización sobre la base de reanálisis meteorológicos

Una vez hecha una primera valoración climática y comentada brevemente la situación meteorológica, los datos de temperatura en 850 hPa de los días 27, 28 y 29 de junio de 2019, se van a comparar con los reanálisis del sistema ERA5.

ERA5 es un conjunto de datos de reanálisis climáticos desde 1979 hasta la actualidad (próximamente se ampliará el periodo hasta enero de 1950), que está desarrollando el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S), que es uno de los seis servicios temáticos del Programa Copernicus de la Unión Europea, administrado por la Comisión Europea. C3S está siendo implementado por el Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF).

Se han extraído todos los datos diarios de temperatura en 850 hPa a las 12 UTC del mes de junio desde 1979 hasta 2018 en todas las capitales de provincia (como puntos representativos de su territorio). Por tanto, para cada una de las capitales de provincia se han extraído 1200 datos diarios (treinta días al mes por cuarenta años). A esta matriz de datos se le han añadido los datos analizados por el modelo operativo IFS del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio de los días 27, 28 y 29 de junio de 2019 a las 12 UTC (los reanálisis ERA5 suelen estar disponibles con un retraso de tres meses).

En la tabla I se reproduce una selección de los resultados más significativos, con los datos de las capitales más pobladas y con los datos de otras capitales afectadas por la ola de calor de junio de 2019.

Se comprueba cómo en Barcelona, Zaragoza, Bilbao, Pamplona/Iruña, Donostia/San Sebastián, Logroño, Huesca y Burgos, la temperatura registrada en 850 hPa durante los tres días de la ola de calor, es la más alta de la serie de 1203 datos del mes de junio (1200 del periodo 1979-2018 y tres del año 2019).

Análisis de la ola de calor de junio de 2019 en un contexto de crisis climática

Barcelona	28/06/2019	29/06/2019	27/06/2019	28/06/1993	25/06/2003	25/06/2001	27/06/1986	28/06/1986	24/06/2003	29/06/2012
	25,9	25,4	24,8	24,4	24,0	23,8	23,6	23,4	23,0	22,9
Zaragoza	29/06/2019	28/06/2019	27/06/2019	30/06/2015	30/06/1994	27/06/2012	13/06/2009	22/06/2002	29/06/2015	28/06/1986
	26,3	25,9	25,9	24,2	24,1	23,9	23,4	23,2	23,2	23,1
Bilbao	27/06/2019	29/06/2019	28/06/2019	30/06/2015	27/06/2012	22/06/2003	27/06/2011	19/06/2017	26/06/2011	21/06/2003
	27,0	26,3	25,7	25,1	24,5	23,9	23,6	23,4	23,4	23,1
Pamplona/Iruña	28/06/2019	29/06/2019	27/06/2019	30/06/2015	30/06/1994	27/06/2012	29/06/2015	17/06/2017	22/06/2003	27/06/2005
	26,2	25,8	24,6	23,7	23,1	23,0	22,7	22,4	22,4	22,4
Donostia/San Sebastián	27/06/2019	29/06/2019	28/06/2019	30/06/2015	27/06/2012	27/06/2011	22/06/2003	26/06/2011	30/06/1994	17/06/2002
	28,0	26,6	26,5	25,5	24,3	23,8	23,5	23,5	23,5	23,3
Logroño	28/06/2019	29/06/2019	27/06/2019	30/06/2015	30/06/1994	27/06/2012	27/06/2011	25/06/2001	29/06/2015	22/06/2003
	25,8	25,3	25,2	24,5	23,4	23,3	23,1	23,0	22,9	22,8
Huesca	29/06/2019	28/06/2019	27/06/2019	30/06/2015	25/06/2001	22/06/2003	21/06/2003	27/06/1986	30/06/1994	24/06/2003
	26,2	25,6	24,5	23,0	22,9	22,6	22,5	22,5	22,4	22,3
Burgos	29/06/2019	28/06/2019	27/06/2019	30/06/2015	19/06/2017	18/06/2017	29/06/2015	27/06/2011	27/06/2012	26/06/2011
	26,5	26,0	25,8	25,5	25,3	25,2	25,2	25,1	24,9	24,5
Vitoria/Gasteiz	27/06/2019	28/06/2019	30/06/2015	29/06/2019	29/06/2015	30/06/1994	27/06/2012	26/06/2011	27/06/2011	22/06/2003
	27,0	25,9	25,3	25,0	24,1	24,0	23,5	23,4	23,4	22,6
Lleida	28/06/2019	29/06/2019	25/06/2001	27/06/2019	30/06/1994	30/06/2015	27/06/2012	27/06/1986	13/06/2009	28/06/1986
	26,1	25,6	24,2	24,0	23,8	23,8	23,7	23,0	22,8	22,8
Girona	28/06/2019	27/06/2019	28/06/1993	25/06/2001	29/06/2019	25/06/2003	27/06/1986	28/06/1986	24/06/2003	29/06/1986
	25,5	24,9	24,5	24,0	23,9	23,6	23,2	23,1	22,9	22,6
Soria	29/06/2019	30/06/2015	28/06/2019	30/06/1994	27/06/2012	29/06/2015	27/06/2019	27/06/2011	24/06/2001	14/06/2017
	27,6	27,5	27,0	26,8	26,4	26,2	26,1	25,9	25,9	25,7
Teruel	29/06/2019	27/06/2012	15/06/2017	28/06/2019	13/06/2009	14/06/2017	23/06/2001	30/06/2004	11/06/1983	28/06/2015
	27,2	27,2	27,0	26,5	26,5	26,4	26,3	26,3	26,2	26,1
Guadalajara	29/06/2019	29/06/2015	17/06/2017	15/06/2017	28/06/2019	27/06/2019	18/06/2017	28/06/2015	27/06/2012	30/06/2015
	26,5	26,2	26,0	26,0	25,9	25,6	25,1	25,1	24,8	24,6
Castelló de la Plana	27/06/2012	29/06/2019	23/06/2001	15/06/2017	28/06/2019	28/06/2012	27/06/2002	25/06/2001	30/06/1994	28/06/2011
	25,8	24,8	24,3	24,2	24,0	23,7	23,6	23,5	23,3	23,3
València	27/06/2012	15/06/2017	29/06/2019	30/06/2015	28/06/2015	23/06/2001	28/06/2012	27/06/2002	28/06/2019	30/06/2004
	25,7	24,9	24,7	24,3	24,2	24,1	24,0	24,0	23,9	23,7
Madrid	17/06/2017	15/06/2017	29/06/2015	28/06/2019	29/06/2019	28/06/2015	18/06/2017	27/06/2012	13/06/1981	22/06/2001
	26,1	25,5	25,2	25,0	24,9	24,7	24,5	24,4	24,1	24,0
Sevilla	26/06/2012	18/06/2017	25/06/2012	29/06/2004	16/06/2017	24/06/2012	27/06/2012	14/06/1981	17/06/2017	13/06/1981
	25,9	25,1	24,9	24,8	24,7	24,6	24,4	24,2	24,0	23,9

Nota 1. La tabla contiene los diez datos más altos de cada capital de provincia ordenados de mayor a menor. Se han sombreado en naranja los valores de junio de 2019.
 Nota 2. Los datos están calculados con los reanálisis ERA5 del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio del periodo 1979-2018. Los datos de 2019 que aún no están disponibles en los reanálisis, proceden de los análisis de la pasada operativa del modelo del Centro Europeo.

Tabla I. Temperatura en 850 hPa en el mes de junio (unos 1500 metros de altitud) para 1975-2019.

En Vitoria-Gasteiz, Lleida y Girona, dos de los tres días son los más altos de la serie, y el tercero está entre los cinco más altos. En Soria, Teruel y Guadalajara, la temperatura del día 29 es la más alta de la serie, y las de los días 27 y 28 están entre los diez registros más altos. Y a medida que avanzamos hacia el sur, las temperaturas registradas los días de la ola de calor ya no son los más altos: en Castelló de la Plana el registro del día 29 es el segundo más alto, en València el tercero, y en Madrid, los registros de los días 28 y 29 son el cuarto y quinto de la serie de 1203 datos.

Fuera de la zona afectada por la ola de calor, por ejemplo en Sevilla, la temperatura en 850 hPa de la masa de aire que les afectó no está entre las diez más altas de la serie, lo que resulta coherente con los mapas de anomalías del apartado anterior.

Hay que resaltar un detalle más que reforzará las conclusiones que se van a presentar en los apartados siguientes: los tres valores más altos de todas las capitales presentadas en la tabla son registros del siglo XXI, con la única excepción del registro del 28 de junio de 1993 en Girona, que es el tercero de la serie y que también aparece en la tabla de Barcelona como el cuarto más alto.

Una precisión final en este apartado. La temperatura en 850 hPa es un buen marcador del carácter térmico de la masa de aire a unos 1500 metros, pero que una masa de aire muy cálida a 1500 metros sobrevuele un territorio, sobre todo cuando estamos refiriéndonos a zonas litorales, no implica que el calor en altura se traslade siempre hasta la superficie, ya que factores locales como el régimen de brisas marítimas y las inversiones térmicas pueden dar lugar a que finalmente una masa de aire cálido sobrevuele un territorio sin llegar a superficie.

4. Cálculos de periodo de retorno

En este apartado se van a realizar cálculos de periodo de retorno de los datos de temperatura en 850 hPa registrados durante la ola de calor de junio de 2019 para estimar la rareza de este fenómeno meteorológico extremo y si su frecuencia ha cambiado en las últimas décadas. Para el cálculo del periodo de retorno se han usado los datos de junio, incluyendo el máximo registrado durante la ola de calor de junio de 2019.

Para determinar si una masa de aire es muy cálida o extremadamente cálida, fijaremos dos umbrales de temperatura en 850 hPa. El umbral de 22 °C en 850 hPa a las 12 UTC, como precursor de un periodo cálido en el mes de junio en el norte de la Península, y que usualmente suele dar lugar a temperaturas en superficie superiores a 35 °C de forma generalizada, y el umbral de 24 °C, como precursor de una ola de calor en el mes de junio en el norte y nordeste de la Península, y que usualmente suele dar lugar a temperaturas en superficie que en zonas bajas y fondos de valle pueden superar los 40 °C.

Con estos umbrales fijados, se ha escogido la serie de temperaturas máximas anuales en 850 hPa en el mes de junio de Pamplona, por estar esta ciudad en una de las zonas más afectadas (se han realizado pruebas con los datos de otras capitales del norte y nordeste de la Península y se han obtenido resultados similares).

En Pamplona-Noaín se llegaron a registrar 41,3 °C el día 29 de junio, que es el valor más alto de la serie, superando al registro máximo establecido dos días antes (40,5 °C), y al del 25 de junio de 2001 (39,0 °C), que era la anterior efemérides. Además, el registro del 29 de junio de 2019 solo es una décima inferior al registro máximo histórico en este observatorio: 41,4 °C el 10 de agosto de 2012.

Ajustando los datos máximos anuales de temperatura en 850 hPa del mes de junio a una función de extremos, se llega a la conclusión de que el periodo de retorno estimado de que se produjese un periodo cálido (22 °C o más en 850 hPa) en el mes de junio en la década de los ochenta y noventa era de 30,8 años, mientras que el periodo de retorno de que se produjese una ola de calor (24 °C o más en 850 hPa) en el mes de junio en la década de los ochenta y noventa era superior a un siglo.

Haciendo el mismo ajuste con los datos de las dos primeras décadas del siglo XXI, el periodo de retorno estimado de que se produzca un periodo cálido ($22\text{ }^{\circ}\text{C}$ o más en 850 hPa) en el mes de junio en las dos primeras décadas del siglo XXI es de 3,7 años, mientras que el periodo de retorno de que se produzca una ola de calor ($24\text{ }^{\circ}\text{C}$ o más en 850 hPa) en el mes de junio en las dos primeras décadas del siglo XXI es de 10 años.

Por consiguiente, tanto en un caso como en otro, la frecuencia de episodios cálidos o extremadamente cálidos ha aumentado en las últimas cuatro décadas, siendo diez veces superior en las dos primeras décadas del siglo XXI que en la década de los ochenta y noventa del siglo XX.

