

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y BOLETÍN DE LA ASOCIACIÓN METEOROLÓGICA ESPAÑOLA



# Tiempo y Clima

ENERO 2025 Nº 87



# SUMARIO

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN METEOROLÓGICA ESPAÑOLA  
ENERO 2025 - NÚMERO 87 - QUINTA ETAPA

PRESENTACIÓN ..... 3

ACTIVIDADES AME, por Manuel Palomares y Fernando Bullón ..... 4

AZARES DEL CLIMA: Algunas reflexiones tras la catástrofe de Valencia, por José Antonio López Díaz..... 7

PERFILES: Carlo Buontempo, por Ernesto Rodríguez Camino ..... 10

Aspectos mesoscalares de la tormenta que causó las desastrosas inundaciones en Valencia del 29 de octubre de 2024, por José María Sánchez-Laulhé ..... 14

La línea de turbonada de las inundaciones Málaga 13 noviembre 2024, por José María Sánchez-Laulhé..... 18

CRÓNICA DEL TIEMPO, por Federico Franco, Andrés Chazarra, Ana Morata y Rubén del Campo..... 24

FOTOGRAFÍA: ¡Orgullo Manlleuense!, por Carme Molist Vidal Las fotos del otoño ..... 30

LA IMAGEN DEL OTOÑO: 29 de octubre de 2024: La Dana, por Darío Cano Espadas..... 34

Semblanzas de Alberto Lines, por Manuel Palomares Calderón ..... 37

70º Aniversario de la operacionalización de la predicción numérica del tiempo, por Ernesto Rodríguez Camino..... 40

NOTICIAS: La RAE incluye la palabra “dana” en el DLE; Terminadas las obras de los edificios del Retiro; Inauguración en Zamora de una placa en homenaje a Francisco Morán; Javier Martín Vide reconocido en el *Ranking de Stanford*, por Manuel Palomares Calderón ..... 44

LIBROS: *Beyond Global Warming: How Numerical Models Revealed the Secrets of Climate Change*, de S. Manabe y A. J. Broccoli, por Ernesto Rodríguez Camino; *Cambio climático en España*, coordinadores: R. Serrano-Notivol, J. Olcina Cantos y J. Martín-Vide, por Ernesto Rodríguez Camino; Novedades editoriales de AEMET, por Miguel Ángel García Couto ..... 46

Memoria y restos de Augusto Arcimis. Propuestas para su conservación, por Antonio Cabañas Cámara..... 51

REUNIONES Y CONGRESOS: La Cumbre del Clima de Bakú clave para el éxito de la Cumbre de Belém, por Vera Estefanía González; Próximas citas..... 52

**EDITA:**  
Asociación Meteorológica Española

**DIRECTOR:**  
José María Sánchez-Laulhé Ollero

**REDACCIÓN:**  
Ernesto Rodríguez Camino  
María Asunción Pastor Saavedra  
Manuel Palomares Calderón  
Fernando Aguado Encabo  
Amadeo Uriel González  
José Luis Sánchez Gómez  
Ramón Pascual Berghaenel

**DIRECCIÓN POSTAL:**  
Revista Tiempo y Clima  
Apartado 60025  
28080, MADRID

**WEB:** pub.ame-web.org

Revista de difusión gratuita entre los socios de la AME.  
Diseño: Alfredo Niño  
Dep. Leg: M-10961-1976  
EDICIÓN IMPRESA  
ISSN: 2340-6607  
EDICIÓN DIGITAL  
ISSN: 2340-6631

**COLABORACIONES:**  
Se invita a enviar contribuciones y correspondencia relativa a todos los aspectos de la meteorología, climatología y ciencias afines.

La responsabilidad por las opiniones vertidas en dichas contribuciones es exclusivamente de sus autores.

FOTO PORTADA  
Título: “Completo” Autor: Juan José Guidonet Suárez-Gómez  
Descarga eléctrica múltiple sobre el Atlántico frente a las costas de la isla de Tenerife, durante la tormenta que afectó a la isla el 21 de noviembre de 2024. Se observa una cortina de precipitación muy visible y el reflejo de los rayos sobre el mar.

# PRESENTACIÓN

Estimados lectores

Empezamos el año con dos noticias importantes en cuanto al cambio climático, una negativa y otra positiva. La negativa es que el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S) ha confirmado al 2024 como el año más cálido registrado a nivel mundial y el primero en el que la temperatura media mundial superó en 1.5 °C a su nivel preindustrial, estando todos los años de la última década están entre los diez más cálidos registrados. Ahora estamos al borde de superar el umbral de 1.5 °C definido en el Acuerdo de París. El promedio de los últimos dos años ya está por encima, y, probablemente, el calentamiento global promedio a largo plazo cruzará este umbral en los próximos cinco a diez años. El director del C3S, Carlo Buontempo, protagonista de una entrevista muy interesante en este número de *TyC*, hizo una llamada contra la resignación: “El futuro está en nuestras manos: una acción rápida y contundente aún puede alterar la trayectoria de nuestro clima futuro”.

La noticia positiva es que en 2024, por primera vez, los paneles solares generaron en la UE más electricidad que las centrales eléctricas que queman carbón. La energía eólica y la solar aumentaron hasta el 29 % de la generación de electricidad en la UE.

Las altas temperaturas globales vinieron acompañadas de un nivel récord de vapor de

agua atmosférico global, que se tradujeron en lluvias torrenciales sin precedentes, que llevaron a la miseria a millones de personas. El secretario general de la ONU, António Guterres, dijo a los líderes reunidos en el Foro Económico Mundial de Davos que la adicción mundial a los combustibles fósiles era un «monstruo de Frankenstein que no perdona a nada ni a nadie». Guterres afirmó: «A nuestro alrededor vemos señales claras de que el monstruo se ha convertido en el amo» y lanzó la dura advertencia de que los fenómenos meteorológicos extremos que habían tenido lugar eran «un anticipo de la película de terror que estaba por venir».

En España, un país donde las inundaciones son con diferencia el principal riesgo extremo (ver “Azares del Clima”), fueron especialmente graves las inundaciones de Valencia de octubre, que un estudio de la organización Christian Aid sitúa entre las diez catástrofes climáticas del mundo más costosas de 2024. En este número se publican varios artículos dedicados a las inundaciones; dos dedicados específicamente a las inundaciones de Valencia y uno a las inundaciones de Málaga de noviembre.

Espero que encontréis de interés el contenido de este número de la revista.

Un cordial saludo.

**José María Sánchez-Laulhé Ollero**  
**Director de *Tiempo y Clima***

## Celebración del 60º Aniversario de la AME el 21 de noviembre

El acto previsto para conmemorar los 60 años de la asociación se celebró el día 21 de noviembre de 2024 a las 17 horas en la sede de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (RAC) de Madrid con participación de unos 70 socios y simpatizantes. El presidente de la AME abrió el acto y tras saludar a los asistentes se refirió a las trágicas inundaciones de Valencia y las informaciones y avisos sobre este reciente desastre natural con más de 240 víctimas, así como las repercusiones para la AME en forma de solicitud de contactos por medios españoles y del extranjero.

Ya refiriéndose a la celebración, Ernesto Rodríguez hizo un breve y sugestivo resumen de lo que ha sido, ha supuesto y ha logrado la AME en sus 60 años de historia. A continuación tuvieron lugar las demás charlas previstas:

- ✓ Homenaje a Alberto Linés Escardó, meteorólogo y dos veces presidente de la AME, por Manuel Palomares (AME) y a su hermano Enrique, catedrático de Análisis Matemático en Madrid, Barcelona y Zaragoza por Fernando Bombal (RAC). Intervino también Pablo Linés Viñuales, hijo de Alberto, que agradeció el homenaje en nombre de la familia y dio a conocer algunas anécdotas familiares. En este número de *Tiempo y Clima* se incluye la reproducción escrita de la charla sobre Alberto Linés.

- ✓ Historia de los concursos fotográficos de la AME por Fernando Bullón (AEMET y AME).

- ✓ "Aspectos científicos y sociales de la modificación atmosférica: el dilema de Tom y Jerry" por José Luis Sánchez (Universidad de León y AME).

Además tuvo lugar un sencillo homenaje a los socios más veteranos de la AME, la mayoría de los cuales se encontraban presentes.

Por la noche tuvo lugar una cena de celebración en el restaurante Victoria de la plaza de Opera.

Se puede encontrar otro reportaje sobre la celebración del 60 aniversario en la página web de la Sociedad Meteorológica Europea o en el enlace [60-year anniversary: Spanish Meteorological Society : European Meteorological Society](#)

### Actividades en redes sociales

Como ya se informó en el número de octubre de *Tiempo y Clima*, La AME lanzó en ese mes una nueva página web que representa un avance significativo en nuestra presencia digital. Este renovado portal no solo presenta un diseño más atractivo, sino que también incorpora una interfaz visual que es tan coherente como agradable para nuestros usuarios. Hemos trabajado arduamente para asegurar una navegación intuitiva, lo cual permite a los visitantes acceder fácilmente a los diversos contenidos que se ofrecen. Se está observando ya una respuesta positiva, con la esperanza de alcanzar nuevamente el nivel de audiencia que disfrutamos en años anteriores, como el medio millón de visitas registradas en el año 2023.



Pablo Linés Viñuales hablando sobre su tío, Enrique Linés Escardó



Fernando Bullón sobre la historia de los concursos de nubes de la AME

En paralelo, se ha experimentado un notable crecimiento en los seguidores en las redes sociales durante el año 2024. Este aumento es un testimonio del compromiso y la dedicación de los socios que se han encargado de gestionar nuestras plataformas con gran esmero. Por supuesto, no se podría haber logrado este crecimiento sin la participación activa y entusiasta de las personas que conforman nuestra comunidad meteorológica. Su





De izq. a dra.: Fernando Aranda (socio fundador en 1964), Jaime García-Legaz, José Antonio Maldonado (presidente emérito), Fernando Aguado (ex-presidente), Manuel Palomares, Ernesto Rodríguez (presidente), Francisco Bartolomé, Carlos Almarza, Ignacio del Estal y Juan Sánchez (socio fundador en 1964)



Un aspecto de la audiencia durante los actos del 60 aniversario



Una de las mesas durante la cena del 60 aniversario: Encarna Serrano, Alejandro Méndez, Carmen Rus, Javier Martínez, Fernando Bullón, Inma Martín y Alejandro Roa

interacción constante en nuestras redes sociales es un pilar fundamental del éxito.

A lo largo del año 2024, hemos sumado casi 900 nuevos seguidores más que en 2023, abarcando todas nuestras plataformas sociales, incluyendo X (anteriormente conocido como Twitter), Facebook, Instagram, YouTube y LinkedIn. Este incremento no solo refleja un interés creciente en nuestras actividades y contenidos, sino también un fortalecimiento de nuestra presencia en el ámbito digital, lo cual nos motiva a seguir innovando y ofreciendo información y recursos de calidad a nuestro público. Estamos comprometidos a continuar impulsando la formación y el interés en la meteorología a través de todos nuestros canales.

## Actividades de divulgación a través de videoconferencias.

En noviembre y diciembre de 2024 y enero de 2025 han tenido lugar las siguientes:

- Aula Morán, 9 de enero 2025: "Asimilación de datos de los

modelos operativos de predicción numérica". Por María V. Díez Muyo, AEMET, Madrid.

- Aula Morán, 11 de diciembre 2024: "Simulaciones a Microescala de la Calidad del Aire y del Confort Térmico Urbanos". Por Esther Rivas Ramos, CIEMAT, Madrid.

- Aula Morán, 28 de noviembre 2024: "Meteosat de Tercera Generación. Estrenando satélite geoestacionario". Por José Ignacio Prieto, jubilado EUMETSAT y Miguel Ángel Martínez, AEMET, Madrid

- Aula Morán, 17 de noviembre 2024: "Presente y futuro de la modelización numérica en la predicción del tiempo atmosférico". Por Gemma Morales, AEMET, Madrid

Nuestro sincero agradecimiento a los ponentes de estas charlas y a los socios que colaboran desinteresadamente en su organización. De los encuentros y galas relativas a los concursos de fotografía se da cuenta en el siguiente apartado.

## Concursos fotográficos

### METO-OTOÑO'2024:

El miércoles 8 de enero de 2025 se publicaron, en la habitual gala a través de videoconferencia, los resultados del Meteo-otoño'2024. Una semana después, el 15 de enero, tuvo lugar la tertulia del concurso, con la participación de José Antonio Gallego, Alfons Puertas y Rubén del Campo. En ella se comentaron, también por parte de algunos de los propios autores de las fotografías presentes en el acto, diversas fotografías que fueron seleccionadas entre todas las participantes en el concurso y otras subidas a Fotometeo en los últimos tres meses.

El concurso contó en total con 57 participantes y 208 fotografías admitidas, que han quedado expuestas en el álbum correspondiente de la Galería Fotometeo, donde se pueden ver, empezando por las 50 que fueron seleccionadas para la votación del jurado, ordenadas según la puntuación obtenida.

Por primera vez en la historia de nuestros concursos estacionales, se produjo un empate en el primer puesto, que fue para las fotografías "Aurora sobre Reynisfjara!" de Agustín Ferreiro Abelairas y "Por fin un Sprite!" de Alberto Lunas Arias. Ambas fotografías sumaron 195 puntos en total y muestran fenómenos eléctricos que se producen en la alta atmósfera, en la primera de ellas una aurora desde el sur de Islandia, y en y en la segunda unos *sprites* generados por una tormenta situada al sur de Zaragoza, captados desde la localidad de Belinchón, en Cuenca. Ambas fotografías han sido publicadas en este número de *Tiempo y Clima*, la primera de ellas la podemos ver como foto del mes de octubre en la sección de fotografía, y la segunda en la contraportada. Los autores ya habían logrado alzarse con el primer puesto en anteriores ediciones de nuestros concursos estacionales; en el caso de Agustín en una ocasión, también con una foto de auroras en Islandia, y en el de Alberto en dos ocasiones, en ambas con fotografías de rayos nocturnos en la Comunidad de Madrid.

La tercera clasificada del concurso, con 189 puntos, fue "La bombilla celest-

tial", de Jesús Manzanque Arteaga, que muestra una descarga intranube en una tormenta que discurría por la provincia de Albacete, vista desde Campo de Crip-tana, en Ciudad Real. Esta foto la podemos ver como foto de septiembre en la sección de fotografía. Completan dicha sección la fotografía la ganadora del mes de noviembre, "Reflejos de la aurora", también de Alberto Lunas, tomada desde las islas Lofoten, en Noruega.

Otra fotografía del concurso ha sido publicada en este número de *Tiempo y Clima*: "Completo", de Juan José Guidonet, que quedó en el decimocuarto puesto del concurso, y que muestra unos rayos cayendo al mar vistos desde Tenerife. Esta foto a podemos ver en la portada de la revista. La sección de fotografía queda completada con el reportaje que ocupó el 6º puesto en la última edición del concurso Meteo-reportaje, celebrada en 2023: "Orgullo manlluense", de Carme Molist Vidal.

### METEOFOTÓGRAFOS

Al cierre de la revista, para el 22 de enero, estaba prevista la celebración de un nuevo episodio de "Meteofotógrafos", en esta ocasión con José Miguel García García, otro de los concursantes más desta-

cados a lo largo de la historia de nuestros concursos. Este evento estaba previsto para el mes de octubre, pero fue aplazado ante la magnitud de los acontecimientos que estábamos viviendo, con la DANA del 29 de octubre. Para este evento se cuenta habitualmente con la inestimable colaboración de José Antonio Gallego.

### METEO-REPORTAJE'2025 y METEOINVIERNO'2025

Al cierre de este número de *Tiempo y Clima* estaba abierto el plazo para participar en el Meteo-reportaje'2025, para el que ya se había empezado a recibir los primeros trabajos. El plazo se fijó hasta el 5 de febrero de 2025. Igualmente, estaban a punto de ser publicadas las bases del próximo concurso estacional, el Meteo invierno'2025, cuyo cartel podemos ver acompañando a estas líneas. Para este concurso se podrán presentar hasta cinco fotografías tomadas en los meses de diciembre de 2024, y enero y febrero de 2025. El plazo para participar finalizará el 10 de marzo de 2025.

Los eventos correspondientes al cierre de estos dos concursos -presentación de resultados, tertulia y Meteofotógrafos-, están previstos para los miércoles del mes de abril de 2025.

**Meteo invierno'2025**

Plazo: Hasta el 10 de marzo de 2025

AME  
Asociación Meteorológica Española

Síguenos:  
Twitter Facebook

FOTOMETEO

<http://fotometeo.ame-web.org>

CON LA COLABORACIÓN DE  
**METEORED**

"Reino lenticular", Manoel Zuzman, 1º premio Meteo invierno'2024



## AZARES DEL CLIMA

POR JOSÉ ANTONIO LÓPEZ DÍAZ

### Algunas reflexiones tras la catástrofe de Valencia

Al hilo de las lluvias torrenciales extremas que afectaron de forma tan grave a la provincia de Valencia en octubre pasado quisiera aportar algunas reflexiones de carácter técnico, sin entrar en valoraciones sobre la gestión de las alarmas o de las medidas posteriores por parte de las administraciones

#### Las inundaciones en España son el principal riesgo extremo

Según datos del Consorcio de Compensación de Seguros (<https://www.conorseguros.es/la-entidad/publicaciones>) en el periodo 1987-2023 las indemnizaciones por inundación (en euros actualizados a 31/12/23) sumaron unos 8000 millones de euros, siendo este con diferencia el riesgo más importante de los 9 considerados. A continuación, con menos de un cuarto del importe anterior, vienen los vientos extremos, definidos como tempestad ciclónica atípica, con 1700 millones de euros, siguen terremoto y terrorismo con 600 millones de euros. Está claro que las precipitaciones extremas son un riesgo muy importante en nuestro país, en especial en determinadas áreas como la cuenca mediterránea.

#### El poder de las aguas

Las imágenes de los destrozos en vehículos, edificios, infraestructura en general, en este tipo de episodios no dejan de causar asombro. Quisiera en este apartado glosar algunos argumentos físicos para ayudar a comprender la sorprendente capacidad del agua para provocar tantos daños.