5. Aumento de la temperatura media en verano: mayor frecuencia de extremos

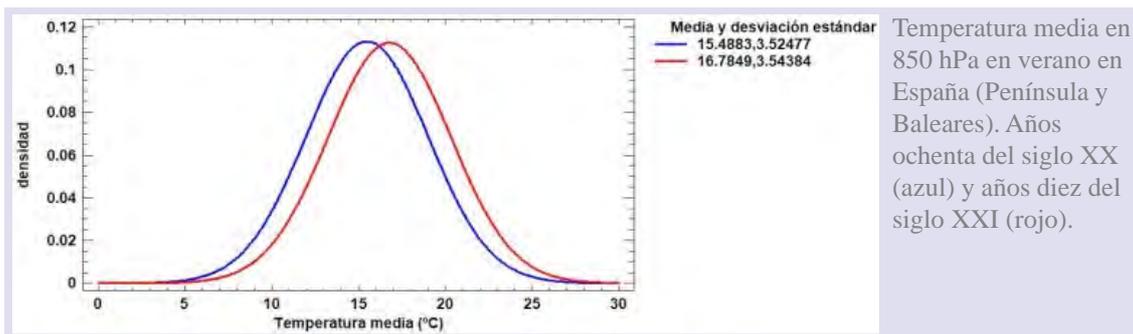
Interesa saber si la media de temperatura ha variado durante el verano en nuestro territorio. Como se va a exponer al final de este apartado, un aumento de la temperatura media implica necesariamente una mayor frecuencia de olas de calor y de días muy cálidos, por lo que la mayor frecuencia de estos fenómenos que se ha expuesto en el apartado anterior estaría relacionada con el aumento de la temperatura media, lo que resultaría coherente con las hipótesis y bases físicas del cambio climático.

Para realizar estos cálculos se han extraído todos los datos diarios de temperatura en 850 hPa a las 12 UTC desde 1979 hasta 2018 durante los meses de verano (junio, julio y agosto), para todas las capitales de provincia (como puntos representativos de su territorio). Por tanto, para cada una de las capitales de provincia se han extraído 3680 datos diarios (noventa y dos días al año por cuarenta años). También se han calculado las 3680 medias diarias de todo el territorio. No se han empleado en este caso los datos de 2019, ya que se está trabajando con estaciones climatológicas completas y del verano de 2019 aún no se dispone de datos de reanálisis.

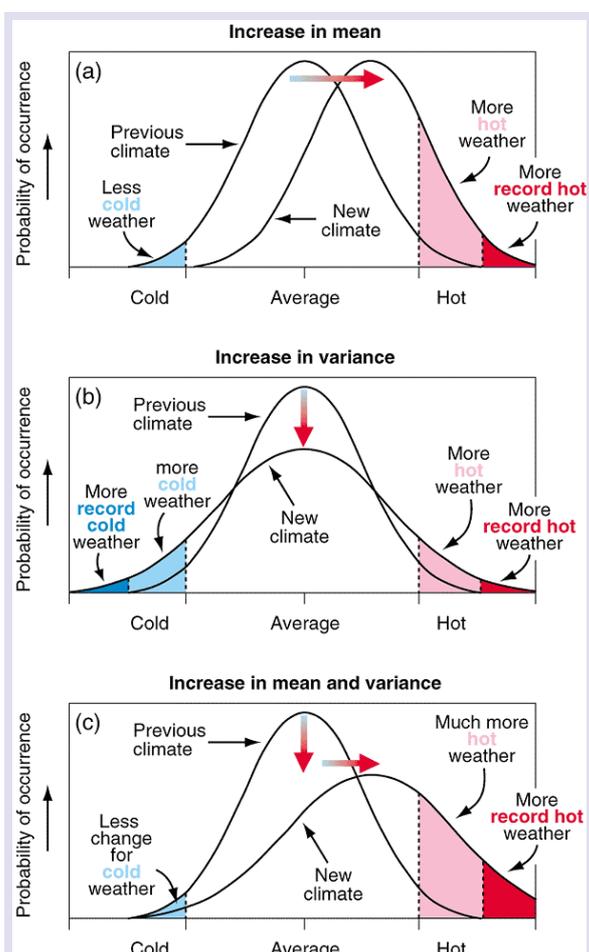
Los datos de la serie de temperaturas diarias a las 12 UTC en 850 hPa provienen de una distribución normal con una confianza del 95 %. Tomando la muestra de datos en el promedio de la Península y Baleares (sin Canarias), y separando los datos de los meses de verano por décadas, se comprueba que la media de temperatura en la década de los ochenta del siglo XX era de $15,48\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que en la década de los diez del siglo XXI es de $16,78\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que supone un incremento de temperatura de $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en las últimas cuatro décadas. El incremento ha sido ligeramente mayor en zonas elevadas de la Meseta que en los litorales, lo cual resulta coherente con las explicaciones que se han dado en el apartado primero sobre la mayor cercanía de la Meseta al nivel de 850 hPa y, por tanto, el incremento de temperatura que se ha documentado en superficie se ha propagado de forma más rápida en los altiplanos que en los litorales hasta el nivel de 850 hPa.

En Canarias, la temperatura media en la década de los ochenta del siglo XXI en el nivel de 850 hPa era de $19,46\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la media de la década de los diez del siglo XXI es de $20,53\text{ }^{\circ}\text{C}$, por tanto, la diferencia de temperatura entre ambos periodos es de $1,07\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Este cambio en la media de temperatura se aprecia de forma visual en la gráfica siguiente en la que, además, en la leyenda de la derecha se han incluido los valores de temperatura



media en cada una de las dos décadas y la desviación estándar. La gráfica generada con los datos de reanálisis de temperatura en 850 hPa es coherente con las hipótesis de calentamiento relacionadas con el cambio climático que se vienen realizando desde hace décadas.



En el gráfico de la izquierda, elaborado por el IPCC en 2001, hace casi dos décadas, ya se describía cómo aumentaría la frecuencia de olas de calor al aumentar la temperatura media. Las bases físicas del proceso se pueden leer en multitud de documentos y publicaciones internacionales, como por ejemplo en [este enlace](#).

Todo lo expuesto en este análisis de la ola de calor de junio de 2019 ya no son hipótesis o predicciones. Ahora, a punto de finalizar la segunda década del siglo XXI, ya lo estamos viendo y sufriendo. Avanzamos por un planeta más cálido que el que conocieron nuestros antepasados.

Nota final: los datos empleados para este análisis son públicos y pueden descargarse desde la página web y aplicaciones del Servicio de Cambio Climático del Programa Copernicus (C3S): <https://climate.copernicus.eu/>.

ANÁLISIS METEOROLÓGICO Y CLIMÁTICO DEL TEMPORAL DE PRECIPITACIONES TORRENCIALES DE SEPTIEMBRE DE 2019 EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

José Ángel Núñez Mora
AEMET en la Comunidad Valenciana



(publicado en el blog de AEMET el 26 de septiembre de 2019)

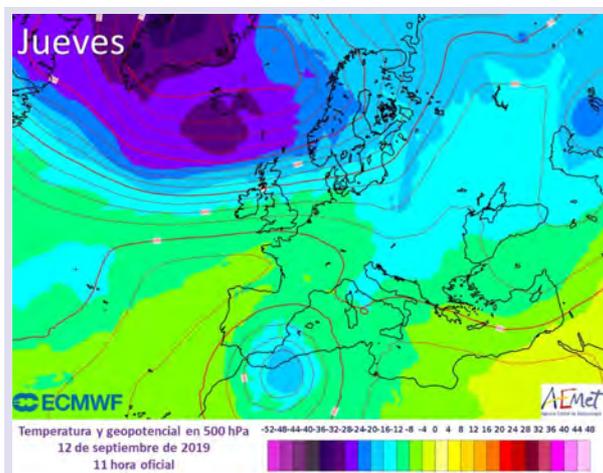
Este artículo se publicó en dos partes, correspondientes a sendas entradas del blog de AEMET, el 26 de septiembre de 2019. Puede accederse al artículo completo a través del siguiente enlace:

[*Temporal_sep2019*](#)

1. Introducción

A partir de últimas horas del lunes día 9, se produjo la entrada de una dana (depresión aislada en niveles altos) por el Cantábrico oriental, desplazándose a lo largo del martes 10 de norte a sur por el este de la Península y permaneciendo estacionaria entre el sureste peninsular y el norte de África durante los días siguientes hasta el viernes 13.

En capas bajas se observó un intenso flujo de viento húmedo e inestable del este que, además de las precipitaciones de intensidad torrencial que se produjeron en diversos puntos



de la Comunidad Valenciana y de la Región de Murcia, y que llegaron a ser históricas y catastróficas en comarcas como la Vega Baja, generó un importante temporal de levante, con intervalos de viento del noreste fuerza 8 y mar muy gruesa, con olas que superaron los 4 metros.

El desplazamiento de la baja en altura de norte a sur a partir del día 11 y de sur a norte a partir del 13, y el del chorro en capas bajas de norte a sur el día 12,

fueron los elementos rectores de los sistemas convectivos que se desarrollaron y que focalizaron las precipitaciones en el sur de la provincia de Valencia, en la de Alicante y en la Región de Murcia.

Un último elemento que siempre está presente en los temporales de levante es la subida del nivel del mar a causa del tránsito de sistemas de bajas presiones. Los mareógrafos de Puertos del Estado llegaron a registrar ascensos de casi medio metro en aguas costeras de la provincia de Alicante.

2. Un ciclón mediterráneo que no llegó a ser

El día 10, el previo al inicio de las lluvias torrenciales, el modelo IFS del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio preveía que durante la primera fase del temporal, en la madrugada y mañana del día 11, se formara un ciclón mediterráneo en el mar Balear con movimiento hacia la costa de Alicante.

Así quedaba también previsto por la herramienta de base de datos de ciclones del Centro Europeo de Predicción, mediante la que se representan de forma objetiva una variedad de estructuras relacionadas con tiempo adverso, como frentes fríos y cálidos o ciclones, a través del sistema de predicción por conjuntos.

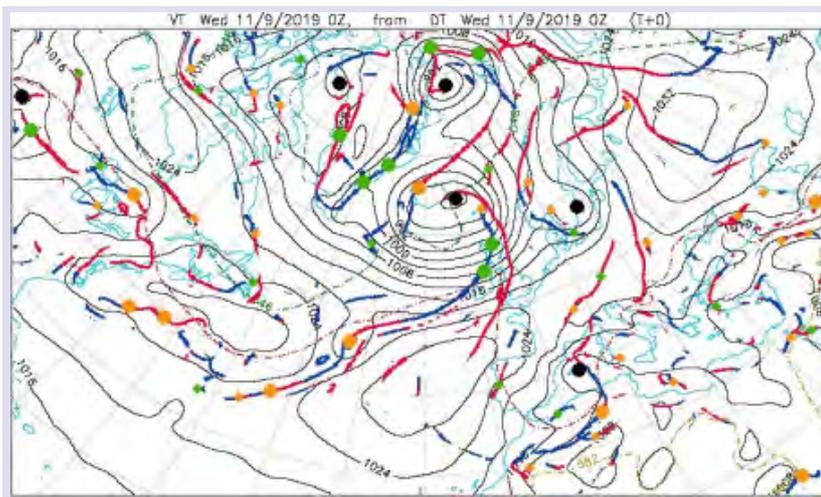


Figura 1. Herramienta de identificación de ciclones del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio, válido para las 00h UTC del día 11 de septiembre de 2019. El punto negro en el golfo de Valencia indica la presencia de una baja barotrópica. Leyenda del color de los puntos: negro = baja barotrópica, naranja = onda frontal, verde = onda frontal de pequeña dimensión.

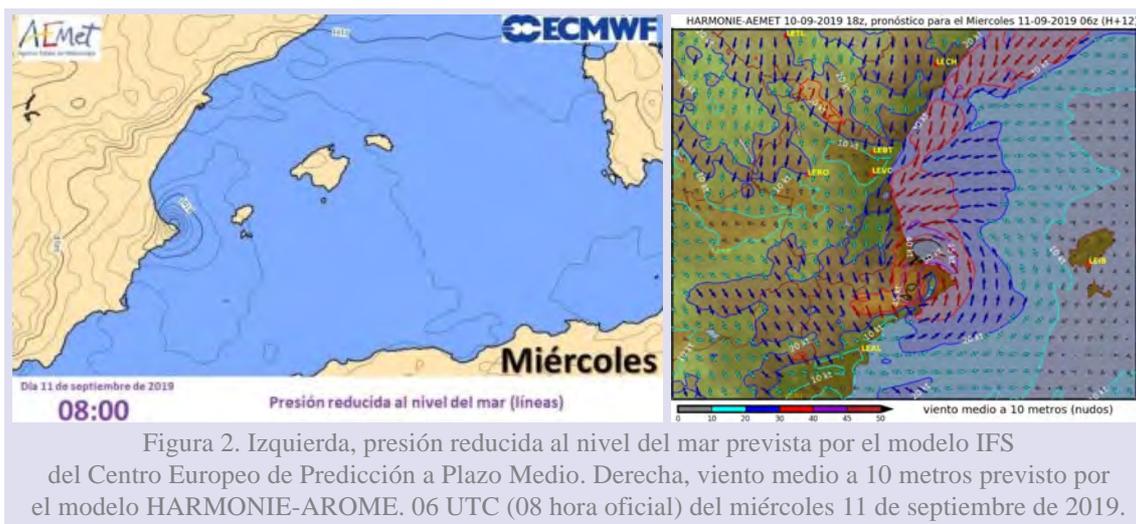
Para el caso del día 11 de septiembre a las 00 UTC, la mayoría de los miembros de la predicción por conjuntos preveía la formación de una baja con estructura barotrópica que podría llegar a derivar en un *medicane*, aunque el 20 % de miembros de la predicción por conjuntos preveían la formación de una baja mediterránea como evolución de una onda baroclina que se iría profundizando de madrugada y acercándose a la costa de la comarca de la Marina Alta, en el norte de la provincia de Alicante, pero con estructura diferente a la de un *medicane*.

Por otra parte, los diagramas de fase de la estructura del ciclón previstos por otros modelos mostraban una estructura asimétrica con un núcleo frío que no evolucionaría hacia la estructura típica de los *medicanes* descrita entre otros por Picornell y Campins (SANTOS BURGUETE,

PICORNELL ALOU y CAMPINS PONS, 2018), y otros modelos ni siquiera preveían la formación de un ciclón mediterráneo, como finalmente así fue. En resumen, el día 10 existían elevadas incertidumbres sobre la formación de esta estructura típicamente de mesoescala que podría generar fuertes vientos y oleaje en la costa de Alicante.

La presencia de un ciclón mediterráneo no implica necesariamente que este vaya a tener estructura de *medicane* y, además, las incertidumbres en la predicción de formación de estos fenómenos son siempre elevadas, por lo que ante estas situaciones meteorológicas, desde los centros operativos de predicción se opta por aumentar la vigilancia, haciendo un seguimiento continuo de la estructura nubosa, de la convección (como elemento clave que suele estar presente en la formación de estos fenómenos debido a la enorme liberación de calor latente) y de la evolución de la presión al nivel del mar.

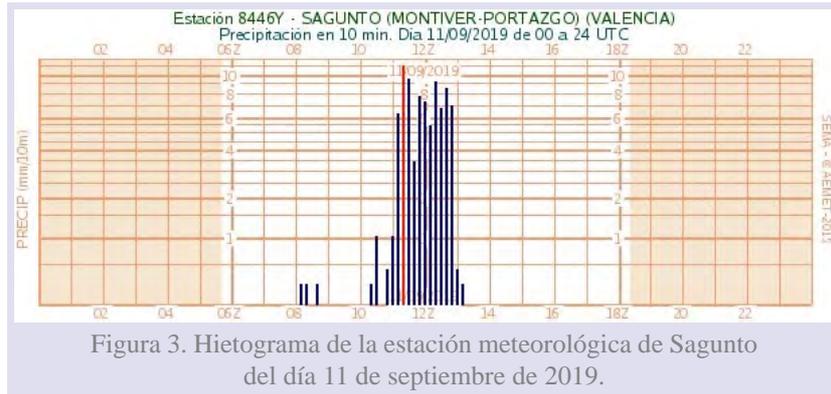
A pesar de las previsiones del modelo determinista IFS del Centro Europeo como la del modelo HARMONIE-AROME (figura 2), finalmente no se produjo la formación del ciclón mediterráneo, y no se observó en la mañana del día 11 la estructura nubosa característica de estos ciclones, con la típica espiral nubosa. La escasa o nula actividad convectiva de la madrugada seguramente fue determinante para la no formación del ciclón.



En cualquier caso, este ciclón, de haberse producido, habría sido la fase previa del temporal, dando paso a la fase más adversa a partir del mediodía del día 11, con la presencia de una dana como elemento más característico, con movimiento hacia el sur hasta situar su centro en la costa de Argelia a lo largo del día 11.

3. Tres días de lluvias torrenciales y fenómenos adversos

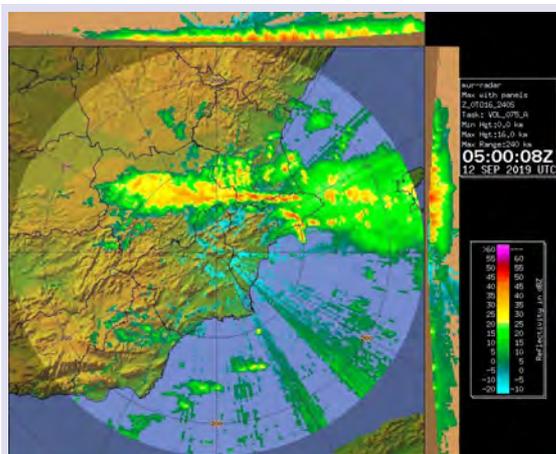
Como se ha comentado en el punto anterior, no hubo ciclón mediterráneo y por tanto no hubo presencia de un *medicane* frente a la costa de Alicante. Durante la mañana del día 11 no se registraron fenómenos adversos, y fue a partir del mediodía cuando comenzó la fase verdaderamente adversa del temporal.



A mediodía y primera hora de la tarde del día 11 ya se produjeron precipitaciones de intensidad muy fuerte en el Camp de Morvedre y sur de Plana Baixa, con registros en una hora que superaron los 40 l/m² y acumulados que se acercaron a 100 l/m² durante el episodio.

Pero la fase más adversa se desarrolló desde la madrugada del jueves 12 y hasta la mañana del viernes 13.

La secuencia de imágenes radar (producto ZMAX) del día 12 muestra la presencia de varios trenes convectivos que durante la madrugada del jueves 12 afectaron a las comarcas del norte de Alicante y sur de Valencia para posteriormente desplazarse hacia el sur, afectando a mediodía a la comarca de la Vega Baja y por la tarde al litoral del Baix Vinalopó.



En el norte de Alicante y sur de Valencia las precipitaciones tuvieron intensidad torrencial de madrugada y por la mañana del día 12 en localidades como Gaianes, l'Orxa, Beniarrés y Ontinyent. En esta última la intensidad fue torrencial alrededor de las 7 de la madrugada del día 12, con un acumulado en una hora de 65,4 l/m² para totalizar durante ese día 298,8 l/m².

En el observatorio del colegio de la Concepción de Ontinyent se llevan registrando datos más de 100 años, desde el inicio del siglo XX. La precipitación acumulada citada anteriormente es el mayor registro de precipitación en 24 horas en Ontinyent, superando los 216,0 del 1 noviembre de 1982.

A primera hora de la mañana del día siguiente, con el movimiento de la dana hacia el norte, nuevamente se produjeron precipitaciones de intensidad muy fuerte en esta zona del sur de Valencia, aunque con una duración más corta que el día anterior.

En total, en Ontinyent se acumularon 401,0 l/m² y en otras localidades del norte de Alicante y sur de Valencia, Gaianes, 482,8; Beniarrés, 482,6; l'Orxa, 413,8; Otos, 302,6; Moixent, 282,6; Muro d'Alcoi, 277,8; Orba, 276,0; Agres, 256,8.

La mayor adversidad del episodio se produjo en la comarca de la Vega Baja, donde el temporal descargó con intensidad torrencial en dos fases, en el entorno del mediodía del día 12 (figura 5), cuando se registraron 225,0 l/m², de los cuales 184,4 en dos horas en el pluviómetro que la Confederación Hidrográfica del Segura tiene en Orihuela. Menos de 24 horas después, a primera hora de la mañana del día 13, con el movimiento de la dana hacia el norte, un nuevo chubasco de intensidad torrencial descargó sobre la comarca, con 191,0 l/m² acumulados entre las 7 y las 10 de la mañana de los cuales 74,4 en una hora.

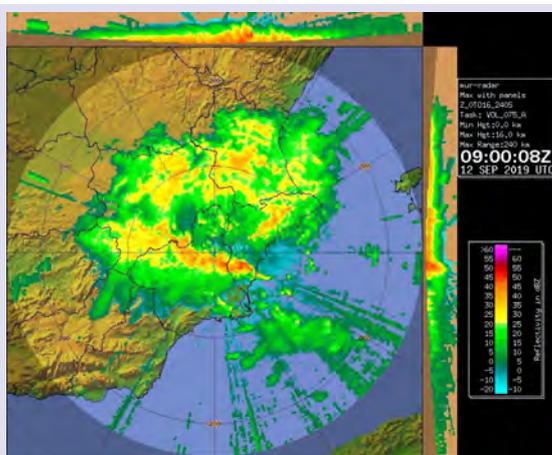


Figura 5. Imagen radar (producto ZMAX) del día 12 de septiembre de 2019 a las 09:00 UTC (11 hora oficial), mostrando el tren convectivo descargando en la zona de Orihuela, en la comarca de la Vega Baja.

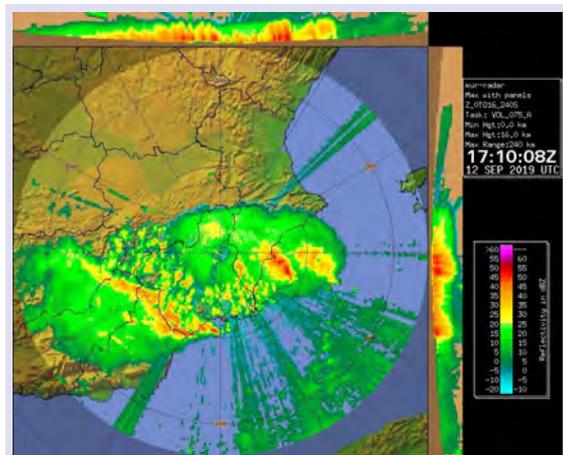
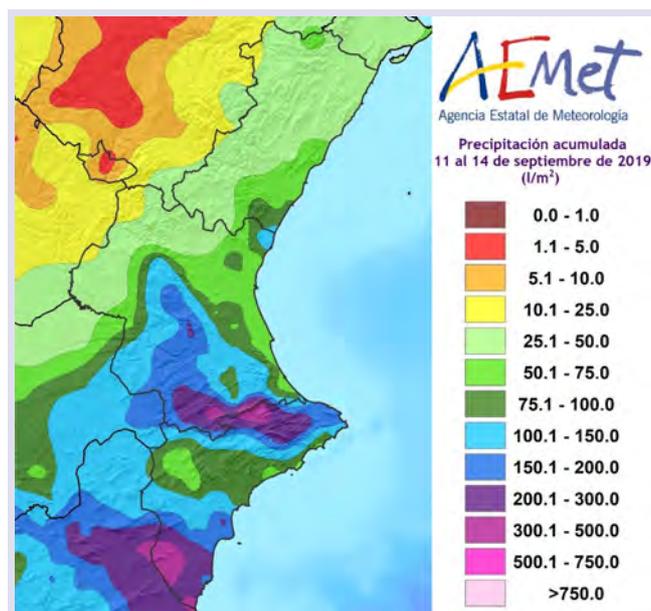


Figura 6. Imagen radar (producto ZMAX) del día 12 de septiembre de 2019 a las 17:10 UTC (19:10 hora oficial), mostrando el tren convectivo descargando en la zona de Santa Pola y del aeropuerto de Alicante-Elche.