El agua en movimiento ejerce sobre un objeto sumergido una fuerza que resulta ser proporcional al término de presión  $p v^2$  (siendo  $p$  la velocidad del agua y  $v$  su velocidad), el coeficiente de proporcionalidad depende de la forma del perfil que opone el objeto al agua. Este coeficiente hidrodinámico depende mucho de la forma del perfil, y varía entre 0 y 1. La considerable densidad del agua hace que incluso a velocidades moderadas el término  $p v^2$  alcance valores realmente importantes, por ejemplo para agua que se desplaza a 6 km/h (como una persona

caminando rápido) este término equivale a unos 3000 N/m<sup>2</sup>. Estamos mucho más habituados a la fuerza del viento, pero el aire tiene una densidad del orden de 1000 veces menor que el agua con lo que para que los términos de presión de agua y aire sean similares la velocidad del viento tiene que ser aproximadamente 30 veces superior a la del agua, o sea, para que el viento sea comparable en este sentido al agua a 6 km/h tendría que tener una velocidad huracanada de 180 km/h. Estos números ayudan a entender que nuestra intuición nos engaña y nos lleva a minusvalorar grandemente la fuerza del agua en movimiento. En el caso de precipitaciones torrenciales el agua gana velocidad por transformación de su energía potencial en cinética, mecanismo muy efectivo para desniveles del terreno incluso moderados. Baste pensar que si el agua salva un desnivel de 10 m, suponiendo unas pérdidas por rozamiento de un 50 %, el término  $p v^2$  equivaldría a la acción de unas 5 tn de agua que impactaran sobre 1 m<sup>2</sup> con un coeficiente hidrodinámico de 0.2 por ejemplo arroja la enorme presión de una tonelada/m<sup>2</sup>. Además el agua ejerce el consabido empuje arquimedianos sobre los objetos sumergidos que hace que personas o vehículos pierdan rápidamente ya con niveles de unos pocos decímetros su agarre al suelo.

Otro factor importante es que en un obstáculo sumergido como una pared o una persona, la sujeción se hace en el suelo mientras que la fuerza del agua ejerce no solo un empuje sino también un momento respecto del suelo, tanto mayor cuanto mayor es la altura de la fuerza que se aplica sobre el obstáculo. Este momento puede hacer que el obstáculo termine finalmente siendo derribado antes incluso de ser arrastrado por el agua y por tanto es fundamental a la hora de valorar la resistencia frente

al empuje del agua. Este momento crece linealmente con el nivel del agua más rápidamente que la propia velocidad, por ejemplo para un perfil de velocidades lineal con la distancia al suelo, la presión crecería cuadráticamente, mientras el momento crecería con el cubo de la profundidad del agua. Estas consideraciones ponen de relieve el papel el papel fundamental que desempeña el nivel del agua en su capacidad de destrucción.

Considerando el flujo de agua por un canal inclinado un ángulo  $\alpha$  respecto de la horizontal, en flujo estacionario, el equilibrio de un volumen de fluido desde la base del canal hasta la superficie libre, exige que la fuerza debida a la tensión viscosa en la base del canal, equilibre la fuerza de la gravedad sobre el volumen de fluido. Si consideramos ahora el equilibrio de una lámina de fluido entre dos espesores determinados, la diferencia de las tensiones entre la superficie inferior y la superficie superior de la lámina, debe equilibrar a la fuerza de la gravedad sobre la lámina, de donde teniendo en cuenta que en régimen laminar la tensión de la viscosidad es proporcional a  $du/dh$ , siendo  $u$  la velocidad del agua, la derivada de la velocidad  $u$  debe variar linealmente con  $h$ , lo cual implica que la velocidad debe variar cuadráticamente con  $h$ . Por tanto obtenemos un perfil parabólico para la velocidad del fluido, el agua en este caso.

En el caso turbulento, el análisis hecho anteriormente respecto de las tensiones sigue siendo válido, pero en cambio ya no podemos deducir las tensiones derivando la velocidad respecto de la profundidad, sino que hay que tener en cuenta que el coeficiente de intercambio turbulento varía a su vez con la propia velocidad, con lo cual el problema teórico se complica mucho. Lo que se observa es que la velocidad  $u$  varía rápidamente en los primeros centímetros respecto de la base, para alcanzar

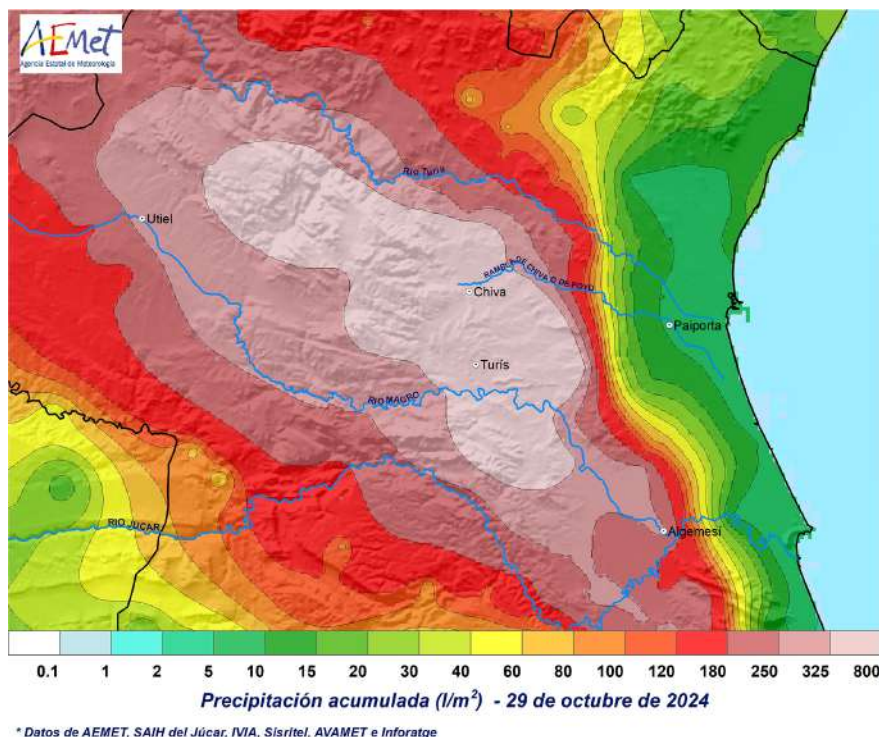


Gráfico cedido por AEMET de la publicación “Situación de lluvias intensas en la Península y Baleares entre el 28 de octubre y 4 de noviembre de 2024”

de observar un evento con un periodo de retorno de 500 años en una serie de 80 años significativo al 5 %, que es el nivel estándar de los test de hipótesis. En consecuencia los eventos con periodos de retorno de centenares de años pueden tener probabilidad no despreciable de ocurrir en periodos del orden de decenas de años en series perfectamente estacionarias, y en este caso su ocurrencia no invalida de por sí la hipótesis de estacionariedad (constancia de sus características estocásticas en el tiempo) de la serie al nivel de significación habitual en la ciencia.

## Percepción del riesgo

La percepción del riesgo por la sociedad en general es, en mi opinión, bastante defectuosa. La mayoría de la población parece esperar que cuando se da una alarma por algún evento adverso, necesariamente este evento tiene que producirse, y en caso contrario entienden que ha fallado el sistema de alarma. Esto es un error, pues las alarmas emitidas por los organismos oficiales se basan en estimaciones de la probabilidad del suceso que en general no implican certeza respecto a su ocurrencia, por tanto una alarma elaborada con la mejor ciencia disponible es perfectamente compatible con que el suceso extremo finalmente no ocurra o no tenga consecuencias tan adversas. Esta percepción deficiente de la sociedad, por su parte, actúa en mi opinión sobre los organismos que emiten las alarmas, que son sensibles a las críticas, y los hace ser a menudo demasiado conservadores con las alarmas, es decir, las alarmas más intensas, como la roja, se emiten sólo en el caso de que sea prácticamente seguro que se va a dar el suceso extremo. Este sesgo sistemático no es deseable, y solo con una mayor cultura sobre los riesgos en la sociedad se podrá aliviar este problema.

Consideraciones similares a las anteriores se aplican en lo relativo a las medi-

luego un valor que se mantiene aproximadamente constante a lo largo del resto del espesor del fluido. Esto tiene sentido puesto que el intercambio turbulento en los espesores no demasiado próximos de la base es efectivo. Mientras que cerca de la base del fluido el intercambio turbulento está seriamente impedido por la propia base. Con lo cual el perfil de velocidades cerca de la base tiene una variación de la velocidad con la altura mucho más acentuada que en el resto del fluido.

De todo lo anterior resulta que no solo la intensidad de la precipitación y cantidad de agua que cae sobre un territorio son claves para valorar el riesgo de daños catastróficos, sino que hay que considerar la forma del relieve, las posibles represas, la forma de los cauces y otros factores que determinan el nivel del agua y su velocidad.

## El periodo de retorno como indicador de extremosidad

El período de retorno de un suceso (extremo) definido por un umbral de una

variable aleatoria dada se define como el inverso de la probabilidad de excedencia de ese umbral extremo. En una serie de realizaciones estacionaria de una variable aleatoria, el periodo de retorno determina el valor esperado del número de excedencias de un umbral a lo largo de un número de realizaciones (años comúnmente) determinado N, de tal forma que el número de excedencias promedio es igual a N/T.

Es interesante tener en cuenta que para eventos muy extremos, con periodos de retorno de centenares de años, hay una relación simple para la probabilidad de que el evento se dé al menos una vez a lo largo de un número de años pequeño en relación al periodo de retorno. Por ejemplo supongamos un evento con un periodo de retorno de 500 años, entonces la probabilidad de al menos una excedencia en una serie climatológica relativamente larga de 80 años (pero pequeña con relación al periodo de retorno) es aproximadamente 80/500, es decir un 16 %<sup>1</sup>.

Esta probabilidad del 16 %, aunque baja, no es sin embargo tan baja como para que podamos considerar el hecho

<sup>1</sup> Esto se deduce de aproximar la variable binomial que da el número de excedencias del umbral extremo por una variable de Poisson Y con  $\lambda = N/T$ , lo cual es adecuado en casos como este; la probabilidad del suceso  $Y >= 0$  es  $1 - \text{pr}(Y=0) = 1 - \exp(-\lambda) \sim \lambda$ , para  $\lambda$  pequeño. En nuestro ejemplo  $N=80$ ,  $T=500$ .

das que se deben de adoptar en caso de una alarma. Por ejemplo, ante una alarma por precipitaciones extremas como el caso de Valencia, se puede teóricamente tanto paralizar casi todas las actividades de la sociedad en una zona amplia para cubrirse completamente respecto de eventuales pérdidas, tanto en vidas humanas como en bienes, como adoptar una actitud menos conservadora respecto del riesgo y tomar medidas puntuales de mucho menos impacto sobre la sociedad. No hay una forma única objetiva de decidir las medidas adecuadas en función del riesgo. Cada sociedad debe decidir, en forma análoga a lo que hacemos en nuestra vida las personas, el nivel de riesgo que decide asumir. Hay personas que asumen un nivel de riesgo alto, que practican quizá deportes de alto riesgo porque estiman que el riesgo posible de lesiones o de muerte es inferior a la satisfacción que les produce la actividad, mientras que en otras personas el cálculo es muy distinto. Creo que sería importante explicar bien esto a la sociedad.

## Los récords

Es importante recordar que la importancia climatológica de un récord viene muy condicionada por la longitud de la serie correspondiente. No es lo mismo que un fenómeno extremo produzca un récord en una serie de 20 años que en

una de 80 años. Aparte factores como la presencia de tendencia u otras formas de variabilidad en la serie, en una serie puramente aleatoria y estacionaria, es decir, con propiedades estadísticas constantes en el tiempo, la probabilidad de que el año  $n$ -ésimo sea récord vale  $1/n$ <sup>2</sup>. Si apostamos en una serie de este tipo de longitud  $n$  que este año va a ser un récord, en un juego equilibrado deberíamos recibir  $n$  unidades monetarias por cada unidad apostada, así que tiene sentido como punto de partida decir que un récord en serie de 80 años tiene 4 veces mayor relevancia que un récord en una serie de 20 años. Otro aspecto importante es la cobertura espacial de observaciones de la variable en cuestión, si esta varía con el tiempo lógicamente también varía acordeamente la probabilidad de que se den récords y de forma pareja disminuye obviamente su significación estadístico-climática.

Según el exhaustivo informe de AEMET sobre esta situación ([https://www.aemet.es/es/conocermas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/estudios/detalles/episodio\\_dana\\_oct\\_nov24](https://www.aemet.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/detalles/episodio_dana_oct_nov24)) el día 29, el de mayor intensidad, en la estación de Turís se rozó el récord nacional absoluto anterior de precipitación en 24 horas registrado en La Oliva en 1987 en total de 8 a 8 horas. En Turís se totalizaron 772 mm en el día civil, de

las cuales 720 mm cayeron en 12 horas, 621 mm en 6 horas y 185 mm en 1 hora. Estas acumulaciones subdiarias son récord absoluto destacado, pero hay que tener en cuenta que la longitud de series con registro horario es muy inferior a la de las series con total acumulado diario, y muy pocas de ellas superan unos 20 años. Por otra parte no tenemos medidas horarias de La Oliva que nos permitan comparar con Turís. En la tabla 4.5 del citado informe de AEMET se recogen los datos de las estaciones del banco de datos climatológico de AEMET de la provincia de Valencia del día 29, 16 con total diario, de las que tan solo 2 estaciones tienen dato horario. También hay que recordar que estas medidas son puntuales, y a la hora de valorar el impacto serían muy deseables totales areales, pero dada la gran variabilidad espacial de la precipitación en este tipo de episodios extremos las inertidumbres en este sentido son muy altas. Baste mencionar que en la citada tabla una estación acumuló en 24 h entre 700-800 mm, otras dos en 600-700 y 400-500 mm respectivamente, y las 13 restantes en el intervalo 200-300 mm. Hechas estas consideraciones está claro que el episodio de Valencia que comentamos ha sido sin duda uno de los más extremos de los que tenemos observaciones.



Inundaciones en Málaga del 13 de noviembre de 2024; calle Hílera. Foto cedida por Diario Sur

<sup>2</sup> Todas las posibles ordenaciones de los  $n$  datos tienen la misma probabilidad, por tanto todos los  $n$  datos tienen la misma probabilidad de estar en la posición  $n$ -ésima, el récord en esa posición implica que el dato es el máximo de la serie, por tanto su probabilidad es  $1/n$ .

## Entrevista a Carlo Buontempo

ERNESTO RODRÍGUEZ CAMINO

Carlo Buontempo es el actual director del Servicio de Cambio Climático del programa Copernicus de observación de la Tierra de la Unión Europea. Este servicio lo implementa el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo desde su nueva subse de Bonn, Alemania. Carlo es una persona de referencia en el desarrollo e implementación de servicios climáticos y a través de esta entrevista nos resumirá el papel del Servicio de Cambio Climático de Copernicus. Agradecemos también a Carlo que se haya ofrecido a contestar a nuestras preguntas en español, idioma que maneja con gran maestría.



**ERC: ¿Puedes contar a nuestros lectores brevemente algunos datos biográficos tuyos y especialmente los relativos a los inicios de tu carrera científica?**

**CB:** Soy un físico italiano que trabaja en clima desde el principio del siglo. Hice mi carrera en la Universidad de Roma La Sapienza donde trabajé en teledetección y espectroscopia. Mi doctorado también fue en Física, por la Universidad de L'Aquila con una tesis sobre los procesos de transporte de agua entre la troposfera y la estratosfera tropical, procesos que pueden jugar un papel importante en el clima, como demuestra el debate sobre la erupción del volcán Hunga Tonga. Desde entonces siempre he trabajado en clima,

primero en el Hadley Centre del Met Office y desde el 2016 en el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (ECMWF, por sus siglas en inglés).

**ERC: Actualmente diriges el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S, por sus siglas en inglés), ¿puedes explicar brevemente cuáles son las tareas y objetivos de este servicio?**

**CB:** El C3S es uno de los seis servicios de Copernicus, el programa de observación de la Tierra de la Unión Europea. C3S ha sido diseñado para monitorear el cambio climático a través de datos y herramientas avanzadas. Su objetivo principal es proporcionar información

climática fiable y accesible para apoyar la adaptación y la toma de decisiones en diversos sectores.

Se pueden identificar tres tareas principales del servicio:

**1. Generación y distribución de datos climáticos fiables:**

✓ Proporciona datos detallados sobre el estado del clima pasado, presente y futuro mediante la integración de observaciones satelitales, terrestres, reanálisis y modelos climáticos (CMIP, CORDEX).

**2. Desarrollo y gestión operacional de herramientas de acceso a datos:**

✓ Ofrece plataformas como el Almacén de Datos Climáticos (CDS, por sus siglas en inglés), o el Atlas Climático de

Copernicus que facilitan el acceso a grandes cantidades de datos e información climática para investigadores, gobiernos, empresas y ciudadanos.

### 3. Divulgación y sensibilización:

- ✓ Publica informes como el Informe sobre el Estado del Clima en Europa, que resume anualmente las principales tendencias climáticas en Europa, boletines mensuales y estacionales.

- ✓ Ayuda a la toma de decisiones para identificar riesgos climáticos y planificar estrategias de adaptación en sectores como agricultura, energía, agua, salud y gestión urbana.

**ERC: Para hacernos una idea de las dimensiones de este servicio, ¿puedes darnos algunas cifras como, por ejemplo, con cuánto personal cuenta, qué presupuesto tiene, qué parte de ese presupuesto se destina a contratos con empresas y organizaciones de toda Europa?**

**CB:** El programa está financiado completamente por parte de la Comisión Europea desde la cual recibimos unos 240 millones de euros para 7 años. El equipo en el ECMWF, que está distribuido entre los varios departamentos del Centro Europeo, se compone de menos de 50 personas entre científicos, administrativos y personal técnico. Más de tres cuartos del presupuesto se utilizan para contratos externos que se adjudican con licitaciones competitivas abiertas y sin geo-retorno (sin obligación de retorno de la inversión a los países miembros). España ha estado siempre muy involucrada en nuestras actividades tanto en el sector público (CSIC, BSC, Universidades, ...) como en el sector privado (Lobelia, Predictia, Tecnalia, etc.).

**ERC: El C3S es uno de los seis servicios de información temática que proporciona el programa Copernicus financiado y gestionado por la Comisión Europea. El C3S proporciona un importante recurso para el Marco Mundial de Servicios Climáticos (GFCS, por sus siglas en inglés) liderado por la OMM. ¿Qué relación hay entre C3S y OMM para coordinar este servicio?**

**CB:** Desde el principio hubo una relación muy cercana entre la OMM y C3S. A nivel personal yo fui presidente del comi-

té consultivo sobre partenariados (*partner advisory committee*) de GFCS hasta el año pasado. La OMM tiene un papel muy importante en temas de coordinación y estandarización. C3S, al ser un programa operativo, tiene la posibilidad de poner en práctica muchas de las ideas que se discutieron en el ámbito del GFCS. En los últimos años la OMM está reorganizando sus actividades en temas de servicios climáticos. Nosotros seguimos de cerca esta evolución y coordinamos con ellos muchas de nuestras actividades (Centro Líder para el Reanálisis del Clima, Informe sobre Estado del Clima en Europa, ...).

**ERC: El proyecto EUPORIAS, en el que tú tuviste un papel muy destacado, ha sido una iniciativa clave en la evolución de los servicios climáticos europeos. ¿En qué medida las lecciones aprendidas y las metodologías de servicios climáticos logrados durante EUPORIAS han contribuido a definir el C3S?**

**CB:** Gracias de esta pregunta, Ernesto. EUPORIAS fue mi primer proyecto como coordinador y tengo muchos recuerdos de lo que hicimos. Yo creo que fue un proyecto que tuvo tanto impacto porque, al trabajar al lado del proyecto SPECS que se enfocaba más en el tema de las mejoras de los modelos climáticos, pudimos arriesgarnos un poco más e intentar cosas que nunca se habían hecho. Para mí la lección más importante de EUPORIAS tiene a que ver con los usuarios. Parece una cosa obvia, pero sin usuarios no hay servicios. Esta centralidad de los usuarios en el desarrollo de los servicios se resume en los principios de los servicios climáticos de EUPORIAS y puede verse en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880716300796>. Es posiblemente lo más importante que hicimos en EUPORIAS. Aunque en C3S el objetivo era principalmente proporcionar datos abiertos y gratuitos de manera operativa, el enfoque sobre los usuarios finales de EUPORIAS se ha quedado con nosotros.

**ERC: ¿Cómo definirías la relación actual con los servicios meteorológicos nacionales? ¿Qué predomina: la colaboración o la competencia?**

**CB:** El ECMWF es un organismo in-

ternacional cuyos representantes son los directores de los servicios meteorológicos nacionales. Más que hablar de competición y colaboración yo preferiría definirlo como cogestión. Lo que hacemos en el C3S lo presentamos cada seis meses al consejo del ECMWF y cada 3 meses al Foro de Usuario de Copernicus en Bruselas. Los servicios meteorológicos nacionales están detrás de todas las decisiones que tomamos. El aspecto que me parece más interesante es la transformación de todo el sector. La Inteligencia artificial, por un lado, la reducción de la financiación pública, por el otro, están reescribiendo de manera radical nuestro trabajo. A veces, en un marco internacional como el ECMWF o el C3S algunos de estos cambios se ven de manera más clara que a nivel nacional.

**ERC: El C3S está implementado por el ECMWF que se constituyó hace casi 50 años y gran parte de su actividad se ha centrado en estos años en la investigación y operaciones en predicciones a plazo medio y en menor medida estacionales. Actualmente cuál es la distribución en términos porcentuales del personal del ECMWF entre sus actividades centrales (*core*) y las actividades relacionadas con el C3S y con el Servicio de Vigilancia Atmosférica (CAMS, por sus siglas en inglés).**

**CB:** No tengo los números exactos, pero seguramente estamos hablando de menos del 25 % del Centro, aunque hay contribuciones puntuales desde la mayoría de los departamentos de ECMWF, es una gran familia.

**ERC: El C3S proporciona tanto datos como ejemplos de aplicaciones y herramientas en diversos sectores afectados por el clima. Entre los datos que proporciona C3S quizás algunos de los más importantes sean los reanálisis y sus productos derivados que son ampliamente utilizados tanto para investigación del clima como para su monitorización. ¿Qué planes hay para el próximo reanálisis ERA6 tanto en cuanto a su calendario como a sus mejoras respecto a ERA5?**

**CB:** Efectivamente ERA5 es el producto más popular en el CDS. En los últimos meses hemos trabajado a la preparación

del próximo reanálisis global ERA6 cuya producción está programada para comenzar a principios de 2025. Entre las principales diferencias hay:

**1. Mayor resolución:** Se reducirá el tamaño de la rejilla atmosférica de aproximadamente 31 km en ERA5 a 14 km en ERA6.

**2. Acoplamiento con el océano:** ERA6 incluirá un acoplamiento más directo con el océano, lo que permitirá una representación más precisa de fenómenos como los ciclones tropicales y las olas de calor marinas.

**3. Mejoras en los datos y la modelización:** Incorporará avances en el modelado de sistemas terrestres, y en la asimilación de datos. También utilizará datos históricos recuperados y reprocesados, mejorando la calidad de las observaciones disponibles para su análisis (<https://climate.copernicus.eu/c3s-satellite-data-rescue-program-depth>)

**4. Extensión temporal y accesibilidad:** Aunque la producción empezará en 2025, se espera que los primeros 20 años de datos (2006-2026) estén disponibles para finales de 2026. Los períodos anteriores se añadirán progresivamente.

**5. Productos mejorados:** Incluirá más parámetros, como estadísticas diarias pre-calculadas y niveles adicionales en la atmósfera baja, además de mejoras en la representación de fenómenos extremos y condiciones urbanas.

**ERC: El C3S proporciona también gran cantidad de datos y productos derivados sobre predicciones estacionales y proyecciones de cambio climático generados por diversas instituciones procedentes de todo el mundo. El uso de las predicciones decadales es todavía muy limitado. ¿Qué planes tiene el C3S para estas escalas temporales?**

**CB:** La escala decadal es una de las más interesantes a nivel de usuario como demuestran los resultados del análisis de las necesidades de los usuarios hecho en el marco del proyecto europeo ASPECT. Nuestro equipo está trabajando en una convocatoria de licitación para decadales que tendría que salir muy pronto. La idea es apoyar lo que se hace en el marco del centro líder de la OMM para predicciones anuales a decadales y añadir funciones adicionales relativas a la calidad de los datos, casos de estudio y estandarización.

**ERC: El C3S ha desarrollado muchos ejemplos y prototipos de aplicaciones sectoriales de los datos climáticos. Una de las ideas originarias de Copernicus, y del C3S en particular, era suministrar libremente los datos generados para estimular la actividad privada en este campo. ¿Puedes proporcionarnos una estimación de en qué medida la creación CDS del C3S ha estimulado la actividad en las aplicaciones sectoriales en términos de creación y crecimiento de empresas consultoras que exploten estos datos?**

**CB:** Es difícil tener números exactos sobre esto, pero tenemos alguna información cualitativa sobre la fracción de usuarios que se autodefine como perteneciente al sector privado. Esta varía de manera muy significativa de producto en producto. La fracción máxima la vemos en el uso de estacionales donde el sector privado llega a representar casi más de una tercera parte del total de los usuarios. A nivel de reanálisis el C3S financió un estudio del impacto económico de ERA5, aún no publicado, del cual se puede concluir que el valor marginal solo para el sector eólico europeo podría compensar casi completamente la inversión comunitaria en el C3S. Considerando que hay muchos más sectores y muchas más regiones en el mundo, el retorno de inversión es muy probablemente más de 10 veces mayor que la inversión inicial.

Otra manera de ver la relevancia de lo que hacemos para el sector privado es constatar lo rápido que se quejan los usuarios cuando cambiamos algo en nuestros productos y cuando hay problemas. Por eso ser operacional para mi significa mucho más que sacar datos en tiempo real. Sin la contribución de nuestros usuarios nunca podríamos ser tan operativos.

**ERC: El C3S ha contratado con diversas instituciones y empresas europeas el desarrollo de muchas aplicaciones sectoriales creando así una red en la que participan muchas de ellas que antes trabajaban sin una estrecha coordinación. ¿Se ha demostrado más eficiente esta forma de proceder en contraposición a la realización de estos desarrollos por el propio ECMWF?**

**CB:** ¡Sí! La función de un servicio como Copernicus es la de actuar como un cata-

lizador que haga posibles cosas que serían difíciles o imposibles sin él. ERA5 es un muy buen ejemplo de esto. Sin ERA5 no habría los pronósticos basados en *Machine Learning* que tenemos ahora. El C3S ha producido productos sectoriales, pero han sido más los ejemplos de lo que se puede hacer con los productos operativos. Como demostró muy bien EUPO-RIAS no hay servicio sin usuarios. Cada producto requiere un conocimiento muy íntimo del contexto de los usuarios a los que se quiere servir y es mucho más lógico y eficiente que este trabajo de interfaz se haga a nivel local, privado o público, con una mayor proximidad al usuario de lo nosotros podemos llegar.

**ERC: El C3S y GFCS están relacionados por los esfuerzos de ambos en mejorar la disponibilidad y el acceso a información climática útil y aplicable. Pero mientras que el GFCS ha puesto mucho el foco en el desarrollo de servicios climáticos en países en desarrollo y en sectores como tales la agricultura, la seguridad alimentaria, la gestión de desastres, la salud, etc., el C3S creo que ha puesto el foco principal en Europa y en el desarrollo de la actividad económica de sectores afectados por el clima. ¿Nos podrías dar una estimación de qué parte de las aplicaciones sectoriales desarrolladas por C3S están específicamente pensadas para países en desarrollo?**

**CB:** Casi ninguna. Como decía antes la idea del C3S no es la de sustituir los proveedores de servicio climático que ya existen tanto en el sector público como en el sector privado. Al revés, la idea es proporcionar datos y herramientas que los servicios nacionales puedan utilizar para desarrollar una nueva generación de servicios climático. Como mencionaba antes, lo que se puede encontrar en las páginas de C3S son ejemplos de lo que se puede hacer, más que sistemas operativos.

**ERC: La plataforma CDS ha supuesto un gran paso adelante para facilitar el uso de datos climáticos y su aplicación sectorial. ¿Qué pasos se están dando para asegurar que los usuarios no especializados puedan acceder y utilizar los datos de manera eficiente?**

**CB:** A nivel de infraestructura, C3S ha empezado a utilizar la *common cloud* in-



frustración del ECMWF para mejorar las prestaciones del sistema y simplificar su mantenimiento. A nivel de aplicaciones, se ha cambiado bastante el paradigma ya que el *toolbox* como tal ya no existe. La idea es desarrollar aplicaciones basadas en la nueva librería EarthKit sin obligar los usuarios a utilizar los recursos de cálculo disponibles en la CDS. Ahora quien quiera podrá utilizar las herramientas de desarrollo en cualquier recurso de cálculo disponible. También a nivel de control de calidad y evaluación, el nuevo sistema proporciona mucha más información sobre la calidad de los productos y cómo lo han utilizado otros usuarios.

**ERC: Los Informes Anuales sobre Estado del Clima en Europa que genera el C3S han ido mejorando sustancialmente con los años, siendo actualmente unos informes altamente influyentes que dan mucha visibilidad al C3S. Igualmente, las notas de prensa que emite el C3S relacionadas con la monitorización del clima son muy comentadas y reproducidas tanto en los medios de comunicación tradicionales como en las redes sociales. ¿Puedes darnos una estimación del aumento de la visibilidad del C3S y de la difusión y uso de sus productos en el contexto europeo e internacional?**

**CB:** El aumento ha sido exponencial.

Por ejemplo, en el último trimestre tuvimos tanta visibilidad en los medios de comunicación como en todo el año anterior. Es difícil mejorar mucho más nuestra visibilidad ahora que el secretario general de las Naciones Unidas, António Guterres, cita con regularidad al C3S en sus discursos sobre el clima.

**ERC: El C3S ha avanzado mucho en materia de comunicación del cambio climático. ¿Qué planes tiene para el futuro el C3S en materia de comunicación y también de formación?**

**CB:** El equipo ganador no se cambia 😊. La comunicación ha sido una de las partes más exitosas de todo el programa así que no pensamos hacer muchos cambios sustanciales. Pero sí que haremos algunos cambios. Por ejemplo, muchas de nuestras páginas web son antiguas, poco funcionales y con algunos enlaces rotos. Unas de las cosas que haremos en el 2025 es una renovación total de nuestra web. A nivel de formación hay tres acciones prioritarias en 2025: 1) el lanzamiento de las actividades del Programa de Colaboración Nacional que permitirá trabajar conjuntamente con las instituciones nacionales en el tema de formación, 2) fortalecer los recursos ya disponibles como los *jupyter notebooks* y módulo de formación 3) lanzar los *mini-mooc*, cursos online abiertos y masivos sobre temas específicos.

**ERC: En el contexto de la transición hacia la neutralidad climática parece que la provisión de datos y análisis para apoyar políticas alineadas con el Pacto Verde Europeo auguran un gran futuro al C3S. ¿Cómo te imaginas el futuro del C3S?**

**CB:** La información climática nunca ha sido tan importante como ahora para guiar nuestras decisiones y su relevancia -desgraciadamente- no hará más que aumentar. Esto impone un cambio de paradigma en la manera de generar, distribuir y utilizar los datos climáticos y las informaciones relacionadas con éstos. Estamos asistiendo al principio de una revolución en la manera de entender y utilizar la información climática. Europa está a la vanguardia en este cambio de paradigma y tanto Copernicus como *Destination Earth* son la vanguardia en Europa. En el difícil mundo que nos espera creo que nuestros servicios jugarán un papel cada vez más importante.

**¡Muchas gracias, Carlo, por tu tiempo y por haber proporcionado a los lectores de TyC una información tan detallada sobre el papel y la actividad del C3S! Desde TyC auguramos un espectacular futuro para el C3S y te deseamos muchos éxitos al frente del mismo.**

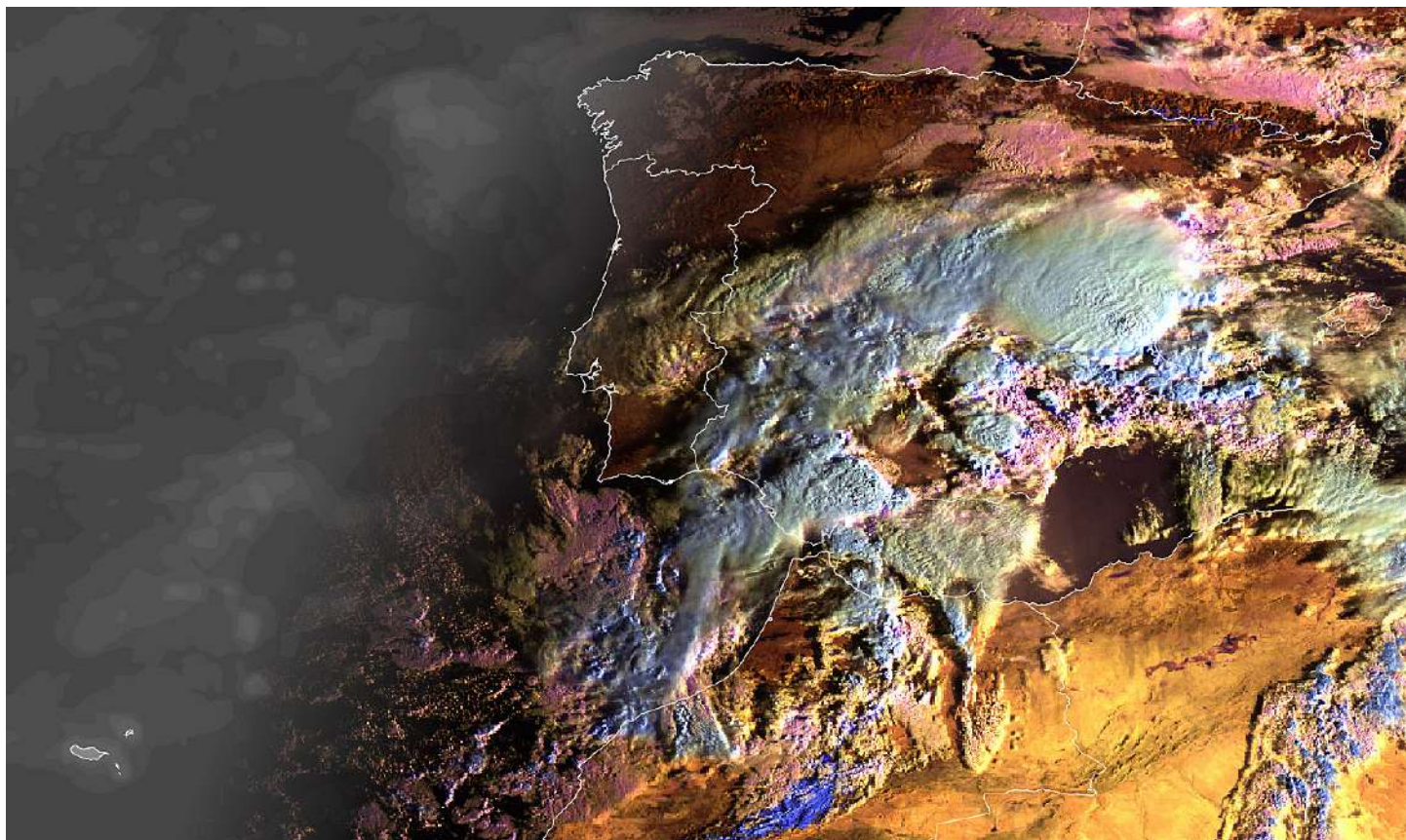


Figura 1. Imagen pre-operacional del producto RGB “Fase de nube” de las 7:30 UTC del día 29 de octubre de 2024 del instrumento FCI del MTG. Fuente: Eumetsat

# Aspectos mesoscalares de la tormenta que causó las desastrosas inundaciones en Valencia del 29 de octubre de 2024

JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ-LAULHÉ

El episodio catastrófico de la tormenta que sufrió principalmente la provincia de Valencia el 29 de octubre de 2024 pasará a la historia por el impacto en vidas humanas de la devastación con unos 220 fallecidos. En este artículo se señalan aspectos mesoscalares de dicha tormenta basados en el Sistema Integrado de Predicción (IFS) del ECMWF, que permitió conocer con antelación la amenaza meteorológica que se cernía, y en las imágenes del satélite Meteosat Tercera Generación (MTG), que Eumetsat distribuye de forma no operacional, cuyo instrumento, FCI, obtiene imágenes con una resolución espacial de 1 km en los canales visibles del espectro.