En total, durante el episodio, en el pluviómetro de Orihuela de la Confederación Hidrográfica del Segura se acumularon 521,6 l/m², en Jacarilla, 404,6; en Crevillent, 323,2 y en el embalse de la Pedrera, 321,0. Hay que tener en cuenta que una precipitación como la que se acumuló en Orihuela equivale a una lámina de medio metro de agua sobre una superficie plana.

Destacar también las tormentas que se produjeron en el litoral del Baix Vinalopó, entre Santa Pola y Elche, afectando también a la zona del aeropuerto, donde la intensidad fue torrencial en la tarde del día 12 (figura 6), cuando se acumularon 67,6 l/m² en una hora, para un total registrado en el aeropuerto de Alicante-Elche durante el episodio de 212,7 l/m².

En la figura 7 se adjunta el mapa de precipitación acumulada durante el episodio y un listado con los valores más destacados. Los datos proceden de las redes de AEMET, Confederación Hidrográfica del Segura y Confederación Hidrográfica del Júcar.



Precipitación acumulada
Redes AEMET, CH Segura y CH Júcar
Días 10 al 14 de septiembre de 2019

Observatorio	Precipitación acumulada
Orihuela (CH Segura)	521,6
Gaianes	482,8
Beniarrés	482,6
l'Orxa	413,8
Jacarilla	404,6
Ontinyent	401,0
Crevillent	323,2
Embalse de la Pedrera (CH Segura)	321,0
Orihuela (los Desamparados)	318,2
Otos	302,6
Moixent	282,6
Muro d'Alcoi	277,8
Orba	276,0
Agres	256,8
Guadalest	249,6
Alcalalí	243,6
Torrelamata	220,1
Rojales	215,0
Millares	213,0
Aeropuerto de Alicante-Elche	212,7
Fontanars dels Alforins	206,0
Buñol	188,8
Enguera	185,0
La Vall de Gallinera	182,4
Xàbia (Montgó)	180,5
Bicorp	173,4
Torreveja	167,4
Tous	155,4
Barx	153,0
Pego	145,6
Elche/Elx	139,0
Alcoy/Alcoi	135,4
Sagunto	125,6

Observatorio	Precipitación acumulada
Jalance	124,3
Faura	122,8
Novelda	118,8
Pinoso	118,8
Carcaixent	108,6
Quartell	101,8
Almenara	100,0
Xàtiva	93,6
Ibi	93,2
Alicante/Alacant	92,6
València	73,9
Polinyà	73,6
Chiva	70,8
Alginet	64,9
Oliva	64,6
Miramar	64,4
Aepuerto de València	64,0
Fredes	58,6
Villena	58,0
Sueca	51,2
Castelló de la Plana	50,8
Morella	46,8
Vilafranca	39,0
Catí	39,0
Castellfort	37,8
Vinaròs	36,2
Montanejos	36,0
Atzeneta del Maestrat	34,4
Torreblanca	31,2
Llíria	30,8
Utiel	26,4
Chelva	24,2
Ademuz	4,4

* Datos provisionales sometidos a una validación posterior

Figura 7. Imagen superior, mapa de precipitación acumulada en el temporal de lluvias de septiembre de 2019. Imagen inferior, listado con algunos de los datos registrados.

4. Valoración meteorológica

La circulación de una dana tan profunda por el sur de la Península en una fecha tan temprana del otoño climatológico, en la primera mitad de septiembre, es un hecho extremadamente anómalo.

En base a los análisis del modelo IFS del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio de las 00, 06, 12 y 18 UTC de los días 8 al 14 de septiembre de 2019, se han representado gráficamente

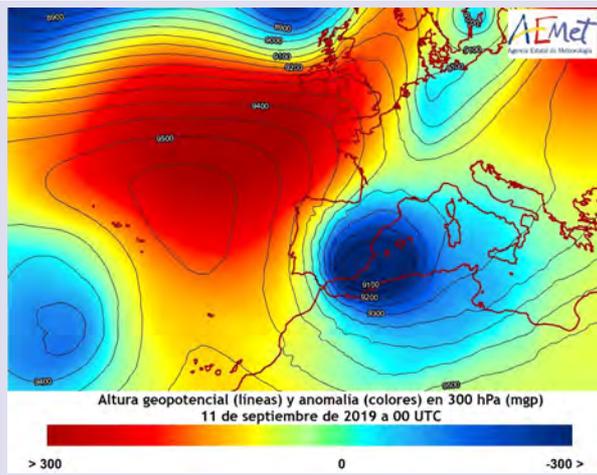


Figura 8. Altura geopotencial y anomalía de altura geopotencial en 300 hPa el 11 de septiembre de 2019 a las 00 UTC.

la altura geopotencial y la anomalía de altura geopotencial en 300 hPa. Estos mapas muestran la gran anomalía que supuso la presencia de la dana en el suroeste de la Península (figura 8).

Admitiendo que la situación meteorológica era muy anómala para la primera mitad de septiembre, se ha establecido un método objetivo para identificar si esta profunda dana tiene precedentes o no en los registros meteorológicos. Para ello se han extraído todos los datos históricos de los sondeos aerológicos de las estaciones de Murcia, que cuenta con datos desde 1984 hasta la actualidad, y de Dar El Beïda, en Argelia, que cuenta con datos de altura desde 1948 hasta la actualidad. En un momento u otro del temporal la dana transitó sobre estas estaciones de radiosondeo del área mediterránea suroccidental, aunque Dar El Beïda quedó algo al este del centro de la dana.

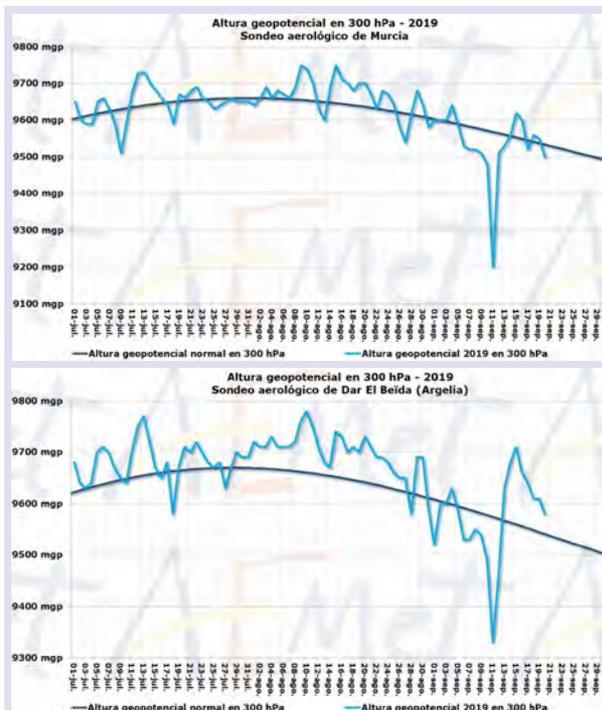


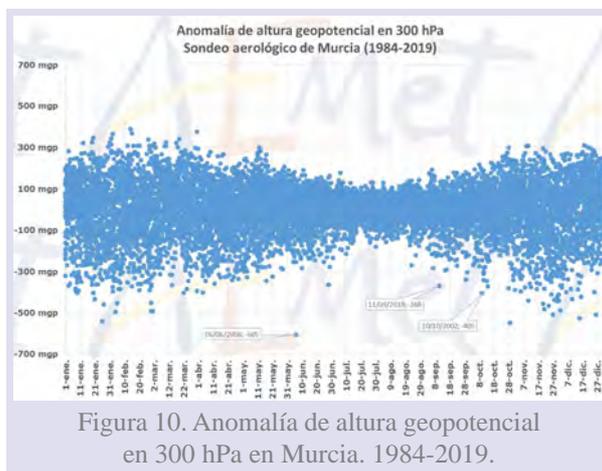
Figura 9. Altura geopotencial en 300 hPa frente a los valores normales en Murcia (arriba) y Dar El Beïda (abajo). 1 de julio al 20 de septiembre de 2019.

Se han analizado los registros de temperatura y altura geopotencial en 500 y 300 hPa, se han calculado los valores medios normales diarios en base a los registros históricos y se ha analizado si la anomalía de geopotencial registrada durante el paso de la dana por ambas estaciones de radiosondeo tenía precedentes o no en sus respectivas series históricas. Como las conclusiones obtenidas en 500 y 300 hPa son similares, para evitar redundancias en el análisis, solo se van a presentar los datos de la superficie de 300 hPa.

En ambas estaciones el mínimo de altura geopotencial se registró en el sondeo de las 00 UTC del día 11, con 9200 mgp en Murcia y 9330 en Dar El Beïda (figura 9).

El gráfico de evolución de la altura geopotencial en 300 hPa muestra la gran anomalía registrada el día 11 a las 00 UTC en ambos observatorios. En Murcia la anomalía fue de -368 mgp y en Dar El Beïda de -244 .

Por lo que respecta a Murcia, la anomalía de geopotencial registrada en valor absoluto es la más alta de todas las registradas en esta estación de radiosondeo en julio, agosto o septiembre (figura 10). La mayor dispersión (grandes anomalías positivas y negativas) se suele observar en los meses de invierno, cuando conviven estados de tiempo extremadamente estables con circulaciones bajas en latitud de profundas borrascas extratropicales. Pero en verano, y hasta bien entrado el otoño,



el ascenso en latitud del cinturón de altas presiones subtropicales hace extremadamente raro que se produzcan danas tan profundas como la registrada los días 11 al 14 de septiembre de 2019. De hecho, y en base a los datos, habría que concluir que la dana que circuló por el sureste de la Península durante el temporal de septiembre es la más profunda de las registradas en la estación de radiosondeos de Murcia entre el 6 de junio y el 10 de octubre del periodo 1984-2019.

Dar El Beïda quedó situada algo al este del centro de la dana, por lo que la anomalía de geopotencial, -244 mgp, fue menor que en Murcia; aun así, la anomalía registrada el 11 de septiembre de 2019 a las 00 UTC en valor absoluto, es la más alta en un mes de julio, agosto o primera mitad de septiembre. En la segunda mitad de septiembre hay registros algo más anómalos el 18 de septiembre de 1988 (-299), el 16 de septiembre de 1972 (-266), el 17 de septiembre de 1996 (-262), el 23 de septiembre de 1993 (-260), y el 18 de septiembre de 1968 (-253), todos por tanto en el siglo XX.

5. Valoración climatológica de las precipitaciones en la comarca de la Vega Baja

Subjetivamente, la presencia de una dana extraordinariamente profunda en la primera mitad de septiembre, tal y como se ha analizado en el punto anterior, y precisamente en la época en la que más energía disponible hay en la baja troposfera, casi necesariamente tendría que implicar que los fenómenos meteorológicos que se produjesen también serían extraordinarios a poco que el flujo en capas bajas tuviese la configuración adecuada, como así ocurrió en este caso.

Para realizar una valoración objetiva de la precipitación acumulada durante el temporal de septiembre de 2019 en la comarca de la Vega Baja, se han seleccionado aquellos episodios históricos que cumplen una doble condición:

1. Son episodios de precipitaciones que han dado lugar a riadas en la cuenca del Segura de acuerdo con la cronología que la Confederación Hidrográfica del Segura ofrece en su [página web en este enlace](#).
2. Son episodios en los que además de riadas del Segura, se han registrado cantidades importantes de precipitación en la comarca de la Vega Baja. Esta segunda condición se ha introducido ya que la valoración que se va a realizar es climatológica, y a veces, como se comprobará con el ejemplo comentado al final de este documento sobre la riada de 1879, se pueden producir catastróficas riadas en la cuenca baja de un río a causa de las lluvias torrenciales en el cauce medio o alto, sin que llueva de forma significativa en las localidades próximas a la desembocadura.