Las inundaciones fueron causadas por un sistema convectivo mesoscalar, (SCM) que son las mayores tormentas convectivas. Los SCM por su larga duración y de movimiento lento son una de las principales causas de inundación en latitudes

Precipitación (mm) entre las 00:10UTC del día 29/10/2024 y las 00:00UTC del día 30/10/2024

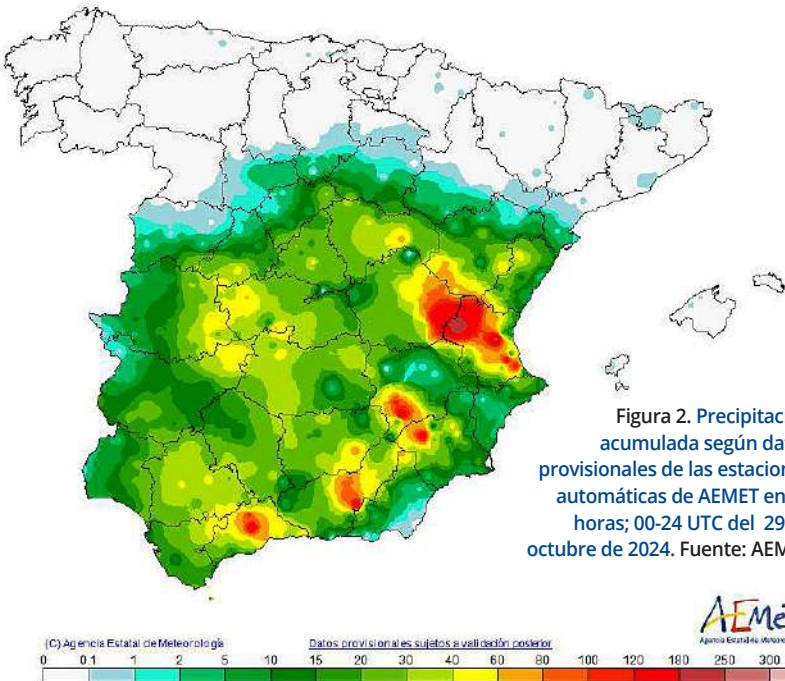
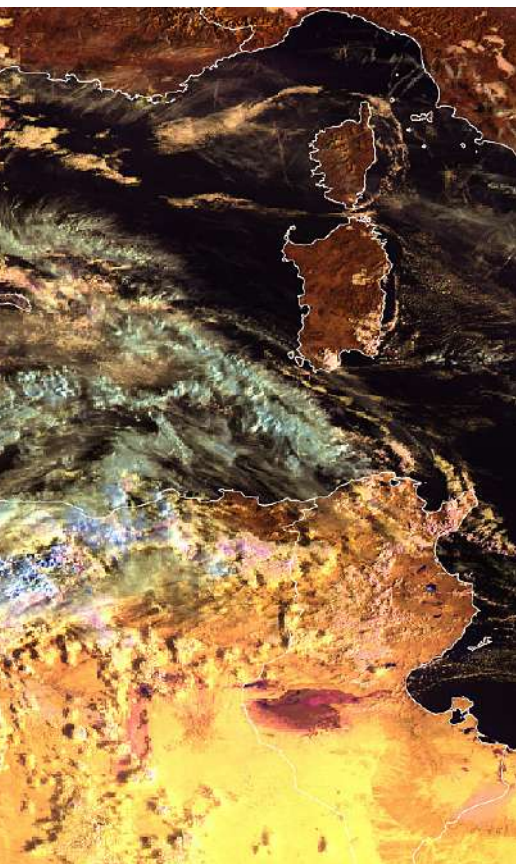


Figura 2. Precipitación acumulada según datos provisionales de las estaciones automáticas de AEMET en 24 horas; 00-24 UTC del 29 de octubre de 2024. Fuente: AEMET



medias y tropicales. La precipitación acumulada causada por el SCM del día 29 se muestra en el mapa de la figura 2.

Aunque las observaciones satelitales han demostrado la ubicuidad de los SCM, también ha mostrado que presentan una notable diversidad, pero siempre contienen zonas de precipitación estratiforme y zonas de precipitación convectiva (p. ej. Houze, 2018).

Un SCM se desarrolla cuando las nubes convectivas profundas (cumulonimbos o líneas de cumulonimbos), que se forman en respuesta a la inestabilidad convectiva, se amalgaman en un área de entre 500 a 1000 km<sup>2</sup>, habitualmente; se organizan en un sistema nuboso compacto resultado de una circulación de una escala mayor bajo un gran escudo nuboso cirriforme, y de forma que las precipitaciones se extienden a un gran área contigua de lluvia. A medida que las nubes convectivas se agrupan (ver figura 3), calientan la troposfera por procesos de liberación de calor latente y radiativo, e inducen una circulación de dimensión mesoscalar que consta en dos grandes giros verticales que interesan a sendas capas de la troposfera (ver esquema en la figura 3), invirtiendo el orden vertical de las capas. El giro ascendente alimenta al SCM: una capa inicialmente en la troposfera inferior, que puede tener varios kilómetros de profundidad, pasa a ser la

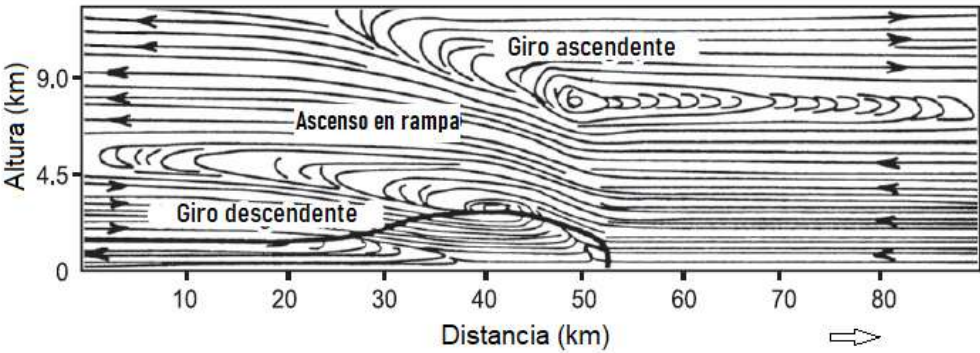


Figura 3. Líneas de corriente de flujo de aire relativo al sistema generadas en una simulación numérica promediada en el tiempo de una línea de turbonada con precipitación estratiforme posterior. El contorno sólido en negrita delinea la zona fría (región de perturbación negativa de la temperatura potencial negativa). Adaptado de Fovell y Ogura (1988)

rama ascendente de la circulación del sistema, por lo que la corriente ascendente no necesariamente parte de la capa límite. Para un ambiente típico de fuerte cizalladura en niveles bajos, la corriente ascendente del sistema no es vertical sino en rampa o pendiente. El giro descendente hace descender una capa que parte de niveles medios a niveles bajos donde y acumula aire frío por debajo del ascenso en rampa. La convección en un SCM en estado maduro consiste pues en un giro de capas, muy diferente de la

convección asociada a un simple cumulonimbo, que se realiza por burbujas de aire que ascienden desde la capa límite. La situación meteorológica sobre la Península del día 29 estaba definida por una gota fría, *cut-off low* o depresión aislada en niveles altos, dana (calificación esta última que prevaleció en el relato mediático, aunque la circulación ciclónica existía en todas las capas de la troposfera) centrada en el golfo de Cádiz; aire frío en altura y advección cálida en niveles medios-bajos en el sudeste de la

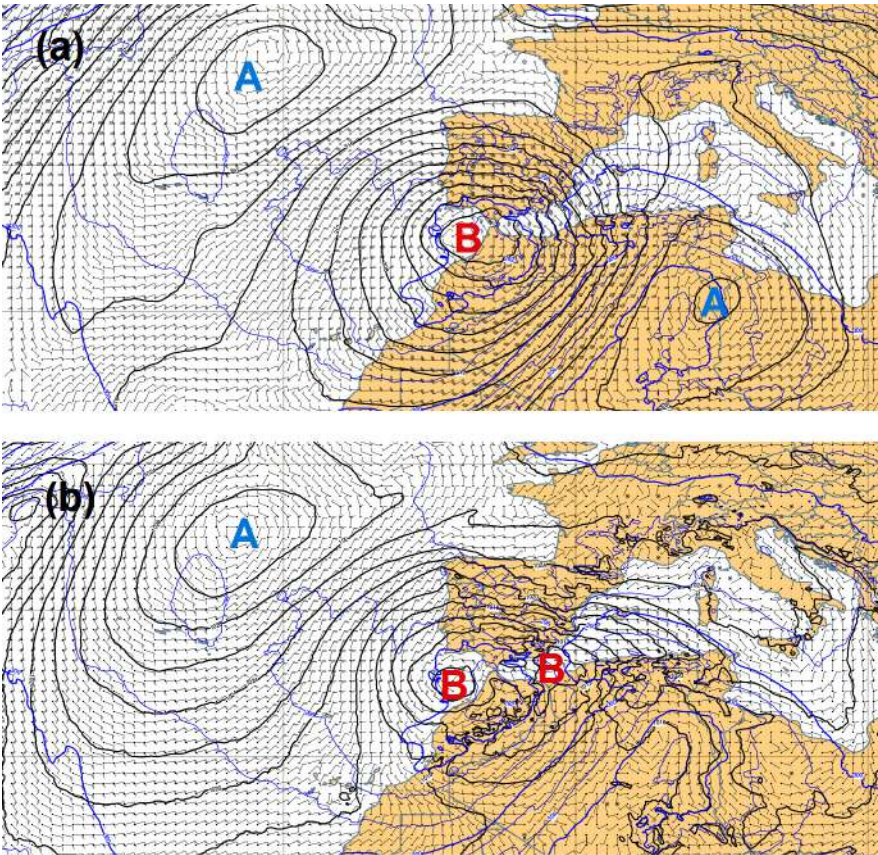


Figura 4. Análisis del modelo HRES del ECMWF del 29 de octubre a las 00 UTC. (a) Altura del geopotencial (intervalo 2 dam) y viento en 700 hPa y espesor de la capa 850-925 hPa (intervalo 2 dam); (b) presión a nivel del mar (intervalo 2 hPa), viento a 10 m y espesor de la capa 850-925 hPa

## Aspectos mesoscales de la tormenta que causó las desastrosas inundaciones en Valencia del 29 de octubre de 2024

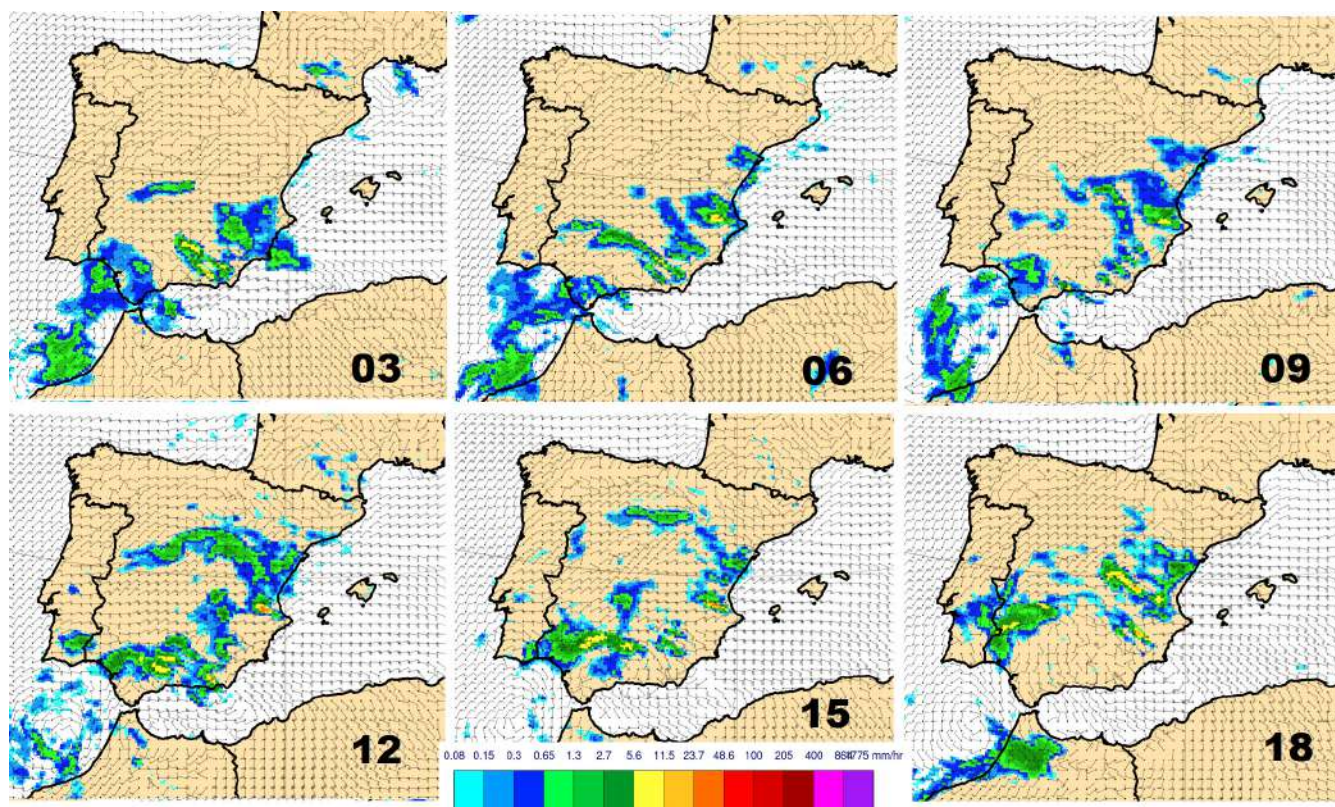


Figura 5. Intensidad de precipitación estratiforme y viento a 10 m del modelo del HRES del ECMWF del 29 de octubre; pasada de las 00 UTC para las: 03 (+3), 06 (+6), 09 (+9) UTC; pasada de las 12 UTC para las: 12 (+0), 15 (+3), 18 (+6) UTC

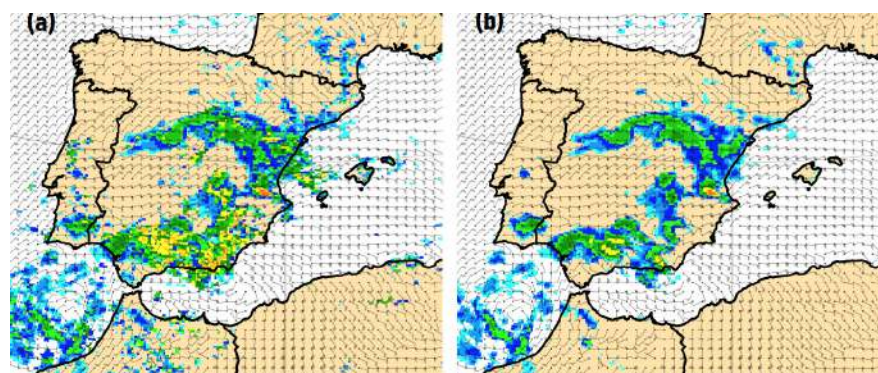


Figura 6. (a) Intensidad de precipitación total y viento a 10 m; (b) intensidad de precipitación estratiforme y viento a 10 m. Ambos para las 12 UTC; análisis del modelo del HRES del ECMWF

Península (figura 4a) que se manifestó en nubosidad convectiva (figura 1) al hacer ascender columnas de aire potencialmente inestable procedente del norte de África. En el litoral oriental de la Península el viento presentaba en niveles bajos una cizalladura vertical propicia para la convección profunda organizada, pues mientras en niveles medios y altos el viento era de componente sur, en superficie el viento de levante sobre el Mediterráneo occidental, giraba al nordeste en la costa debido a la orografía.

En Valencia se desarrolló un SCM con la línea convectiva, origen del ascenso en rampa mesoscalar, al sur de la tormenta,

y la zona estratiforme delantera (al norte de la línea). Este tipo de SCM suele ser bastante estacionario pues se realimenta con el flujo inestable por la parte trasera tendiendo a compensar la propagación corriente abajo, y por tanto propicio para producir precipitaciones acumuladas grandes.

### La línea de convección del SCM en el modelo

A lo largo del evento la intensidad de precipitación estratiforme, o de gran escala, del modelo HRES del IFS del ECMWF presentó un máximo casi estacionario de disposición predominantemente zonal

que se puede observar en la figura 5. Dicho máximo fue dominante en la intensidad de precipitación total (sumas de las precipitaciones convectiva y estratiforme), como se puede ver, por ejemplo, en la figura 6 de las 12 UTC.

En la figura 7 se muestra el sondeo vertical del modelo ENS del ECMWF en un punto de máximo de intensidad de precipitación a las 12 UTC (zona rojiza). El sondeo presenta, por debajo de 700 hPa y por encima de 800 hPa una capa saturada absolutamente inestable con un gradiente vertical próximo al gradiente adiabático seco (MAUL, *Moist Absolutely Unstable Layer*, Bryan y Fritsch 2000) que es característica de los niveles bajo de la corriente ascendente en rampa del SCM. La presencia de la capa MAUL se explica porque la capa de aire de la troposfera inferior que alimenta en niveles bajos o medios a un SCM suele ser convectivamente inestable, caracterizada por tener un gradiente vertical negativo de temperatura potencial equivalente,  $\Theta_e$ , y como señaló Morán (1944), cuando una columna de aire convectivamente inestable se eleva y se satura por su base se vuelve absolutamente inestable. Sin embargo las observaciones con radar

Location: 39.09°N 0.85°W

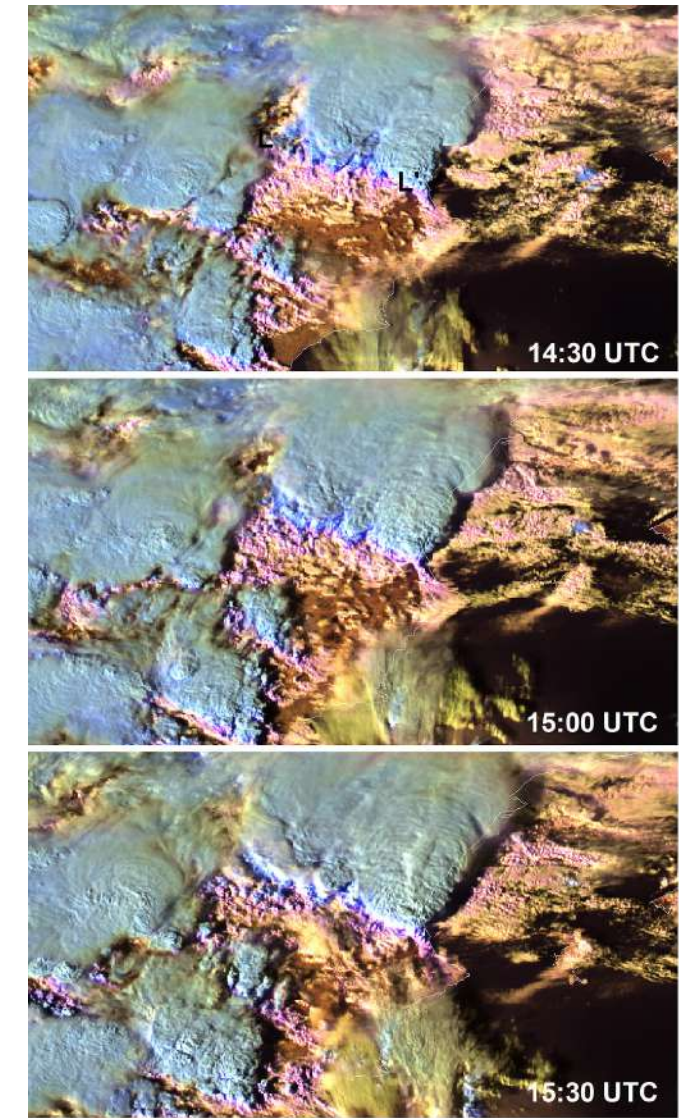
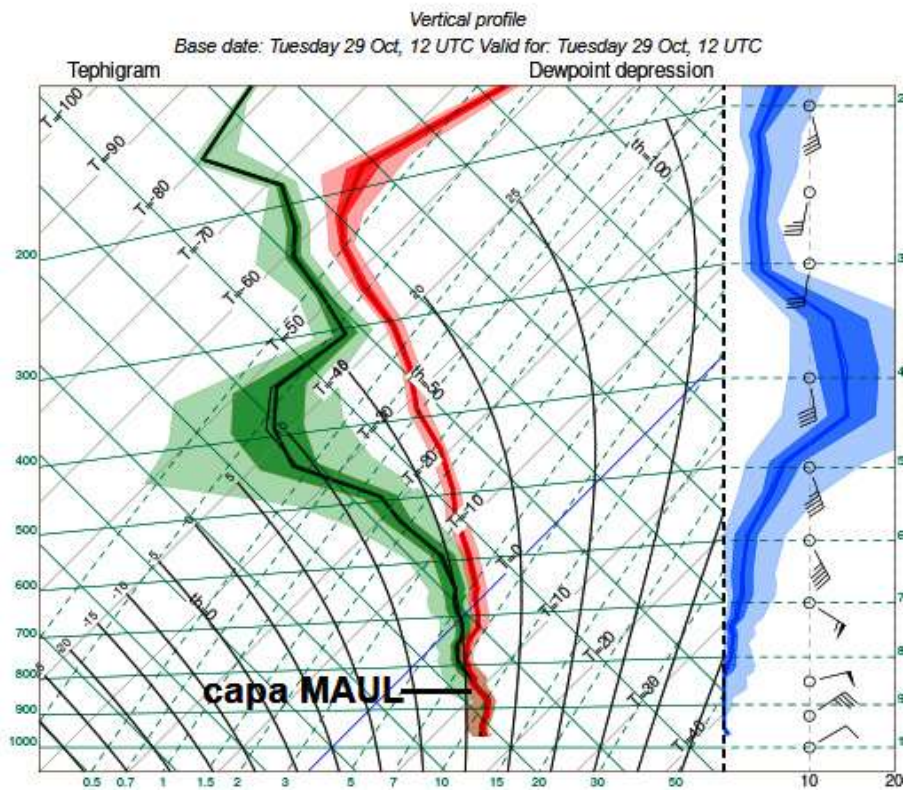


Figura 7. Sondeo de los análisis del modelo ENS de las 12 UTC del día 29 en el área de máxima intensidad de la precipitación estratiforme. Se muestran con distintos sombreados el mínimo, la mediana y el máximo, y los percentiles 25 y 75 de las distribuciones de temperatura y punto de rocío en cada nivel

Figura 8. Imágenes “fase de nube” del MTG de las 14:30, 15:00 y 15:30 UTC del día 29 de octubre centradas en el SCM; en la primera se ha marcado los extremos de la línea convectiva con L y L’

Doppler muestran que, a pesar de su inestabilidad absoluta, la capa mantiene una estructura coherente en el ascenso en rampa. Al parecer, la liberación de la inestabilidad no es lo suficientemente rápida ni lo suficientemente profunda como para destruir la estructura inicial de la capa.

De lo anterior se deduce que el modelo HRES, que tiene una resolución de unos 9 km, resuelve la precipitación de la zona convectiva de un SCM maduro, por tanto ésta está integrada en el producto “precipitación de gran escala o estratiforme”, y no en el producto “precipitación convectiva”.

La modelización en extremadamente alta resolución revela que dentro de la capa de aire MAUL, generalmente ascendente, los elementos flotantes giran en rollos alineados a lo largo de la cizalladura (Bryan y Fritsch, 2003), en consonancia con los datos de radar, que muestran que las celdas en las zonas convectivas de los SCM suelen ser alargadas. En las imágenes del MTG en alta resolución también se observan dichos rollos convectivos, en la imagen de las 14:30 UTC de la figura 8 están marcados los extremos de la línea convectiva con L y L’ y en ella se pueden apreciar las zonas ascendentes de esos rollos alargados que se inician con colores rosados, que caracterizan a techos de nube con gotas de agua, y finalizan con azul oscuro, que indica que la parte superior de dichas nubes de cristales está formada por cristales grandes de hielo. En las imágenes de la figura 8 puede apreciar la propagación de la línea convectiva hacia el ONO.

## Referencias

- Bryan, G. H., J. M. Fritsch, 2000: Moist absolute instability: The sixth static stability state. Bull. Amer. Meteor. Soc., 81, 1207–1230, [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2000\)081<1287:MAITSS>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2000)081<1287:MAITSS>2.3.CO;2).
- Bryan, G. H., J. M. Fritsch, 2003: On the existence of convective rolls in the convective region of squall lines. 10th Conf. on Mesoscale Processes, Portland, OR, Amer. Meteor. Soc., 4.2, <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/62556.pdf>.
- Houze, R. A., 2018: 100 Years of Research on Mesoscale Convective Systems. Meteor. Monogr., 59, 17.1–17.54, <https://doi.org/10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-18-0001.1>.
- Morán Samaniego, F., 1944: Apuntes de Termodinámica de la Atmósfera. Servicio Meteorológico Nacional, pg. 195–198, <https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/16036/1/Moran.pdf>

# La línea de turbonada de las inundaciones Málaga 13 noviembre 2024

JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ-LAULHÉ

Las extraordinarias precipitaciones de Málaga del día 13 de noviembre de 2024 ocurrieron en el marco sinóptico de una depresión aislada, gota fría o *cutoff low*, que se puede calificar como dana (depresión aislada en niveles altos) dado su escaso reflejo en la circulación en niveles bajos. La reducida estabilidad vertical y la dinámica propias de una dana causaron precipitaciones en buena parte de la Península (figura 1). En este artículo se trata de indagar en las causas meteorológicas particulares que dieron lugar a las graves inundaciones Málaga ciudad y en la Axarquía, comarca del este de la provincia (ver descargas eléctricas en la figura 5c).

Precipitación (mm) entre las 00:10UTC del día 13/11/2024 y las 00:00UTC del día 14/11/2024

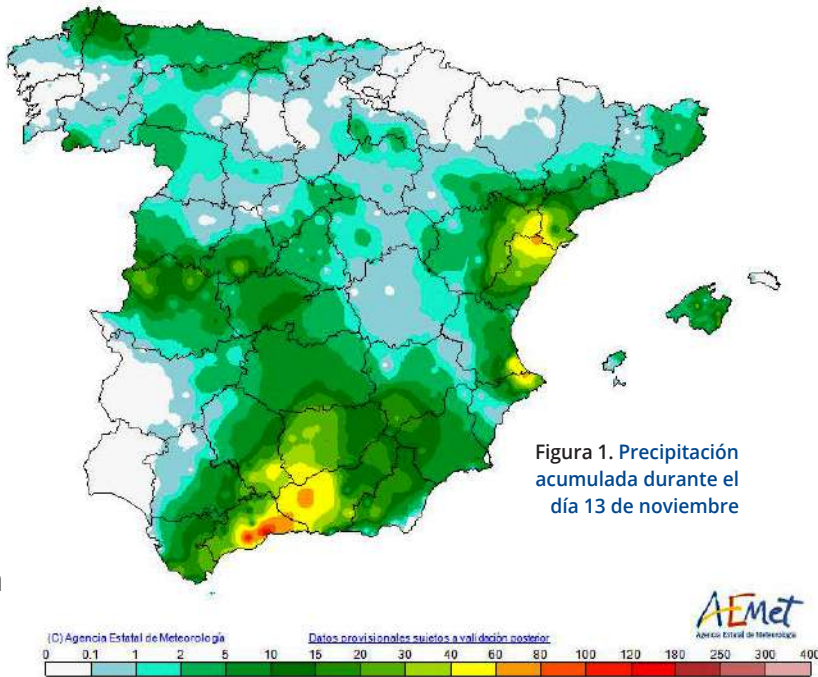


Figura 1. Precipitación acumulada durante el día 13 de noviembre

En la figura 2 se muestran los campos de altura de geopotencial y viento en 700 hPa y los de presión a nivel del mar y de viento a 10 m del análisis del día 13 a las 12 UTC del modelo HRES del ECMWF. Los centros ciclónicos de ambos niveles están claramente desplazados. Siguiendo el modelo conceptual de Hoskins *et al.* (1985) sobre la influencia de las anomalías de vorticidad potencial en la circulación atmosférica, el centro ciclónico en 700 hPa sobre el SO

de la Península (figura 2a) estaría inducido por la anomalía de vorticidad potencial en la tropopausa asociada a la dana, mientras las bajas presiones en superficie sobre el golfo de Cádiz, el mar de Alborán y Mediterráneo occidental (figura 2b), estarían inducidas por las temperaturas cálidas en la superficie del mar. En el oeste de Alborán el flujo sería convectivamente inestable al sobrevolar el aire relativamente seco, procedente del sudoeste en niveles medios, sobre el flujo húmedo en superficie.

La posición y desplazamiento hacia el oeste de la dana durante la tarde del día 13 se muestra claramente en las imágenes “masa de aire” de las 12, 14, 15 y 18 UTC del día 13 del satélite Meteosat segunda generación (MSG) con los colores rojos característicos de su masa de aire polar con origen próximo a la estratosfera, rica en ozono y muy seca. En la zona de subsidencia del oeste de la dana se observan dos bandas especialmente oscuras características de pliegues de la tropopausa aso-

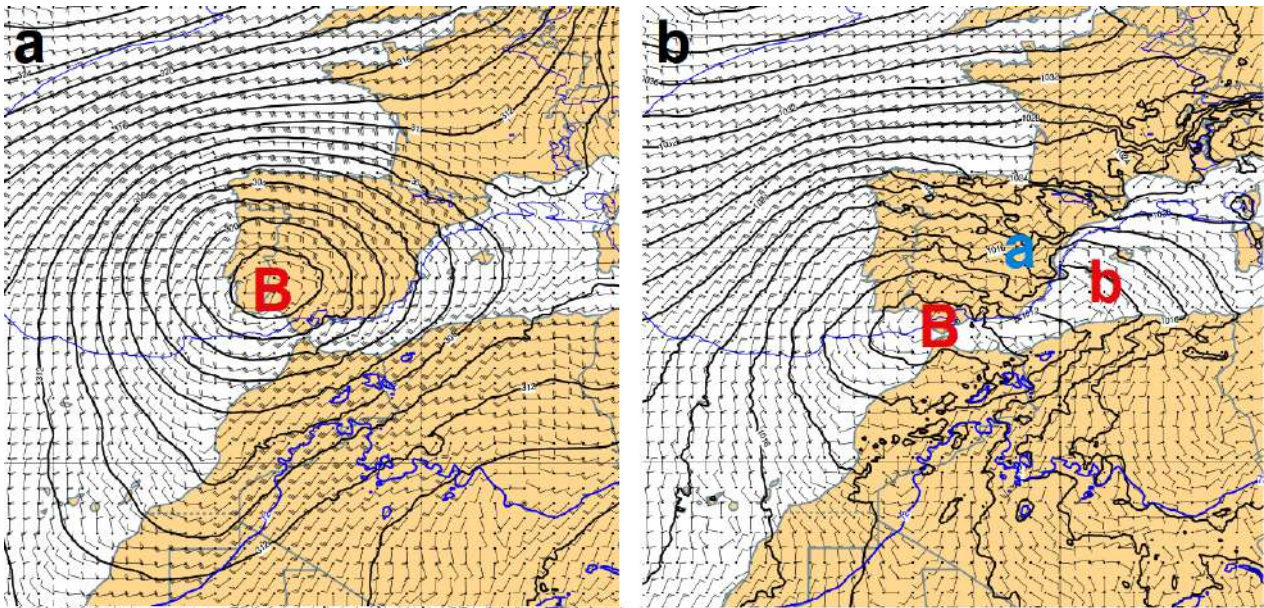


Figura 2. (a): viento y altura del geopotencial en 700 hPa (líneas de nivel en negro cada 20 m) y espesor 850/925 hPa (líneas azules cada 20 m); (b) presión a nivel del mar (isobaras en negro cada 2 hPa), viento a 10 m y espesores 850/925 hPa. Análisis del modelo operativo del ECMWF del 13 de noviembre de 2024 a las 12 UTC

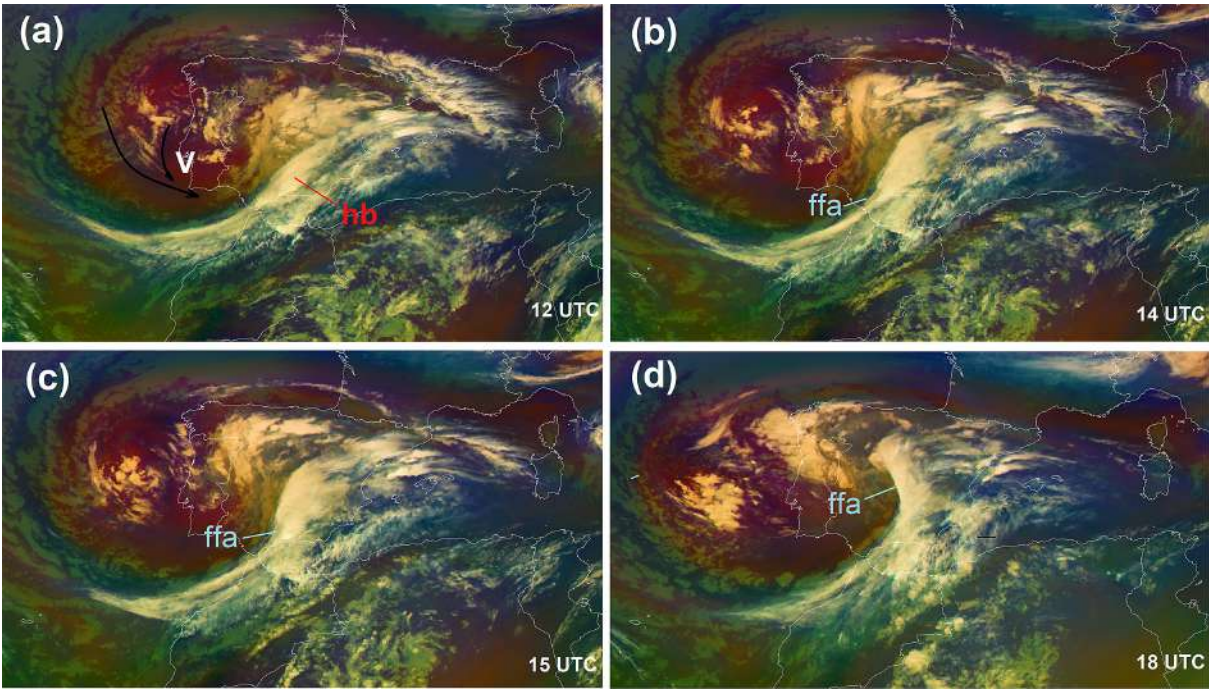


Figura 3. Imágenes RGB masa de aire del MSG de las: (a) 12 UTC, (b) 14 UTC, (c) 15 UTC y 18 UTC. V vórtice ciclónico de la dana; hb, hoja baroclina; ffa, frente frío en altura. Fuente: Eumetsat

ciados a máximos de viento en chorro en niveles altos, que está señaladas en la imagen de las 12 UTC (figura 3a) con las líneas negras acabadas en flecha, que confluyen cerca del cabo de San Vicente. En esta imagen también se observa, al sur de la dana, una banda de nubosidad alta sobre la masa tropical (color verde), que caracteriza la zona baroclina entre la masa tropical y la masa de aire polar de la dana. En la banda nubosa baroclina, se distingue una nubosidad en forma de hoja baroclina, marcada con “hb”, típica de una frontogénesis. En las imágenes de la figura 3 se puede observar

la desaparición de la nubosidad alta en la parte sur de la hoja baroclina, sobre la costa noroeste del mar de Alborán, asociada probablemente a la irrupción del aire seco del mencionado pliegue de la tropopausa, que llevó a la formación de un frente frío en altura (FFA), cuya evolución se indica en las figuras 3b, 3c y 3d. En la imagen de las 18 UTC el FFA ha adquirido dimensiones de frente sinóptico y un aspecto que recuerda una oclusión cálida. Esta frontogénesis fría y la inestabilidad convectiva sobre Alborán fueron claves en el desarrollo de la *squall line* o línea de turbonada (LT) que originó

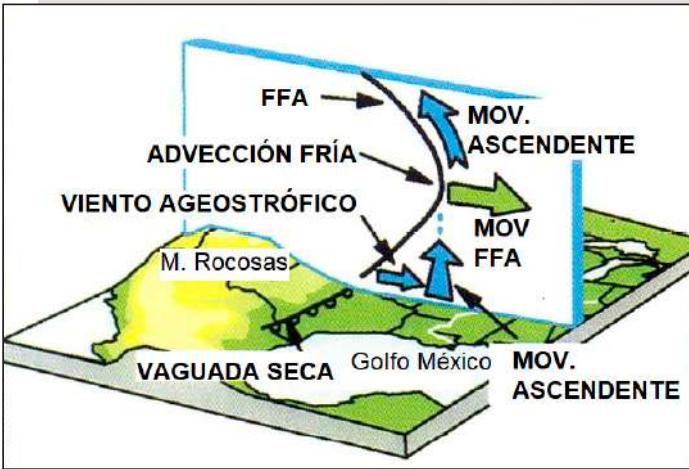
las intensas precipitaciones de este día en Málaga. En la figura 4b, se pueden observar en la imagen “fase de nube” del Meteosat Tercera Generación (MTG) de las 14:30 las tormentas de la LT en la parte delantera del FFA esa hora. Hay numerosos estudios que relacionan a la frontogénesis fría en altura con la generación muy severos de LT. Son situaciones en que se dispara la inestabilidad convectiva cuando un FFA con aire seco y frío sobrevuela una región con aire cálido y húmedo. En particular, el caso que nos ocupa es bastante similar a los de forma-

Líneas de turbonadas asociadas a frontogénesis en altura al este de las Montañas Rocosas

Las primeras investigaciones sobre eventos que produjeron precipitaciones invernales significativas en el medio oeste de los Estados Unidos sugirieron que la mayoría estaban asociados con frentes fríos en altura (FFA). Ya en Crawford (1950) se afirma que “una LT se desarrolla a lo largo del eje de una lengua cálida en 850 hPa después de que una advección fría en 700 hPa haya alcanzado y rebasado la parte delantera de la vaguada asociada a dicha lengua desplazándose más rápido que la lengua cálida”, y que “no se habían observado líneas de inestabilidad (LT) prefrontales frías de importancia sobre los Estados del sudeste (de EE. UU.) sin la presencia una lengua cálida a 850 hPa y de una fuerte advección de aire frío en la parte delantera de la vaguada en 700 mb”.