Por tanto nuestro criterio será que haya lluvias torrenciales y desbordamiento del río en la comarca de la Vega Baja de forma simultánea. Una vez seleccionados los episodios que cumplen la doble condición, se van a calcular los valores estadísticos básicos comarcales: precipitación media, máxima y mínima, y se va trazar un mapa de lluvia acumulada durante cada episodio.

El valor de precipitación media en una superficie resulta más robusto que el uso de datos puntuales, por lo que la comparación del volumen de precipitación (precipitación media multiplicado por la superficie de la comarca), nos permitirá poner en contexto los registros de este temporal con otros históricos.

La precipitación media anual en la superficie de la comarca de la Vega Baja es de 296,8 l/m².

5.a. Temporal de septiembre de 2019

Comarca de la Vega Baja (El Baix Segura)
Precipitación media, máxima y mínima comarcal

Episodio	Precipitación MEDIA comarcal	Precipitación MÁXIMA comarcal	Precipitación MÍNIMA comarcal
Septiembre de 2019	287,5	521,6	160,3

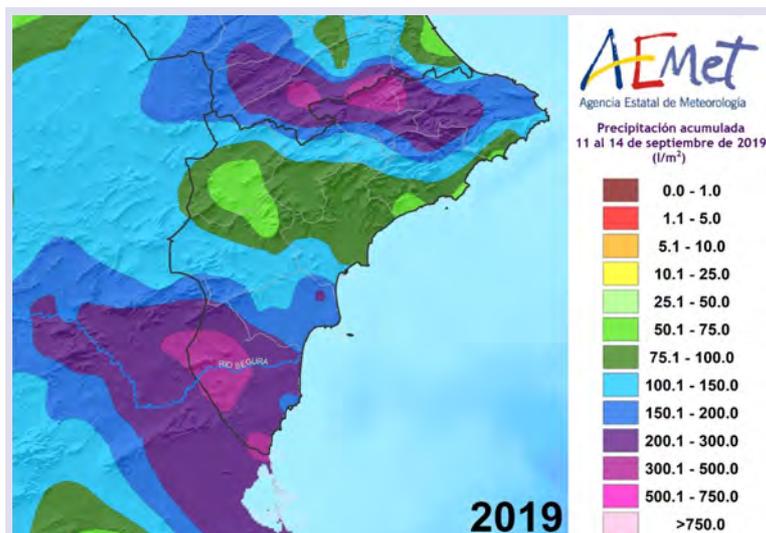


Figura 11. Datos estadísticos comarcales del episodio de lluvias de septiembre de 2019 en la Vega Baja y mapa de precipitación acumulada.

5.b. Temporal de diciembre de 2016

Comarca de la Vega Baja (El Baix Segura)
Precipitación media, máxima y mínima comarcal

Episodio	Precipitación MEDIA comarcal	Precipitación MÁXIMA comarcal	Precipitación MÍNIMA comarcal
Diciembre de 2016	139,3	221,1	83,5

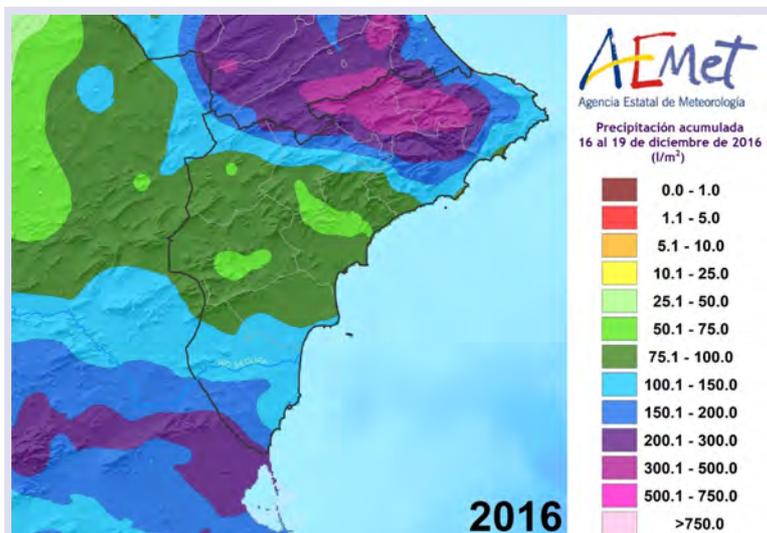


Figura 12. Datos estadísticos comarcales del episodio de lluvias de diciembre de 2016 en la Vega Baja y mapa de precipitación acumulada.

5.c. Temporal de noviembre de 1987

Comarca de la Vega Baja (El Baix Segura)
Precipitación media, máxima y mínima comarcal

Episodio	Precipitación MEDIA comarcal	Precipitación MÁXIMA comarcal	Precipitación MÍNIMA comarcal
Noviembre de 1987	207,1	316,2	65,9

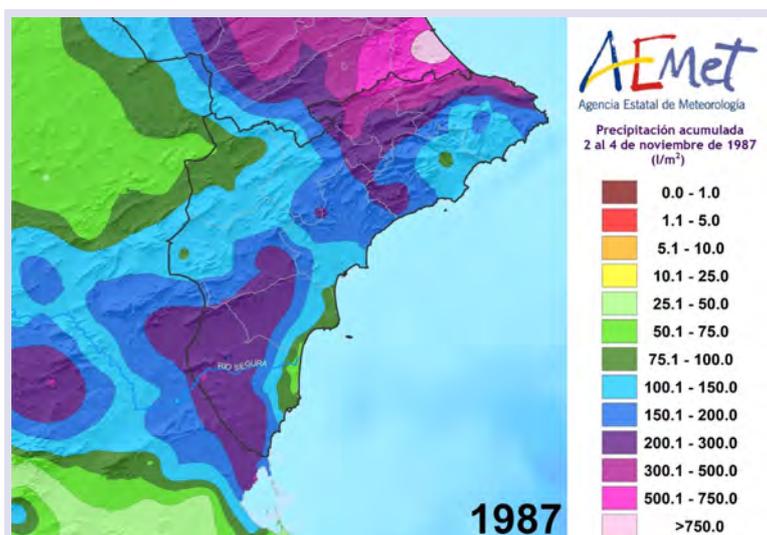
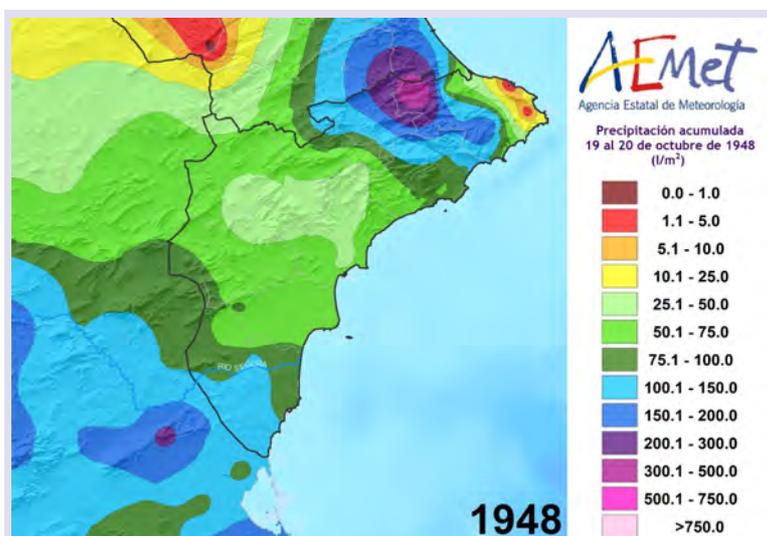


Figura 13. Datos estadísticos comarcales del episodio de lluvias de noviembre de 1987 en la Vega Baja y mapa de precipitación acumulada.

5.d. Temporal de octubre de 1948

Comarca de la Vega Baja (El Baix Segura)
Precipitación media, máxima y mínima comarcal

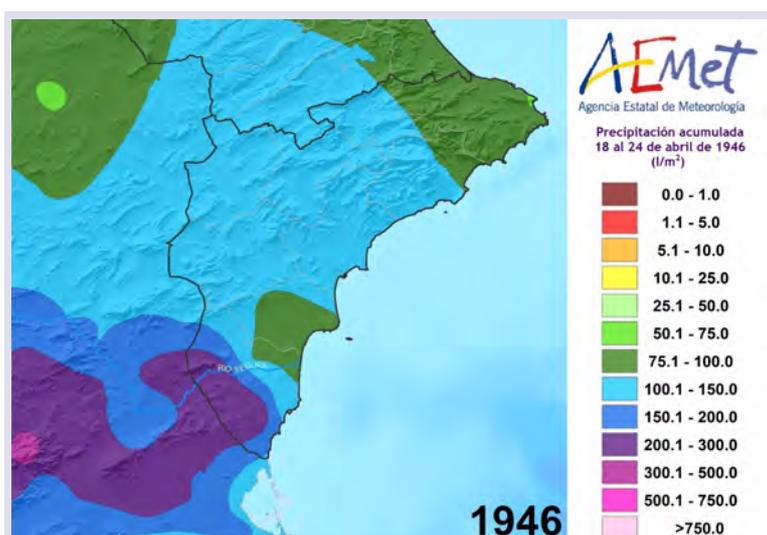
Episodio	Precipitación MEDIA comarcal	Precipitación MÁXIMA comarcal	Precipitación MÍNIMA comarcal
Octubre de 1948	97,7	139,4	53,1



5.e. Temporal de abril de 1946

Comarca de la Vega Baja (El Baix Segura)
Precipitación media, máxima y mínima comarcal

Episodio	Precipitación MEDIA comarcal	Precipitación MÁXIMA comarcal	Precipitación MÍNIMA comarcal
Abril de 1946	174,0	272,2	87,8



Sobre este último temporal de abril, resulta importante hacer una precisión que será válida y extensible a otros temporales primaverales e invernales que han dado lugar a crecidas del río Segura.

El temporal de abril de 1946 que dio lugar a la riada conocida como de la Bendita o de San Sotero fue muy largo, típico de los temporales invernales y primaverales, más caracterizados por la persistencia que por la intensidad. La riada se produjo el día 21 de abril, aunque el temporal se prolongó entre los días 18 y 24 de abril de 1946.

Los temporales que producen riadas y avenidas en primavera o invierno suelen ser largos, y aunque se puede producir torrencialidad en un temporal primaveral, desde luego no tiene la misma dimensión que la torrencialidad otoñal.



Figura 16. Porcentaje de días en los que al menos una estación registró precipitación de intensidad torrencial en cada estación del año.

Además, la torrencialidad primaveral, cuando se produce, suele estar muy focalizada, mientras que la otoñal suele afectar a un área extensa. El gráfico de la figura 16, que representa el porcentaje de días con precipitación torrencial de las estaciones de la red de AEMET en la Comunidad Valenciana, muestra cómo el 70 % de los casos en los que hay precipitación torrencial se producen en otoño (septiembre, octubre o noviembre), el 27 % en verano (junio, julio o agosto), el 3 % en primavera (marzo, abril o mayo), y no ha habido ningún caso en invierno.

5.f. Temporal de noviembre de 1916

Según la Confederación Hidrográfica del Segura, el 28 de noviembre de 1916 se produjo la conocida como riada de San Saturnino. En una fecha tan temprana del siglo XX, la escasa densidad de estaciones no permite hacer un cálculo de volumen de precipitación, ni dibujar un mapa con la precipitación acumulada, pero sí que se dispone de datos de precipitación acumulada en algunas localidades de la Región de Murcia y del sur de Alicante. Algunos acumulados durante ese temporal se muestran en la tabla de la figura 17:

NOMBRE	Total
ORIHUELA F A L	224,0
TOTANA (ALQUERÍAS)	161,2
MURCIA INSTITUTO	157,8
TOTANA (LA CARRASCA)	154,8
ALICANTE-INSTITUTO	147,8
LORCA CASA IGLESIAS	140,0
ALHAMA (HUERTA ESPUÑA)	106,9

Figura 17. Precipitación acumulada en el temporal de noviembre de 1916.