Estudios posteriores, como Hobbs *et al.* (1990) y Locatelli *et al.* (1995), mostraron que cuando un FFA avanza sobre una vaguada a sotavento de las Rocosas puede evolucionar a una estructura similar a una oclusión de tipo cálido, y si la vaguada de sotavento presenta una línea seca puede desarrollar una o varias LT: a medida que el FFA alcanza la parte oriental de la vaguada de sotavento, donde el aire se mueve hacia el norte, la circulación de tipo frontal cálido de la línea seca hace que se superponga aire cálido y seco (de baja temperatura potencial equivalente,  $\Theta_e$ ), que desciende de las Montañas Rocosas, sobre el aire cálido y húmedo del golfo de México (de alta  $\Theta_e$ ) en una región de pendiente ascendente con inestabilidad convectiva extrema propensa desarrollar LT). El movimiento ascendente asociado al FFA, cuando ya se encuentra en la vaguada de sotavento, consta de dos partes: una superior, que está situada por delante y por encima del morro delantero del aire frío, que es la rama ascendente de la circulación térmicamente directa ligada a la frontogénesis, y otra inferior en la que el movimiento ascendente es consecuencia de los cambios rápidos en el gradiente de presión al paso por encima del morro del FFA. Este cambio produce vientos ageostróficos y convergencia a medida que las parcelas de aire se ajustan al gradiente de presión cambiante. Como resultado de estos ascensos, la masa de aire convectivamente inestable se eleva hasta la saturación, desencadenando la formación de una banda de lluvia convectiva del FFA.

Esquema del desarrollo de una LT al este de las Montañas Rocosas forzado por un frente frío en altura (adaptado de Hobbs *et al.*, 1995)



## La línea de turbonada de las inundaciones Málaga 13 noviembre 2024

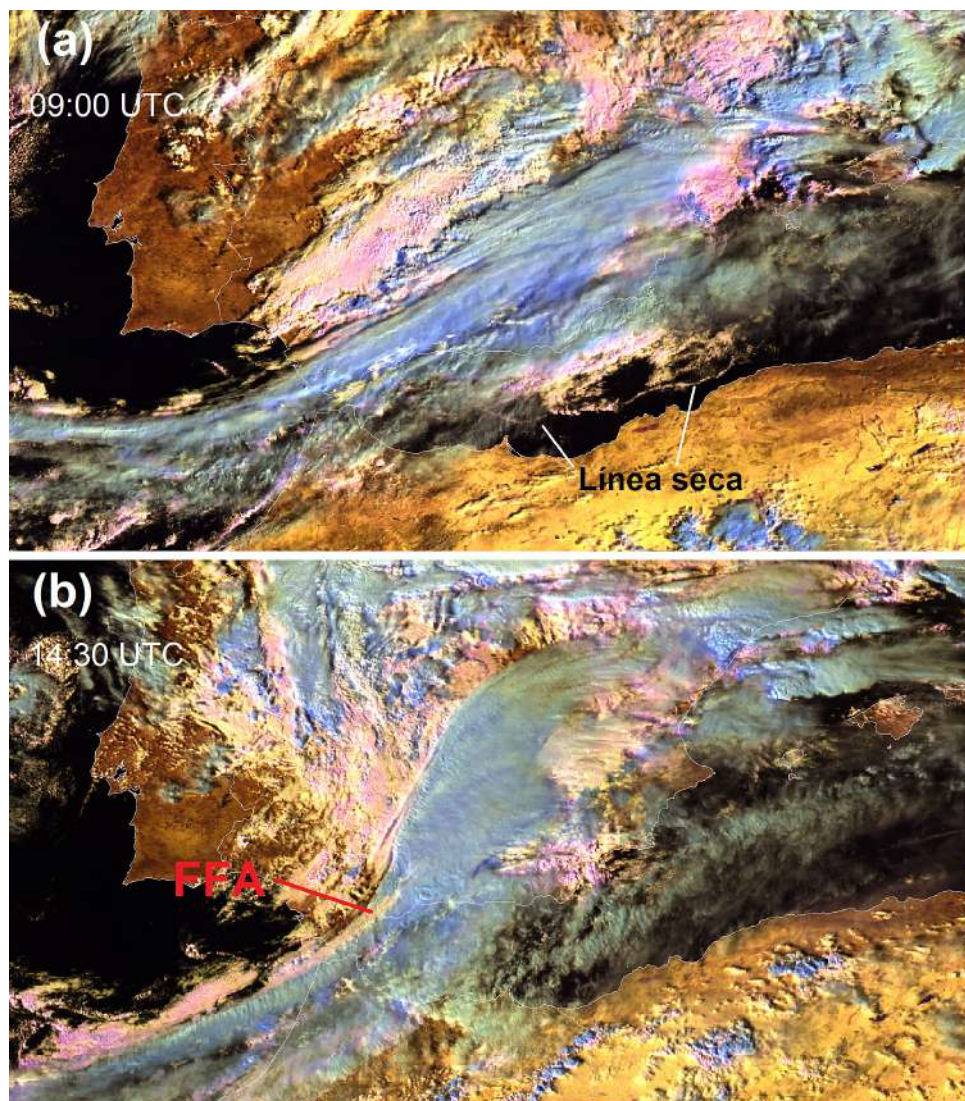


Figura 4. Imágenes RGB “fase de nubes” del MTG de las: (a) 09:00; señalada la nubosidad en cordel (rope cloud) de la línea seca (b) 14:30 UTC; trazado subjetivo de la intrusión de aire polar que dio lugar en su parte delantera al frente frío en altura. Fuente: Eumetsat

ción de LT prefrontales en el sector cálido de ciclones extratropicales al este de las Montañas Rocosas que se resumen en el cuadro de texto.

### El paso de la línea de turbonada sobre la ciudad de Málaga

Las precipitaciones fueron muy intensas en la ciudad de Málaga, con máximo histórico de precipitación acumulada de 85.2 mm en una hora medido en la estación automática Málaga Puerto de AEMET. En la figura 5a se muestran las gráficas del día 13 de: la presión, la temperatura a 2 m, la humedad y el viento en la estación Málaga CMT de AEMET, en las que hay que destacar:

- La entrada del viento de levante a las 06:00 UTC coincide con un máximo relativo

de presión. Posteriormente la presión disminuye, acelerándose la caída de 10:00 a 11:00, producto de los movimientos ascendentes previos al paso del FFA. El mínimo de presión de las 11:00 fue seguido de un máximo alrededor de la 11:30. Esta subida de presión de algo más de 1.5 hPa, de 11:00 a 11:30, refleja el aumento de espesor del aire frío en altura tras el FFA.

- Intensificación del viento de levante hasta el comienzo de las precipitaciones intensas, a las 11:00 UTC, amainando bruscamente a flojos variables bruscamente a esa hora. El movimiento ascendente que genera las precipitaciones es consecuencia de los cambios rápidos en el gradiente de presión al paso por encima del morro de FFA. Este cambio produce vientos ageostróficos y convergencias a medida que las parcelas de aire se ajustan al gradiente de presión

cambiante (ver esquema del cuadro).

- La humedad relativa se mantuvo por debajo del 80 % entre 08:00 y 11:00 UTC, intervalo del viento de levante previo las precipitaciones, debido a que parte de la masa de aire del viento de levante junto a la costa procede de tierra. La humedad solo sube con las precipitaciones, lo que es indicativo de que el aire que alimenta la banda convectiva asociada al FFA se origina mar adentro por elevación hasta la saturación de un flujo del sur, como confirma el esquema de la circulación en niveles bajos interpretado a partir del producto “viento doppler” del radar de Málaga (figura 6).

- Cuatro horas de precipitación ininterrumpida entre las 11:00 y las 15:00 UTC, durante las cuales el aire en superficie se mantuvo saturado, y consiguientemente la actividad convectiva no produjo vientos fuertes en dicho periodo: a partir de las 11:00 los vientos no superaron los 11 km/h. Las máximas intensidades de precipitación ocurrieron al principio de este periodo, siendo 26 mm el máximo de precipitación acumulada en diez minutos (entre 11:21 y 11:30 UTC). Posteriormente la intensidad de precipitación tuvo una tendencia general decreciente. En la figura 5b se muestra el lento desplazamiento hacia el este de la reflectividad máxima medida por el radar de Málaga en las proximidades de esta ciudad de 11:00 a 13:20 UTC.

### Interpretación a través de los mapas del modelo HRES del ECMWF

En este apartado analizamos la evolución a lo largo del día 13 por medio de los campos del modelo operativo HRES del ECMWF de las pasadas de las 00 (previstos para 03, 06 y 09 UTC) y de las 12 UTC (análisis y previstos para 15 y 18 UTC), que se muestran en la figura 7: presión a nivel del mar; espesores 600/925 hPa; espesores 850/925 hPa; intensidad de precipitación (columna izquierda), intensidad de precipitación de “gran escala” (columna de la derecha).

Durante las primeras horas del día se produjo un cambio del viento en niveles bajos a levante en Alborán asociado a la disminución de la presión a nivel del mar en la zona del Estrecho respecto al Mediterráneo occidental, y al giro a SO del flujo del en altura sobre el norte de Marruecos (figura 2).

El levante en Alborán en este caso fue la prolongación hacia el Estrecho de una

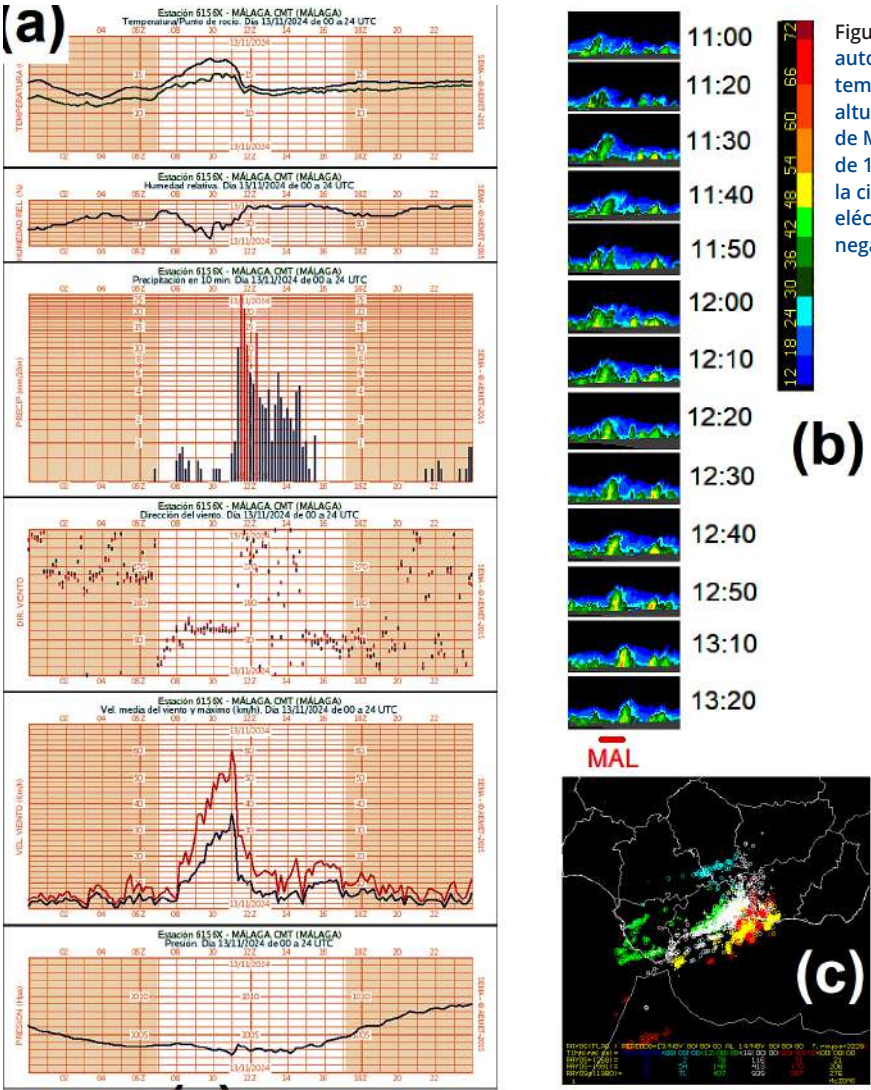


Figura 5. (a) Gráficas del día 13 de la estación automática Málaga CMT de AEMET de: presión, temperatura a 2 m, humedad y el viento; (b) perfil altura-longitud de la máxima reflectividad del radar de Málaga para las proximidades de Málaga ciudad de 11:00 a 13:20 UTC. La dimensión longitudinal de la ciudad está indicada por la raya roja; (c) descargas eléctricas durante el día 13 (+, rayo positivo; -, rayo negativo; o, rayo nube.+nube). Fuente: AEMET

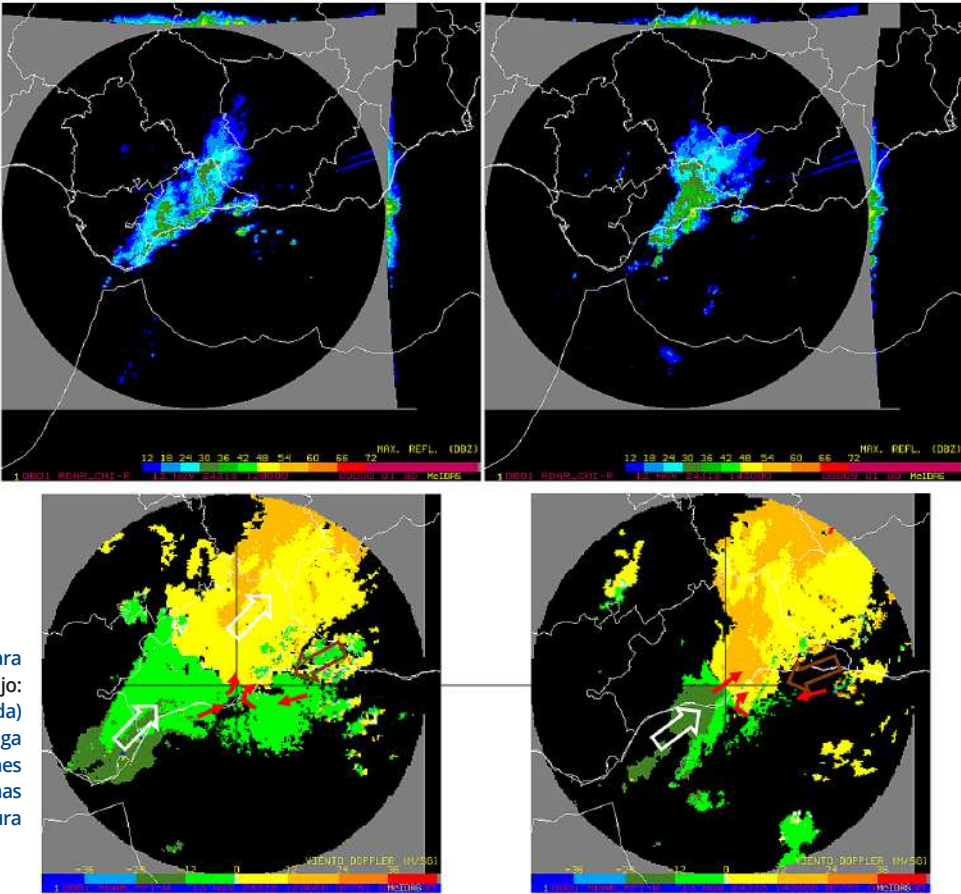
la isobara de 1010 hPa (teniendo en cuenta que está bajando la presión en la zona), marcadas en grueso en color rosa y verde, respectivamente, en los mapas de la columna derecha de la figura 7. El rápido avance de la corriente fría costera se frenó en los estrechamientos del Estrecho propagándose hacia el sur, siguiendo las costa y envolviendo el aire más cálido en una vaguada de presión invertida, marcada con una “b” roja en los mapas previstos para las 09:00 UTC, que desde el este de Melilla se estira hacia la bahía de Málaga.

Por otra parte, en los mapas de las 09:00 UTC se observa sobre la provincia de Cádiz una dorsal en el campo de espesores de 600/925 hPa, con línea de espesor de 277 dam marcada a trazos en los mapas de la izquierda de la figura 7, asociada a la posición prevista del FFA, que se ha señalado con una línea blanca con triángulos.