En resumen, si reunimos los datos estadísticos comarcales de los episodios analizados (salvo el de 1916, del que no se ha podido calcular el volumen), obtenemos la tabla resumen de la figura 18.

Comarca de la Vega Baja (El Baix Segura)
Precipitación media, máxima y mínima comarcal

Episodio	Precipitación MEDIA comarcal	Precipitación MÁXIMA comarcal	Precipitación MÍNIMA comarcal
Septiembre de 2019	287,5	521,6	160,3
Diciembre de 2016	139,3	221,1	83,5
Noviembre de 1987	207,1	316,2	65,9
Octubre de 1948	97,7	139,4	53,1
Abril de 1946	174,0	272,2	87,8

Figura 18. Datos estadísticos comarcales de los episodios de lluvias torrenciales que han provocado desbordamiento del río Segura en la comarca de la Vega Baja.

Algunas conclusiones de la tabla resumen:

- El temporal de septiembre de 2019 es el de mayor precipitación acumulada de los analizados, con un 39 % más de precipitación en el promedio de la comarca que el siguiente en volumen, que fue el de noviembre de 1987.
- Durante unas pocas horas de temporal, entre la mañana del día 12 y la mañana del día 13, se acumuló en el promedio de la comarca el equivalente a la lluvia de un año.
- El temporal de septiembre de 2019 es el de mayor precipitación acumulada en la comarca en al menos los últimos 100 años. Aunque no se ha podido realizar cálculo del volumen de precipitación de noviembre de 1916, los datos registrados indican que el volumen de precipitación durante ese temporal debió de ser notablemente inferior al de septiembre de 2019.

6. Otra inundación histórica: la riada del día de Santa Teresa de 1879

Del análisis del punto anterior se deduce que las lluvias torrenciales de septiembre de 2019 en la Vega Baja son las que acumularon más cantidad de precipitación en la comarca en los siglos XX y XXI hasta 2019. Por lo que el precedente de las lluvias de 2019 podría hallarse en las hipotéticamente registradas durante la riada de 1879.

La riada del Segura que resultó más catastrófica de las conocidas fue la llamada riada del día de Santa Teresa, del 15 de octubre de 1879. Se estima que entre Murcia, Orihuela y localidades del curso bajo del río provocó más de 1000 muertos. Esta riada causó gran impacto en la sociedad española de la época y tuvo un amplio eco en la prensa nacional e internacional e incluso desató una oleada de solidaridad internacional.

Según la «Memoria de la Junta de Senadores y Diputados creada por Real Decreto de 18 de Octubre de 1879 para la distribución de socorros a las comarcas inundadas de las provincias de Alicante, Almería y Murcia», el nivel del agua en algunas calles de Orihuela llegó a 3,8 m.

Tanto impactaron los efectos de la riada de 1879 en la sociedad de la época, que incluso sus efectos llegaron a quedar plasmados en obras de arte, como la impactante obra de



Figura 19. *Episodio de la inundación de Murcia* (1892). Forma parte de los fondos del Museo Nacional del Prado y está expuesto en el Museo de Zaragoza.

Muñoz Degrain que describe las consecuencias de las trágicas riadas del Segura de 1879. El óleo «Episodio de la inundación de Murcia» (1892), forma parte de los fondos del Museo Nacional del Prado y está expuesto en el Museo de Zaragoza.

Antonio Muñoz Degrain, fecundo pintor valenciano de finales del XIX y principios del XX, estuvo fuertemente impactado por la trágica riada del Segura de 1879 y también por la de València de 1897 y realizó varias obras con esta temática. El conjunto es sobrecogedor. En el óleo se ve en segundo plano un grupo que representa a una madre sosteniendo a su hijo en alto intentando protegerlo de morir ahogado arrastrado por la riada. El color ocre de las aguas cargadas de lodos y el dramatismo de la madre desesperada en medio de la riada, en una posición forzada, casi imposible, para darle mayor impacto emocional a la escena, nos trasladan a una de las furiosas inundaciones de las que se producen en tierras alicantinas, valencianas, castellonenses y murcianas con cierta recurrencia.

Del año 1879 solo hay disponibles en el banco de datos climatológico nacional registros de 32 observatorios, de los cuales uno era el del instituto de Murcia y otro el del instituto de Alicante. Durante los días 14 y 15 de octubre de 1879, en el observatorio de Murcia se acumularon 13,4 l/m² (7,3 el día 14 y 6,1 el día 15) y en el de Alicante 4,4 l/m² el día 15, cantidades de precipitación que son muy bajas y que no justifican la crecida del río.

Los testimonios recogidos en la prensa de la época desde Orihuela relatan que «el río Segura, **acrecentado por las lluvias de otras partes**, no tan solo ha roto su cauce sino que ha elevado sus aguas a una altura increíble».



Figura 20. Recorte de la primera página del periódico *La Correspondencia de España* del 20 de octubre de 1879. Fuente: Hemeroteca Digital de la Biblioteca Nacional de España.

La memoria de la junta de senadores y diputados creada en 1879 para la distribución de socorros a las comarcas inundadas de las provincias de Alicante, Almería y Murcia, indica que la catástrofe se produjo por las lluvias en la cabecera del Guadalentín: «de todos modos, aparece demostrado que la catástrofe, en primer término, se debió al Guadalentín (sic)» (página 38 de la Memoria).

Artículos que han investigado la tragedia, como el de Calvo García-Tornel, Conesa García y Álvarez Rogel, «La inundación de octubre de 1879 en el bajo Segura. Magnitud y efectos inducidos», Estudios Geográficos, LXII, 242 (2001), llegan a la conclusión de que las lluvias intensas que provocaron el desbordamiento del Segura en 1879 se produjeron en la cabecera hasta el embalse de Puentes, «en un área de lluvia intensa de 150 km², y tuvo una duración en el periodo de mayor intensidad pluviométrica de 2 horas. La estimación de la intensidad máxima de lluvia fue de 600 l/m²». En el tramo medio, hasta el abanico aluvial de Lorca, «la lluvia fue moderada», y en el tramo bajo la «lluvia fue moderada o nula».

De todos estos testimonios e investigaciones, se deduce que la riada del día de Santa Teresa no cumple con la segunda de las condiciones establecidas, que además de riada, se hubiesen registrado cantidades importantes de precipitación en la comarca de la Vega Baja, por lo que tenemos que concluir que el temporal de lluvias de septiembre de 2019 en la comarca alicantina de la Vega Baja es el de mayor volumen de precipitación de todos los conocidos.

Además, uno de los actores meteorológicos que estuvo presente, la depresión aislada en niveles altos, no tiene precedentes en una fecha tan temprana del otoño en nuestras latitudes.

Valencia a 26 de septiembre de 2019.

LA RIADA DE CEBOLLA DEL 8 DE SEPTIEMBRE DE 2018

(publicado en el blog de AEMET el 28 de septiembre de 2019)

Darío Cano¹, David López-Rey² y Ricardo Torrijo³

¹ Jefe de la oficina meteorológica del aeropuerto de Barajas (AEMET)

² Presentador del espacio del Tiempo del Canal de Extremadura TV

³ Meteorólogo del Equipo Técnico de la Delegación Territorial de AEMET en Madrid



Figura 1. Imágenes de la riada en Cebolla. Foto tomada del *Diario de Toledo* del 8/09/2018: <https://toledodiario.es/cebolla-vive-una-tremenda-e-historica-riada-en-plena-celebracion-de-las-fiestas/>.

Introducción

Hace aproximadamente un año, el 8 de septiembre de 2018, sobre las 16 horas locales, en la localidad toledana de Cebolla, situada en el cauce medio del río Tajo, se produjeron unas inundaciones súbitas que, afortunadamente, no causaron pérdidas humanas, pero sí importantes daños materiales.

Analizamos la situación meteorológica responsable de tales acontecimientos: una depresión aislada en los niveles altos (dana), la cual llevaba asociada una *línea seca convectiva* en el sector cálido, fue el entorno donde se desarrolló una *supercélula*, cuyo recorrido cuasiestacionario coincidía, lamentablemente, con el cauce, aguas arriba, del arroyo que atraviesa la localidad. Haremos una breve descripción hidrológica con la acumulación de agua medida con el radar meteorológico y una reflexión acerca del debate abierto en diversos foros sobre la necesidad de ir avanzando en un mayor conocimiento de las relaciones

entre los avisos meteorológicos y los impactos socioeconómicos que puedan tener asociados. En el caso de las lluvias fuertes habría que prestar atención a los impactos provocados en las localidades ubicadas en entornos orográficos favorables a las inundaciones.

Las precipitaciones que se originaron fueron, en general, dispersas pero localmente intensas: 50 mm en Navalvillar de Pela (Badajoz), 41 en Ourense y 37 en Sos del Rey Católico (Zaragoza) y Archena (Murcia). La estación del SIAR en Cebolla registra 34,0 mm (33,2 en una hora).

Marco sinóptico

El mapa isobárico correspondiente a las 12 h UTC del 8 de septiembre de 2018 nos muestra un pantano barométrico sobre la Península, con un mínimo relativo de poca entidad (1015 hPa) frente a Lisboa que es reforzado en la misma vertical con un embolsamiento de aire frío (-15 °C a 500 hPa). Además, en niveles altos (a 300 hPa) la circulación del *jet stream* queda aislada de la circulación general. Estas características nos permiten determinar que se trataba de una situación de dana.

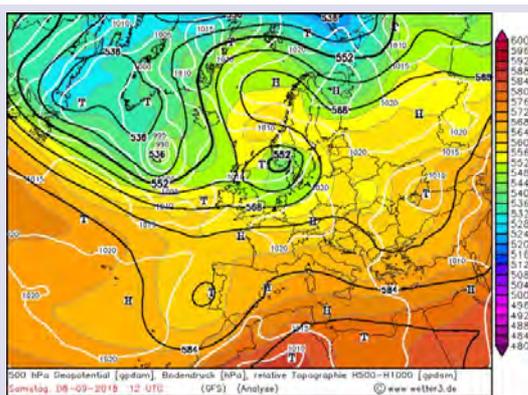


Figura 2. Análisis de presión en superficie y de altura geopotencial a 500 hPa del 8 de septiembre de 2018 GFS. En él se aprecia una homogeneidad del campo barométrico y una dana en altura en el oeste peninsular.

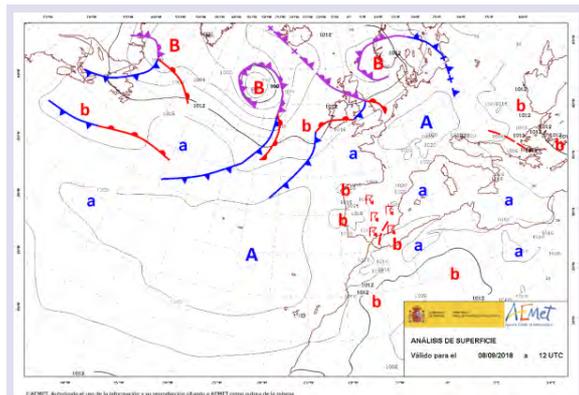


Figura 3. Isobaras en superficie y diagnóstico en superficie. La línea discontinua roja representa una línea de convección cálida o prefrontal.