Los campos del análisis de las 12:00 UTC muestran intensidades de precipitación “de gran escala”<sup>1</sup> muy intensas, que indican el desarrollo de la línea de turbonada

corriente de aire de componente norte atrapada en la costa oriental de la Península que se aprecia en la figura 2b y que es relativamente frío al incorporar vientos catabáticos procedentes de tierra. El morro de esta corriente avanzó hacia el oeste de Alborán, alcanzando las proximidades del Estrecho sobre las 09:00 UTC. Dada la estrechez del mar de Alborán el flujo acaba ocupando prácticamente toda la anchura de este mar (se puede apreciar la línea seca que limita el flujo por el sur próxima a la costa sur de Alborán en la imagen de las 09:00 de la figura 4a) empujando hacia el oeste el aire más cálido que previamente existía en niveles bajos. El avance del levante se puede ver en el desplazamiento hacia el oeste de la línea de espesor 850/925 hPa de 70 dam o de

Figura 6. Arriba: imágenes reflectividad máxima para las 12:00 UTC (izquierda) y para las 14:30 UTC; abajo: imágenes viento doppler para las 12:00 UTC (izquierda) y para las 14:30 UTC, obtenidas por el radar Málaga de AEMET. Las flechas en rojo indican circulaciones deducidas próximas a la superficie. Las flechas contorneadas grandes indican vientos en altura



# La línea de turbonada de las inundaciones Málaga 13 noviembre 2024

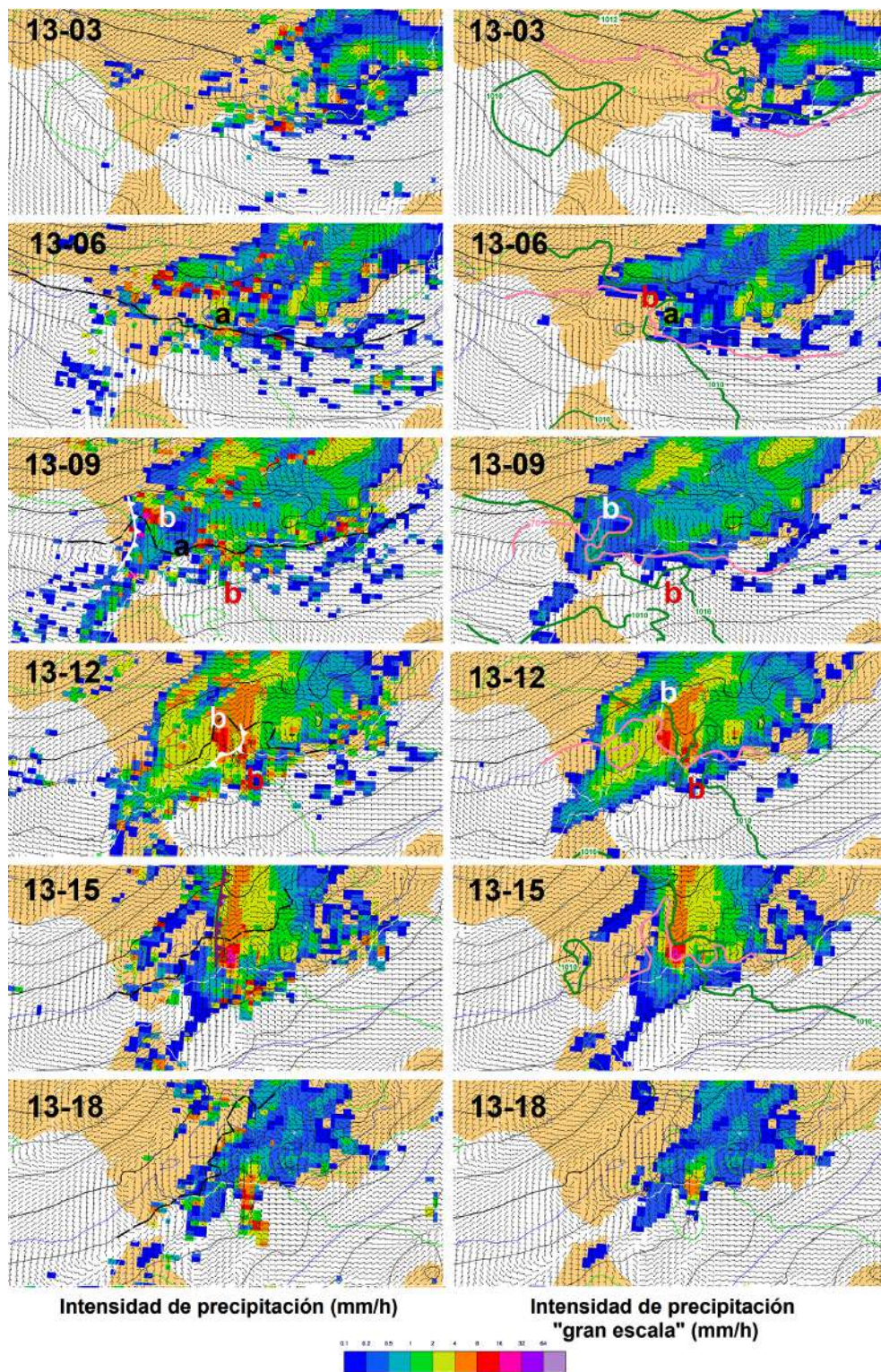


Figura 7. Presión a nivel del mar (isobaras en verde, intervalo 2 hPa; isobara gruesa de 1010 hPa); espesores 600/925 hPa (líneas negras, intervalo 10 m; en grueso la línea de espesor de 277 dam); espesores 850/925 hPa (líneas azules, intervalo 20 m; en grueso y en rosa la línea de espesor de 70 dam); intensidad de precipitación (columna izquierda, mm/h colores según la escala), intensidad de precipitación de “gran escala” (columna de la derecha, mm/h colores según la escala). Modelo operativo del ECMWF pasadas del día 13: a las 00 h (03, 06 y 09); a las 12 h (12, 15, 18)

toda una amplia zona contigua en forma de lambda ( $\lambda$ ) en el este de la provincia de Málaga con la bifurcación sobre el mar, consecuencia del calentamiento latente debido al ascenso de las columnas de aire convectivamente inestables compuestas por el embolsamiento cálido y húmedo en capas bajas sobrevolado por aire seco: el sector ESE corresponde a su ascenso sobre el flujo de levante “frío”; el sector SO, paralela a la costa al oeste de Málaga, a su ascenso por la circulación vertical directa de la parte estacionaria del FFA. El sector norte sobre tierra, con aspecto de frente ocluido, es producto del volteo vertical de capas debido a los intensos movimientos ascendentes en la parte delantera del FFA. En la figura 8 se muestran cuatro sondeos del análisis de las 12 UTC del modelo ECMWF, todos en la zona lambda. El sondeo 1, el más alejado de la costa, la precipitación es de pequeña escala (parametrizada) pero muestra una capa de gran espesor con inestabilidad absoluta húmeda (MAUL, según sus siglas en inglés) lo que indica que, es más rápida la saturación por elevación de la capa que el proceso de desestabilización. El sondeo 2, próximo a la costa, tiene una capa aire de 900 a 800 hPa con inestabilidad absoluta húmeda y por encima otra capa 800-550 hPa con aire saturado y más frío que la del sondeo 1, probablemente refleja un estado de desestabilización de la capa MAUL. Los otros dos sondeos 3 y 4 localizados sobre tierra, sobre máximos de precipitación, que son principalmente de gran escala, muestran estabilidad. Se puede concluir que las columnas atmosféricas con MAUL se desestabilizan rápidamente al propagarse a la parte delantera del FFA donde los ascensos son muy intensos en niveles bajos. Este proceso fue reiterativo sobre la ciudad de Málaga dado que el estancamiento del FFA en la costa al oeste de la ciudad (con dirección SO-NE) generaba frecuentes torres convectivas

(LT) coincidiendo con que la parte delantera del FFA se situó sobre la parte oriental de la vaguada de niveles bajos, sobre Alborán. La dorsal del campo de espesores de 600/925 hPa asociada al frente se encontraba sobre el límite de las provincias de Málaga y Granada, aunque se fundía con la producida por el calor liberado por la convección asociada al máximo de intensidad de precipitación que ha quedado detrás del frente. Cuando el FFA alcanzó el mar,

en el tramo entre el faro de Calaburras y Málaga, se hizo casi estacionario como muestran las imágenes de reflectividad radar (figura 6), y que se explica por el calor liberado en altura por la convección. Consiguientemente parte del FFA se ha dibujado con triángulos y semicírculos en el mapa de las 12:00 de la figura 7.

En la figura 8a se muestra la velocidad vertical omega a las 12 UTC. Se observa que omega es negativa (ascendente) en

<sup>1</sup> Precipitación a gran escala es la resuelta por el modelo, que tiene una resolución de unos 9 km.

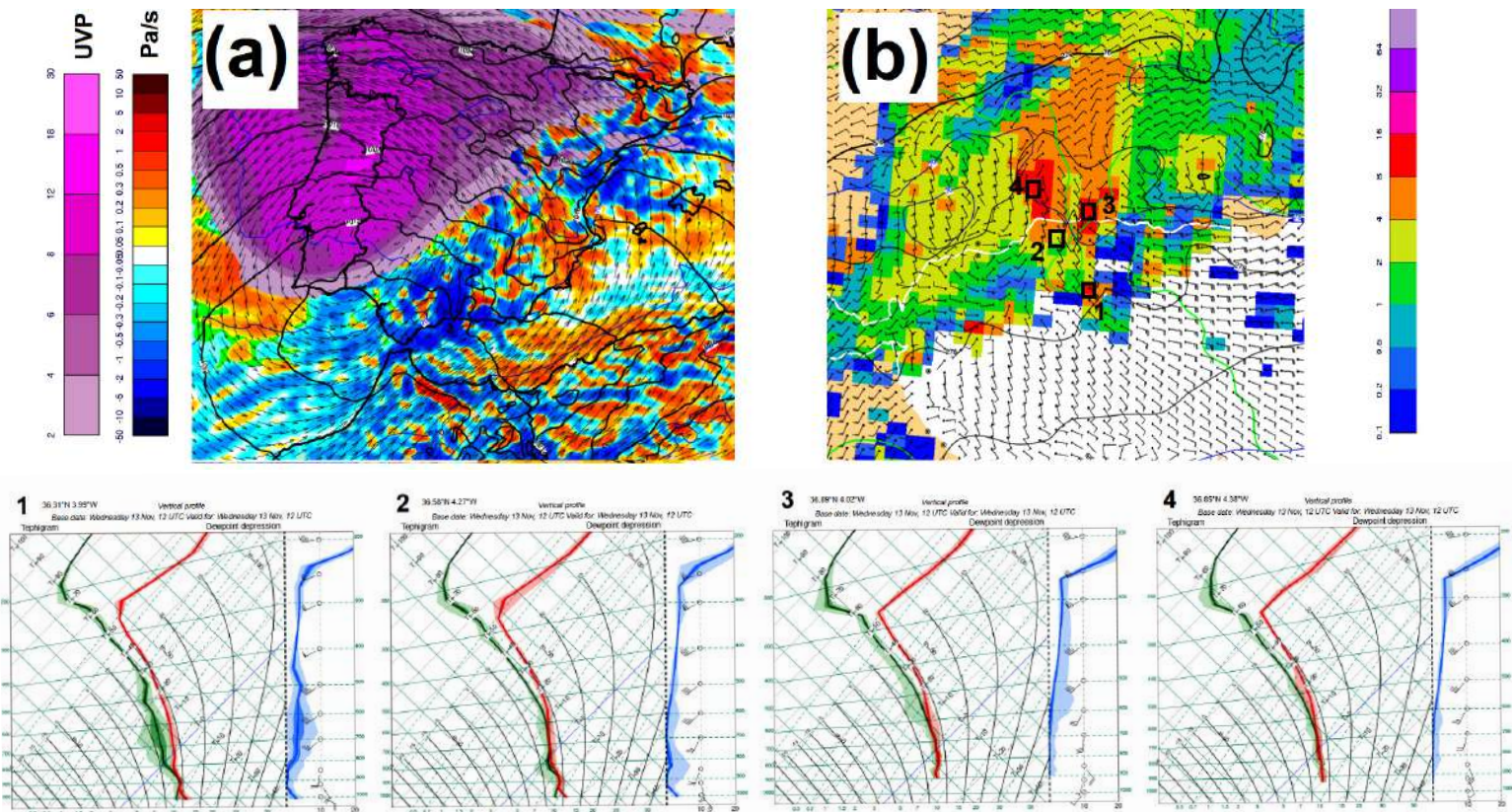


Figura 8. Arriba: (a) Viento en 700 hPa y presión a nivel del mar (isobaras cada 2 hPa), vorticidad potencial en la superficie de temperatura potencial 315 K (colores según la escala, en UVP) y velocidad vertical omega (color según la escala, en Pa/s), análisis del modelo; (b) los mismos campos que en la figura 7 izquierda para las 12 UTC con la localización de los sondeos mostrados abajo. Abajo: sondeos de los análisis del modelo ENS del ECMWF de las 12 UTC del día 13 en las localizaciones indicadas: las gráficas muestran con distintos sombreados el mínimo, la mediana y el máximo, y los percentiles 25 y 75 de las distribuciones de temperatura y punto de rocío en cada nivel

que se desplazaban con el viento del SE de niveles medios con capas MAUL hacia Málaga donde estaba anclada la parte delantera del FFA y donde los fuertes movimientos ascendente acababan por completar la desestabilización.

Este proceso acabó liquidando el FFA. A las 15 UTC la dorsal asociada al FFA había desaparecido y alternativamente se ha dibujado un “frente ocluido” con la masa cálida en altura procedente de la LT, que genera una línea de precipitación estratiforme orientada norte sur. Aunque ha desaparecido el forzamiento del FFA, la precipitación a gran escala sigue siendo la más intensa debido a que el sistema se sigue realimentando como un sistema convectivo mesoscalar (SCM) junto a la costa por la convergencia del flujo de levante y la rama descendente de la circulación frontogénica del “frente ocluido”, que haría las funciones del *rear inflow jet* (RIJ) en los SCM con la parte estratiforme trasera.

A partir de las 18 y a las 21 UTC el modelo numérico vuelve a representar tormentas intensas de pequeña escala, basadas en la parametrización convectiva.

Resumen

La entrada de viento de levante a prime-

ra horas del día dejó una seclusión de aire cálido y húmedo en niveles bajos sobre el mar de Alborán, frente a la bahía de Málaga. Las columnas de aire compuestas por la seclusión sobrevoladas por aire seco procedente de la dana eran convectivamente inestable.

Sobre las 09.00 UTC Se formó un frente frío en altura (FFA) en la provincia de Cádiz que se desplazó hacia el este afectando a la costa norte de Alborán. Al situarse el morro del FFA sobre el este de la seclusión el ascenso desarrolló la banda convectiva de la línea de turbonada.

El FFA quedó estancado sobre la costa de dirección SO-NE al oeste de Málaga y las células convectivas formadas a lo largo de esta costa fueron empujadas por los vientos hacia la parte delantera de FFA anclado sobre la ciudad de Málaga, donde los fuertes movimientos verticales asociados desestabilizaban las capas con MAUL que transportaban las células convectivas, generando intensas precipitaciones sobre la ciudad.

Este proceso acabó liquidando el frente en altura a primeras horas de la tarde, pero la convección continuó en la zona hasta el final del día, organizada con la dinámica de un SCM.

Agradecimientos

A Alejandro Roa (AEMET, Madrid) y a Pablo Aguayo (AEMET, Málaga) por la información amablemente facilitada

Referencias

● Crawford, M. E., 1950: A synoptic study of squall lines. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 31, 351-357.

● Hobbs, P. V., J. D. Locatelli, and J. E. Martin, 1990: Cold fronts aloft and the forecasting of precipitation and severe weather east of the Rocky Mountains. *Wea. Forecasting*, 5, 613-626.

● Hobbs, P. V., J. D. Locatelli, and J. E. Martin, 1996: A New Conceptual Model for Cyclones Generated in the Lee of the Rocky Mountains. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 1169-1178, [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<1169:ANC MFC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<1169:ANC MFC>2.0.CO;2).

● Hoskins, B. J., M. E. McIntyre, & A. Robertson, 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 111: 877-946.

● Locatelli, J. D., J. E. Martin, J. A. Castle, and P. V. Hobbs, 1995: Structure and Evolution of Winter Cyclones in the Central United States and Their Effects on the Distribution of Precipitation. Part III: The Development of a Squall Line Associated with Weak Cold Frontogenesis Aloft. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 2641-2662, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1995\)123<2641:SAEOWC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1995)123<2641:SAEOWC>2.0.CO;2).

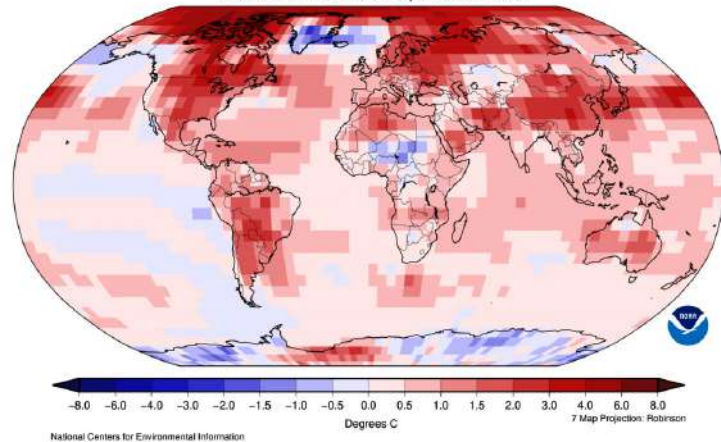
## Descripción del otoño a escala global en el Hemisferio Norte

### TEMPERATURA

La temperatura global en superficie entre septiembre y noviembre de 2024 fue 1.31 °C superior a la media del siglo XX de 14.0 °C. Se trata del segundo periodo septiembre-noviembre más cálido de los 175 años de registros (0.10 °C menos que el récord de septiembre-noviembre de 2023).

Las anomalías de temperatura han sido superiores a +2 °C en amplias zonas como por ejemplo el este de Norteamérica, sur de Brasil, norte de Rusia y amplias extensiones del continente asiático. Por el contrario, se han registrado anomalías negativas en el sur de Groenlandia y en pequeñas extensiones de África Central. Hay que tener en cuenta que los diferentes países reportan anomalías de temperatura con respecto a diferentes periodos de referencia.

Land & Ocean Temperature Departure from Average Sep 2024-Nov 2024  
(with respect to a 1991-2020 base period)  
Data Source: NOAA GlobalTemp v6.0.0-20241208



Anomalías de temperatura (°C) del trimestre septiembre - noviembre de 2024 respecto de la normal de 1991-2020.

Fuente: NCEI/NOAA

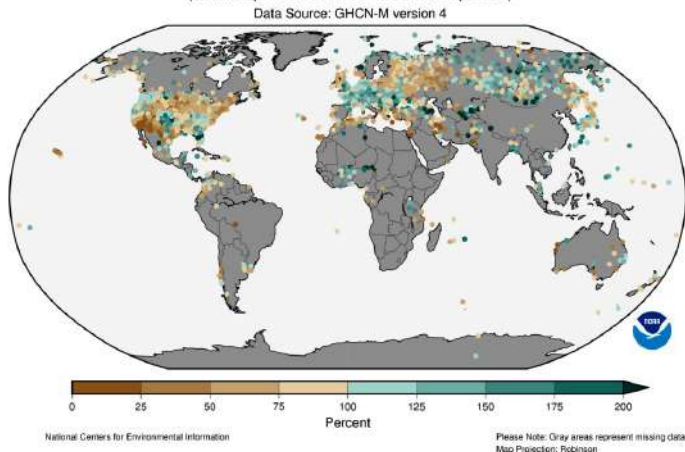
El océano ha tenido un comportamiento desigual predominando las anomalías positivas de la superficie del agua del mar. Las anomalías negativas del océano han predominado al este de Groenlandia.