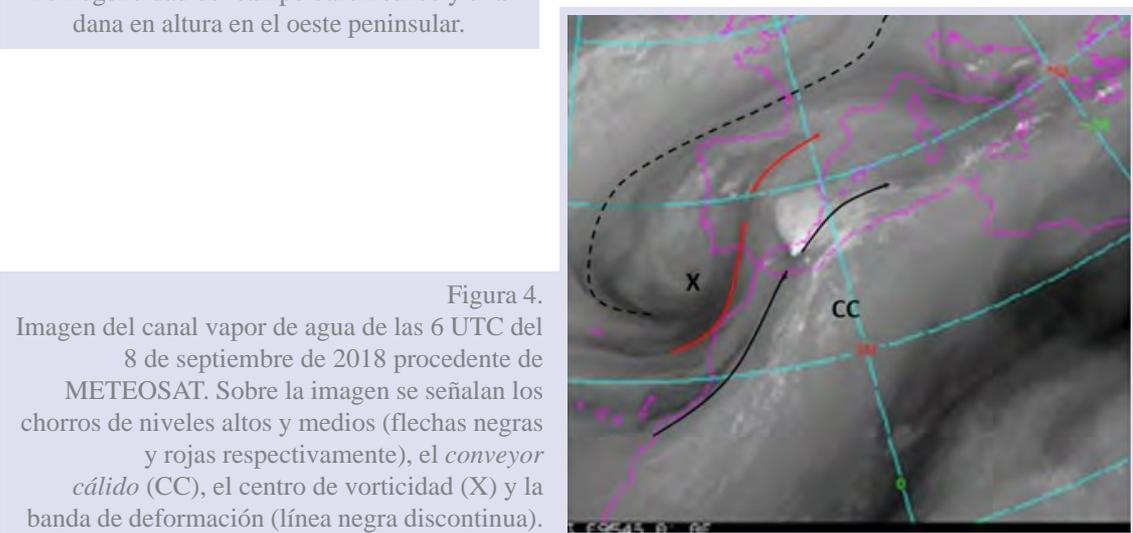


Figura 4. Imagen del canal vapor de agua de las 6 UTC del 8 de septiembre de 2018 procedente de METEOSAT. Sobre la imagen se señalan los chorros de niveles altos y medios (flechas negras y rojas respectivamente), el conveyor cálido (CC), el centro de vorticidad (X) y la banda de deformación (línea negra discontinua).

Por la zona delantera de una depresión aislada de la circulación se elevan en latitud y altitud dos bandas brillantes delimitadas por líneas oscuras. La banda más brillante, al este, se corresponde con el *conveyor cálido* y la más tenue, al oeste, se corresponde con una *pluma* del vapor de agua con forma baroclina. Ambas estructuras quedan bien delimitadas por bandas oscuras por donde circulan los máximos de viento. La diferencia de brillo nos indica la diferencia de altura a la que se sitúan, más arriba la más brillante (niveles altos: 300 mb) y más abajo la más tenue (niveles medios: 500 mb).

Podemos observar cómo en el punto de inflexión de ambas estructuras aparecen moteados más brillantes que se corresponden con el desarrollo de convección. Estos puntos de inflexión se caracterizan por dos aspectos importantes: en ellos los chorros se frenan aportando vorticidad y en ellos los flujos divergen.

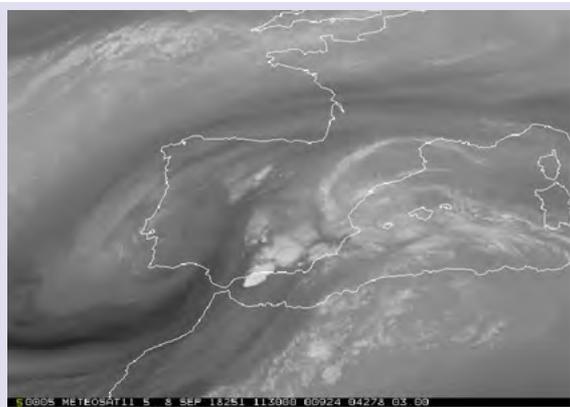


Figura 5. Imagen del canal vapor de agua de las 12 UTC del 8 de septiembre de 2018 procedente de METEOSAT.

En el punto de inflexión del chorro de nivel alto se detecta un cumulonimbo que extiende su yunque hacia el norte en la dirección del viento con la clara forma divergente. Su aspecto picudo indica su organización como *supercélula*.

A las 12 UTC (fig. 5) la pluma del vapor de agua se ha desplazado hacia el este, observamos en su interior varias bandas oscuras entreveradas que delatan la presencia de varios máximos de vientos y fuertes contrastes de humedad. El sistema convectivo de las 6 UTC se ha disipado ya pero aún quedan indicios de cirros. En

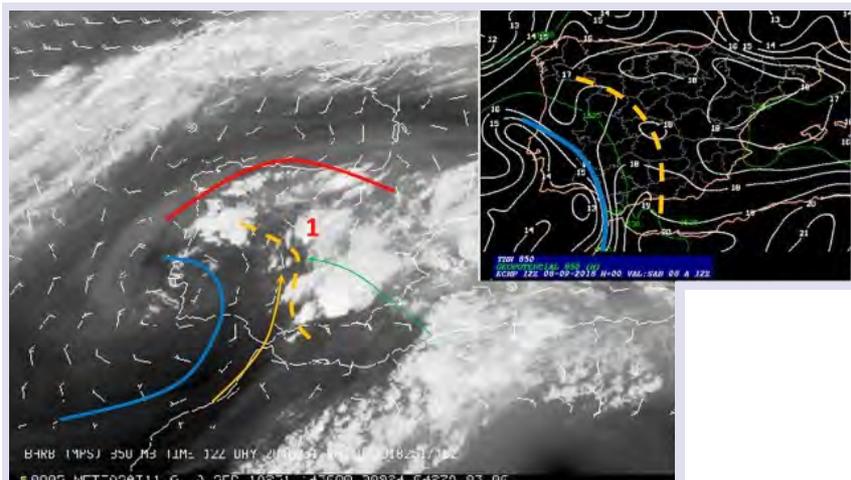


Figura 6. En primer plano, imagen del canal de vapor de agua 7.3 micras de las 14 UTC del 8 de septiembre de 2018 procedente de METEOSAT. Con barbas se representa el análisis del campo de viento en 850 hPa del modelo ECMWF de las 12 UTC. Con la línea naranja discontinua se representa la línea seca (*dry line*). Las flechas naranja y verde representan los flujos de niveles bajos seco y húmedo respectivamente. Las líneas azul y roja son el frente frío y cálido en un nivel sobre 850 hPa. El 1 sitúa la célula de Cebolla. Arriba a la derecha, el análisis de temperatura potencial del termómetro húmedo (líneas blancas en 850 hPa y en líneas verdes el geopotencial en 500 hPa del modelo ECMWF de las 00 H+12).

el interior de la pluma del vapor de agua volvemos a ver convección organizada (picuda) frente a las costas de Málaga y otros núcleos menos brillantes. Esto es una señal inequívoca de que la dorsal de temperatura en los niveles bajos (850 mb) ha penetrado desde el sureste hasta el interior de la pluma (fig. 6).

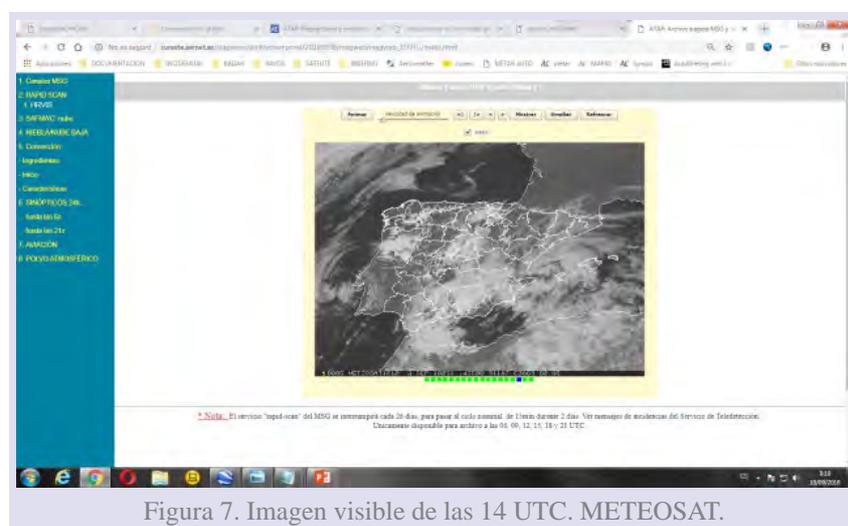
Las observaciones en superficie marcan varios flujos de aire: uno de aire mediterráneo húmedo que penetra en el interior peninsular por el pasillo de Almansa, atravesando toda La Mancha; otro de carácter seco que recorre la vega baja del Guadalquivir y el este de Extremadura; y, por otro, una corriente húmeda originaria de las tormentas que en esos momentos descargaban en el sistema Central. Las tres confluían en el entorno de Cebolla.

A las 14 UTC la célula convectiva que afectó a Cebolla ya está formada. Aparece en el interior de la pluma del vapor de agua en una línea seca (fig. 4) que separa dos masas de aire: una más seca (más oscura) que penetra desde el suroeste y otra más brillante (más húmeda) que penetra desde el este. Se trata de la célula situada más al norte de la línea seca.

A diferencia de las células situadas más al sur de la línea seca que, aunque también picudas, extienden sus cirros hacia el nordeste, la célula de Cebolla se abre en abanico delatando así que se halla en un punto de divergencia en niveles medios-altos.

Diagnóstico mesoescalar

En la imagen del canal visible distinguimos tres regiones donde se localiza la convección: al sur de la Península un gran sistema convectivo que extiende sus yunques hacia el nordeste, en el norte de Portugal varios cumulonimbos extienden sus yunques hacia el oeste y en la provincia de Toledo un cumulonimbo, el de Cebolla, con un acusado pico y extendiendo sus cirros hacia el norte en forma de abanico. Esta forma del cumulonimbo de Cebolla indica que se encuentra en una zona divergente en niveles altos y que debe tratarse de una *supercélula*, esto es, organizada en torno a un *mesovórtice* en la corriente ascendente.



Las líneas de nubes bajas en el golfo de Cádiz que se adentran hacia el interior peninsular son evidencia de líneas de convergencia de humedad en los niveles bajos en concordancia con las entreveradas líneas negras del canal de vapor de agua (figs. 3 y 4). Estas discontinuidades en el campo de humedad provocan una fuerte convergencia horizontal de humedad y capas de inestabilidad potencial en la distribución vertical.

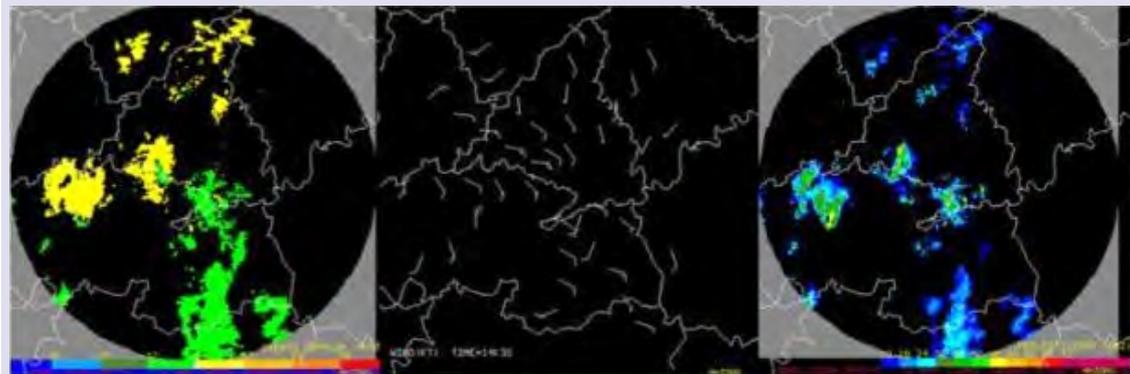


Figura 8. Imágenes del radar de Madrid. A la izquierda viento radial, en el centro viento cartesiano y a la derecha reflectividad PPI.

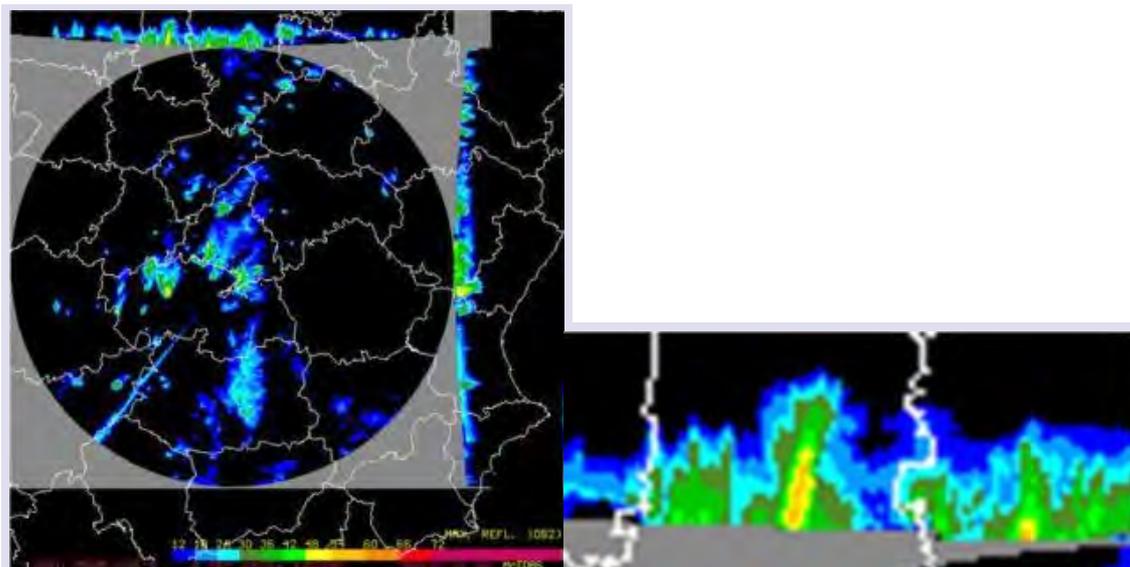


Figura 9. Reflectividad PPI de radar de Madrid en modo normal a las 14:10 UTC.

En las imágenes de radar se observan las principales características de una *supercélula*: abalcoamiento leve en el corte vertical de la reflectividad, forma de «habichuela» de alta reflectividad con región de eco débil, giro ciclónico en la imagen del viento radial y el viento cartesiano.

Sondeos

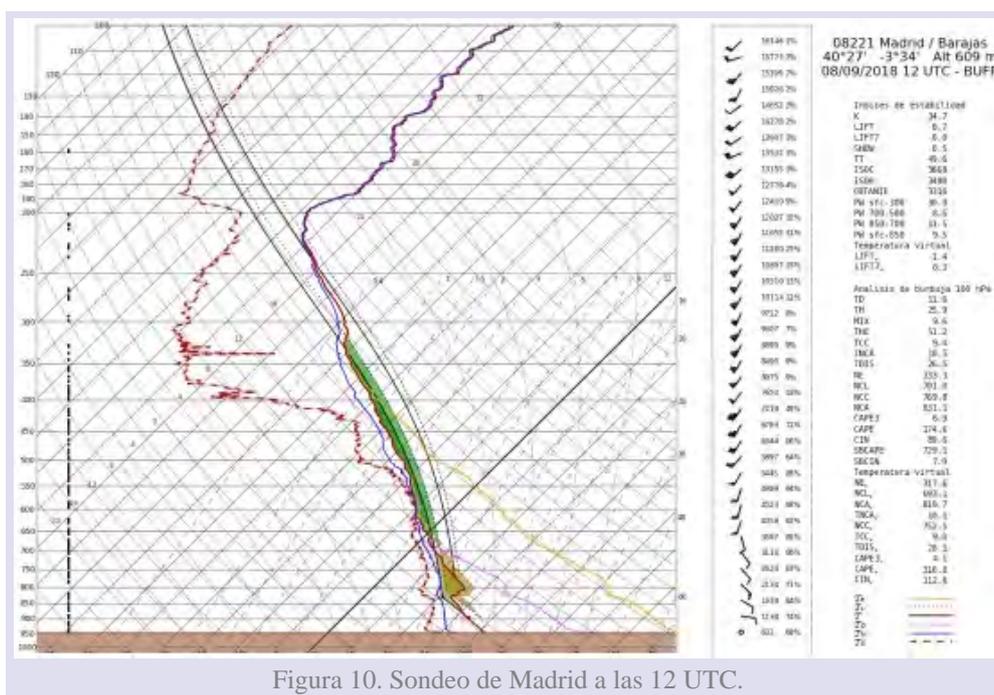


Figura 10. Sondeo de Madrid a las 12 UTC.

	Madrid		Murcia	
	00 h	12 h	00 h	12 h
CAPE	163,0	174,6	129,8	84,2
LI	-0,3	-1,4	0,1	-1,1
CIN	37,1	89,6	230,2	352,1

Tabla 1. Datos de los sondeos realizados en los observatorios de Madrid-Barajas (08221) y de Murcia (08430) el día 8 de septiembre de 2018.

Hidrología

La localidad de Cebolla se halla en una zona de riesgo de inundaciones como se ve en el mapa publicado por la Confederación Hidrográfica del Tajo (fig. 13). Hay que tener en cuenta que el cómputo de episodios de inundación está muy relacionado con las zonas

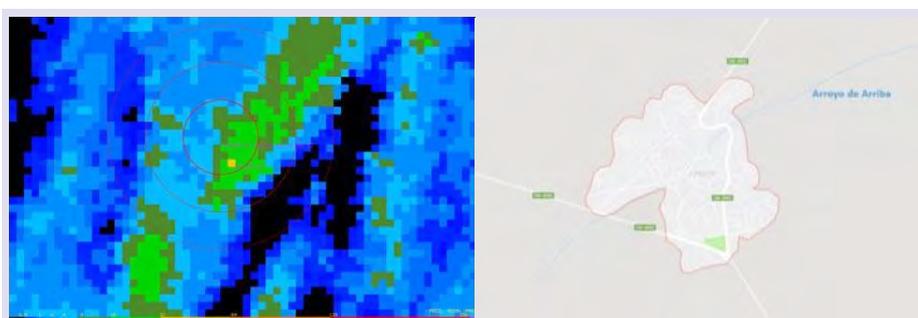
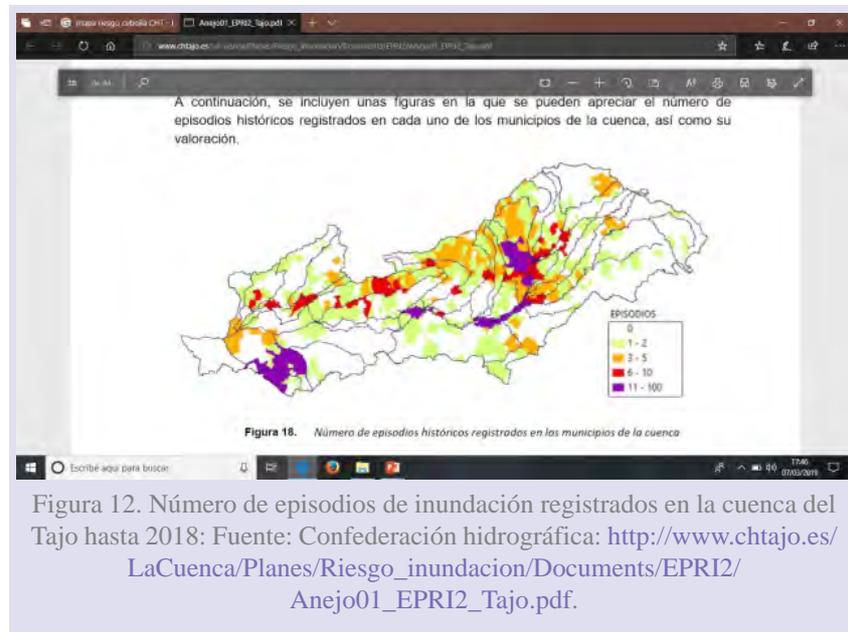


Figura 11. Precipitación acumulada medida por el radar de Madrid. En el centro del círculo se localiza la población de Cebolla. El «reguero» verde (entre 16 y 32 mm) se localiza justo aguas arriba del arroyo. A la derecha, mapa de la localidad de Cebolla atravesada por el Arroyo de Arriba. Los sucesivos círculos concéntricos tienen radios de 5, 10 y 15 km respectivamente.

habitadas ya que las deshabitadas pueden pasar desapercibidas y no ser computadas. Sin ir muy lejos en el tiempo, los días 21 y 23 de abril de 2011 (Jueves Santo y Domingo de Pascua, respectivamente) una riada en la población provocó muchas viviendas anegadas.



Conclusiones

Del estudio del entorno sinóptico, el análisis mesoescalar y de las observaciones de satélite, radar y de superficie, se concluye que el día 8 de septiembre de 2018 se dieron las condiciones para el desarrollo de una *supercélula* en la localidad de Cebolla que se extendía hacia el NE de dicha localidad.

En las imágenes del canal de vapor de agua se aprecian los chorros en niveles medios y altos, el *conveyor cálido*, el *centro de vortidad*, la banda de deformación además de los núcleos tormentosos en el punto de inflexión de estas estructuras. Por tanto, el tratamiento de estas imágenes puede ser muy útil en la vigilancia meteorológica.

Lo ocurrido se enmarca en la tipología que origina fuertes precipitaciones en la meseta sur, esto es: confluencias de viento en superficie con un marcado contraste de humedad, viento débil que facilite la convección y aire frío e inestabilidad en niveles medios y altos de la atmósfera. Según los sondeos, se dieron, además, los requisitos de «convección profunda» y las imágenes de infrarrojo ponen en evidencia la presencia de una *supercélula* organizada entorno a un *mesovórtice* en la corriente ascendente.

Dicha que causó tantos destrozos en el municipio, agravada por el atechamiento del cauce de dicho arroyo. Dicha avenida se produjo menos de 7 años después de la ocurrida en abril de 2011 en la misma localidad.

La presencia de una situación meteorológica adversa combinada con la vulnerabilidad de la localidad ante riesgos climáticos como las lluvias fuertes que tuvieron lugar hace aproximadamente un año en Cebolla, abrió de nuevo la cuestión en diversos foros sobre la necesidad de avanzar en unos avisos meteorológicos orientados a impactos, es decir avisos que tuvieran en cuenta los impactos socioeconómicos que puedan tener asociados. Este tipo de debate, que se está llevando a cabo también en los Servicios Meteorológicos más avanzados, es un tema recurrente en diversos Congresos. Sin duda, es un desafío que conlleva grandísimas dificultades desde el punto de vista técnico, científico y organizativo y la colaboración de múltiples instituciones. Las grandes dificultades y la necesidad de andar con paso muy firme y seguro en temas tan sensibles como el de los avisos meteorológicos, hacen que probablemente sea una cuestión que tardará varios lustros en generalizarse, pero en cualquier caso es un tema en el que se debe seguir investigando y avanzando.

En nuestro país las dificultades son aún mayores, ya que, a pesar de su relativamente pequeño tamaño, desde el punto de vista meteorológico se comporta como un minicontinente. Situado a caballo entre dos mares y dos continentes muy diferentes y con una compleja orografía, su estratégica ubicación geográfica en una zona de transición climática, hacen que en España se emitan cada año multitud de avisos y con una diversidad de tipos difícil de encontrar en un país de nuestro tamaño. Todo ello complica más si cabe la catalogación de los diversos impactos que pueden tener los avisos meteorológicos en cada zona.

Madrid, septiembre de 2019

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).
BERMEJO TRIMIÑO, NICOLÁS: 2018 (32, 64).
CANO BARBACIL, CARLOS: 2017 (17).
CANO ESPADAS, DARÍO: 2019 (84).
CANO SÁNCHEZ, JAVIER: 2017 (17), 2018 (25).
DE ORY AJAMIL, FERNANDO: 2016 (59).
DEL CAMPO HERNÁNDEZ, RUBÉN: 2019 (47).
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).
GUTIÉRREZ RUBIO, DELIA: 2016 (50), 2018 (59), 2019 (5, 47).
LÓPEZ-REY, DAVID: 2019 (84).
MARTÍN GIMÉNEZ, MARGARITA: 2016 (42).
MARTÍN LEÓN, FRANCISCO: 2018 (50).
MORA GARCÍA, MANUEL: 2016 (12), 2019 (11).
NÚÑEZ MORA, JOSÉ ÁNGEL: 2016 (5), 2019 (61, 69).
ORIA IRIARTE, PEIO: 2018 (80).
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