### PRECIPITACIÓN

Como es habitual, las anomalías de precipitación durante el trimestre variaron significativamente de unos lugares a otros, resultando difícil una vez más distinguir patrones claros en la distribución de la precipitación a escala regional.

Precipitaciones estacionales superiores al promedio se registraron (entre otros lugares desigualmente repartidos) en el trimestre septiembre-noviembre en Europa central y oriental y diversas áreas del continente asiático. Por el contrario, condiciones más secas que el promedio se registraron en Por-

Land-Only Percent of Normal Precipitation Sep 2024-Nov 2024  
(with respect to a 1961-1990 base period)  
Data Source: GHCN-M version 4



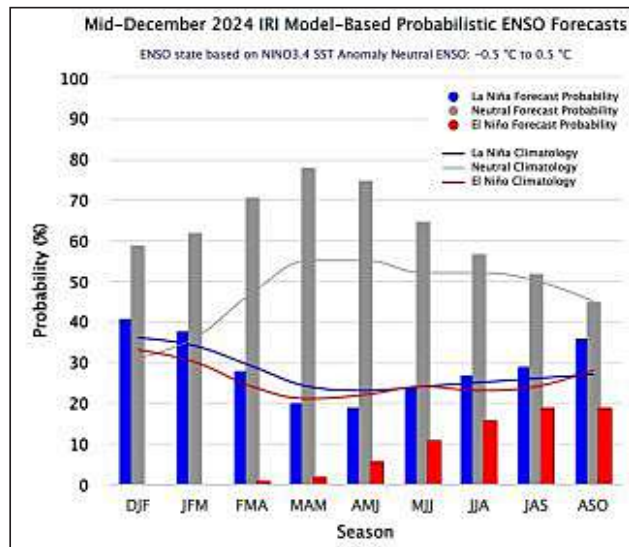
Tanto por ciento de la precipitación del trimestre septiembre - noviembre 2024 respecto de la normal de 1961-90.

Fuente: NCEI/NOAA

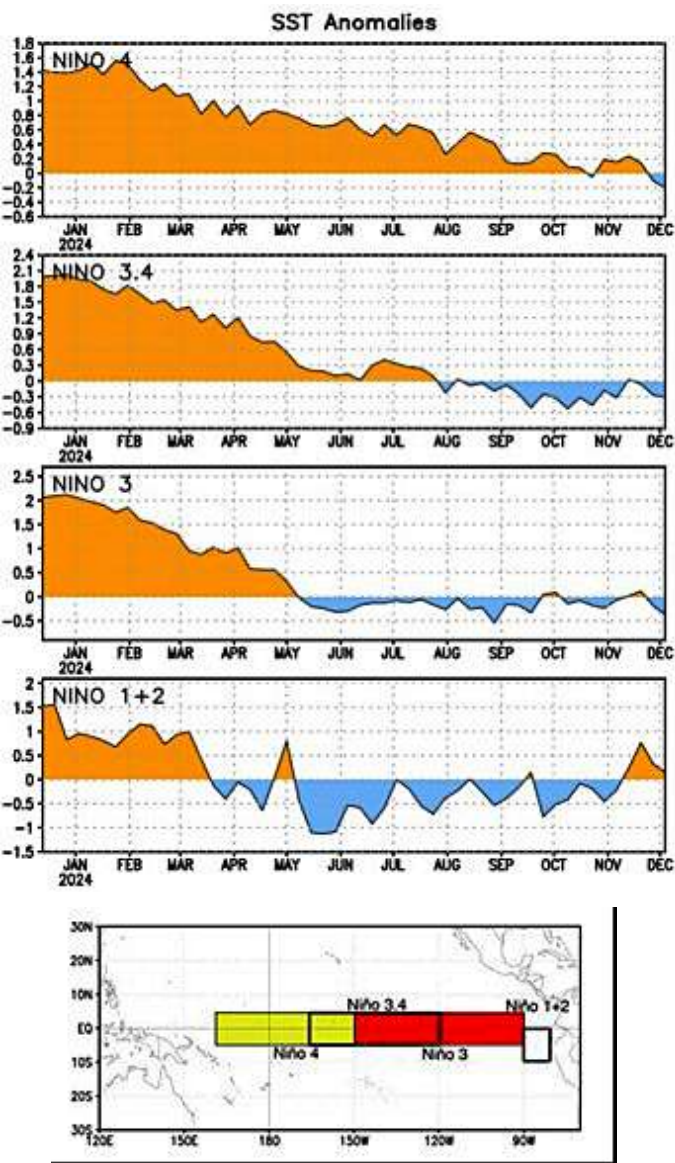
tugal, norte de África, noroeste de Rusia y amplias zonas de Estados Unidos.

### EL NIÑO

A lo largo del otoño boreal han predominado las condiciones ENSO-neutral. En el trimestre comprendido entre septiembre y noviembre de 2024 las observaciones semanales de las SST (temperaturas de la superficie del agua del



Probabilidad estimada de que se den condiciones de ENSO neutral (gris), El Niño (rojo) o La Niña (azul) durante los próximos trimestres. Se espera que durante el invierno prevalezcan las condiciones ENSO-Neutral. Fuente: IRI/CPC



Series temporales semanales de las anomalías en la temperatura (°C) de la superficie del océano en las regiones de El Niño respecto de los promedios semanales del período 1971-2000 y gráfico con las regiones de El Niño. Fuente: NOAA

mar) estuvieron por debajo del promedio en las regiones Niño1+2, Niño3 y Niño3.4. Por el contrario las observaciones semanales de las SST en la región 4 estuvieron por encima del promedio.

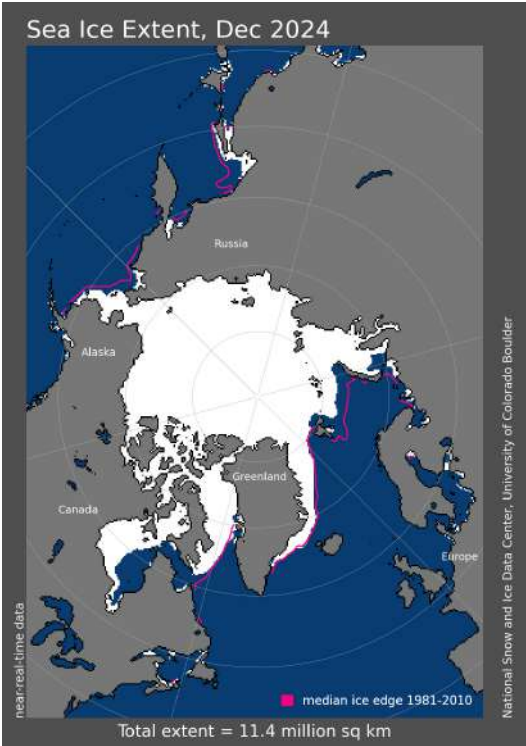
Los modelos de predicción para los siguientes meses (invierno-primavera hemisferio norte 2024) indican que continuarán las condiciones ENSO neutral.

### EXTENSIÓN DEL HIELO MARINO EN EL OCÉANO GLACIAL ÁRTICO

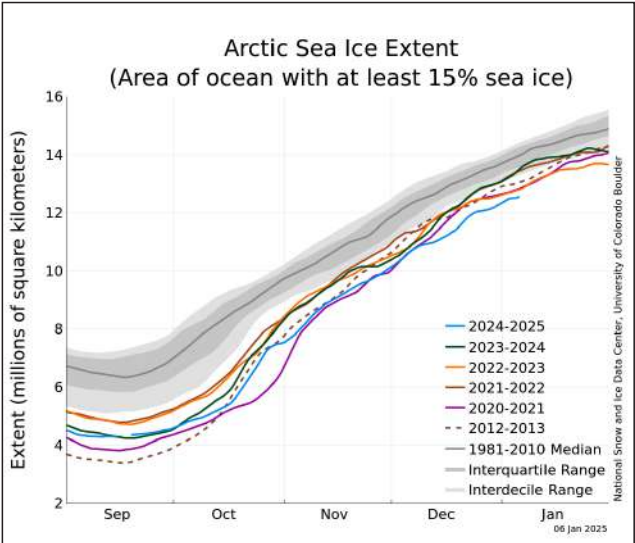
La capa de hielo marino del Ártico en junio de 2024 retrocedió a un ritmo inferior a la media, lo que dio lugar a una extensión total de hielo marino para el mes mayor que en los últimos años. Se han desarrollado muchas zonas de aguas abiertas a lo largo de la costa del Océano Ártico. El hielo marino de la bahía de Hudson sigue registrando los niveles más bajos de los que se tiene constancia por satélite.

La extensión del hielo marino ártico en junio de 2024 alcanzó una media de 10.90 millones de kilómetros cua-

drados, la duodécima más baja de los 46 años de registros por satélite de microondas pasivas. A principios de julio de 2024 la extensión de hielo estaba muy por debajo de la media en la Bahía de Hudson y ligeramente por debajo o cerca de la media en el resto del océano Glacial Ártico. La excepción es el mar de Chukotka, donde el hielo está por encima de la media para esta época del año. El retroceso del hielo en junio se produjo principalmente alrededor del borde del hielo o a lo largo de la costa, excepto en los mares de Laptev y de Kara, donde se desarrollaron aguas abiertas en el interior del manto de hielo. A finales de junio, la extensión del hielo seguía por encima de todos los años desde 2012, excepto 2013 y 2015.



Extensión de hielo marino en el océano Glacial Ártico en diciembre de 2024. La línea magenta representa la mediana correspondiente al periodo de referencia 1981-2010 Fuente: NSDIC



Extensión del hielo marino del océano Glacial Ártico del 6 de enero de 2025, junto con los datos de extensión de hielo diario correspondientes a los cinco años anteriores. El año 2024-2025 figura en azul, el 2023-2024 en verde, el 2022-2023 en naranja, el 2021-2022 en marrón, y el 2020-2021 en morado. La mediana del periodo 1981-2010 aparece en gris oscuro. El área gris clara, alrededor de la mediana, muestra el rango intercuartílico e interdecílico de los datos

## Descripción del otoño 2024 en España

### TEMPERATURA

El otoño de 2024 (periodo comprendido entre el 1 de septiembre y el 30 de noviembre de 2024) ha tenido un carácter muy cálido, con una temperatura media en la España peninsular de 15.5 °C, valor que queda 1.1 °C por encima de la media de esta estación (periodo de referencia 1991-2020). Ha sido el séptimo otoño más cálido desde el comienzo de la serie en 1961, y el sexto más cálido del siglo XXI.

El otoño tuvo un carácter extremadamente cálido en gran parte de la Región de Murcia, sur de la Comunitat Valenciana y en la costa mediterránea andaluza, mientras que resultó cálido o muy cálido en el resto de la España peninsular. En Baleares fue muy cálido, mientras que en Canarias tuvo un carácter variable de unas zonas a otras, resultando en conjunto muy cálido.

Se observaron anomalías térmicas cercanas a +2 °C en zonas del sureste de Castilla-La Mancha, Región de Murcia, sur de la Comunitat Valenciana y en puntos de Andalucía oriental y Galicia. En el resto de la España peninsular se situaron alrededor de +1 °C, salvo en algunas zonas del valle del Ebro y del Pirineo catalán, en las que estuvieron en torno a 0 °C. En Baleares las anomalías se situaron alrededor de +1 °C, mientras que en Canarias tomaron valores comprendidos entre 0 °C y +1 °C.

Las temperaturas máximas diarias quedaron en promedio 0.7 °C por encima del valor normal, mientras que las mínimas diarias fueron 1.4 °C superiores a la media, resultando una oscilación térmica diaria 0.7 °C inferior a la normal del trimestre. En la estación principal de Murcia/San Javier la temperatura media del otoño resultó la más alta desde el comienzo de las observaciones en 1946, y en seis estaciones principales, situadas todas ellas en las provincias de Alicante y Murcia, la media de las mínimas diarias fue la más alta de las respectivas series.

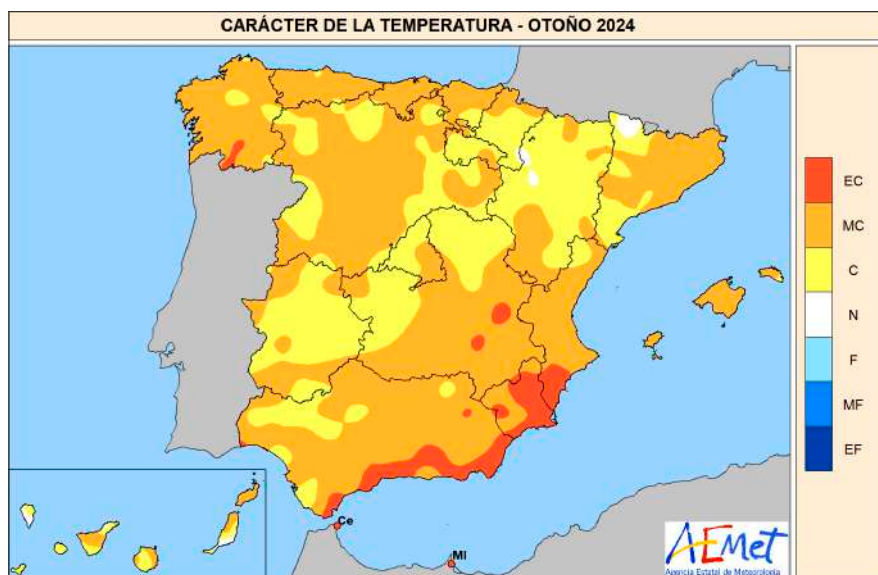
El otoño comenzó con un mes de septiembre frío, con una temperatura media en la España peninsular que se situó 0.5 °C por debajo de la media del mes. Octubre fue cálido, con una temperatura media 0.9 °C por encima de la normal, y noviembre tuvo un carácter extremadamente cálido, con una temperatura media 2.8 °C por encima de la media, resultando el mes de noviembre más cálido desde el comienzo de la serie en 1961.

**Septiembre** tuvo un carácter muy frío o frío en la mitad norte de la España peninsular, frío en el suroeste, y cálido o muy cálido en el sureste. En Baleares fue en conjunto frío, mientras que en Canarias tuvo un carácter variable de unas zonas a otras, resultando en conjunto muy frío. Las anomalías térmicas se situaron alrededor de -1 °C en amplias zonas de Galicia, Asturias, Cantabria, País

Vasco, Navarra, La Rioja, Castilla y León, Aragón, interior de Cataluña y norte de Castilla-La Mancha, llegando a tomar valores cercanos a -2 °C en algunos puntos de estas regiones. En contraste, se situaron en valores positivos, en torno a +1 °C, en la Región de Murcia, en la costa mediterránea andaluza y en puntos del sureste de Castilla-La Mancha. En el resto de la España peninsular las anomalías tomaron valores en torno a 0 °C. En Baleares y en Canarias las anomalías estuvieron mayoritariamente comprendidas entre 0 °C y -1 °C.

**Octubre** fue muy cálido en el noroeste y en el sureste de la España peninsular, normal o frío en el suroeste y cálido en el resto de las zonas peninsulares. En Baleares fue muy cálido, mientras que en Canarias tuvo un carácter muy variable de unas zonas a otras, resultando en conjunto normal. Las anomalías térmicas se situaron alrededor de +1 °C en amplias zonas de Galicia, Asturias, Cantabria, País Vasco, Navarra, La Rioja, Castilla y León, Aragón, Cataluña, Comunidad de Madrid, centro y este de Castilla-La Mancha, Comunitat Valenciana, Región de Murcia y Andalucía oriental, llegando a tomar valores cercanos a +2 °C en algunos puntos de estas regiones, principalmente en el noroeste y el sureste peninsulares. Se observaron anomalías en torno a 0 °C o ligeramente negativas en Extremadura, oeste de Castilla-La Mancha y en el occidente y centro de Andalucía. En Baleares las anomalías estuvieron comprendidas entre +1 °C y +2 °C, mientras que en Canarias se situaron entre 0 °C y +1 °C en la mayoría de las zonas.

**Noviembre** fue extremadamente cálido en toda la España peninsular salvo en el cuadrante noreste, donde resultó muy cálido. En Baleares fue muy cálido o extremadamente cálido, mientras que en Canarias tuvo un carácter variable de unas zonas a otras, resultando en conjunto extremadamente cálido. Las anomalías térmicas se situaron alrededor de +3 °C en amplias zonas de Galicia, Asturias, Cantabria, Castilla y León, Extremadura, Madrid, Castilla-La Mancha e interior de Andalucía, llegando a alcanzarse valores próximos a +4 °C en algunos puntos de estas regiones. En el resto de la España peninsular las anomalías tomaron va-



Carácter de la temperatura media durante del otoño respecto a los quintiles del periodo de referencia 1991-2020

lores en torno a +2 °C, salvo en algunos puntos del valle del Ebro en los que estuvieron alrededor de +1 °C.

### EPISODIOS DESTACADOS

En el otoño fueron frecuentes los episodios cálidos, con temperaturas por encima de los valores normales, aunque ninguno de ellos puede considerarse ola de calor. Destacaron por su extensión los de los días 29 de octubre a 11 de noviembre y 14-21 de noviembre, en los que tanto las máximas como las mínimas se situaron muy por encima de los valores habituales para la época del año. Otros episodios cálidos destacados fueron los de los días 1-2 de septiembre, 15-16 de septiembre, 5-7 de octubre, 12-16 de octubre y 20-24 de octubre.

Las temperaturas más altas entre estaciones principales correspondieron a Badajoz/aeropuerto, donde se registraron 36.7 °C el 16 de septiembre, Córdoba/aeropuerto, con 36.4 °C el 16 de septiembre, Sevilla/aeropuerto, con 36.2 °C también el 16 de septiembre, y Murcia, donde se midieron 36.1 °C el 26 de septiembre.

En cuanto a bajas temperaturas, hubo varios episodios fríos con temperaturas por debajo de las normales, los cuales se extendieron entre los días 4-9 de septiembre, 27-29 de septiembre, 10-11 de octubre, 17-18 de octubre, 26-27 de octubre y 12-13 de noviembre, si bien ninguno de ellos puede considerarse como ola de frío.

Destacaron entre estaciones principales los -4.1 °C registrados en el observatorio del puerto de Navacerrada el 13 de noviembre, los -2.8 °C de Molina de Aragón el 28 de noviembre, los -2.4 °C de Salamanca/aeropuerto el 27 de noviembre, y los -1.7 °C de Teruel medidos el 28 de noviembre. En la estación principal de Valencia se registró el 2 de septiembre una temperatura mínima de 25.1 °C, resultando la temperatura mínima más alta (la noche más cálida) de un día de otoño en esa estación desde el comienzo de las observaciones en 1938.

### PRECIPITACIÓN

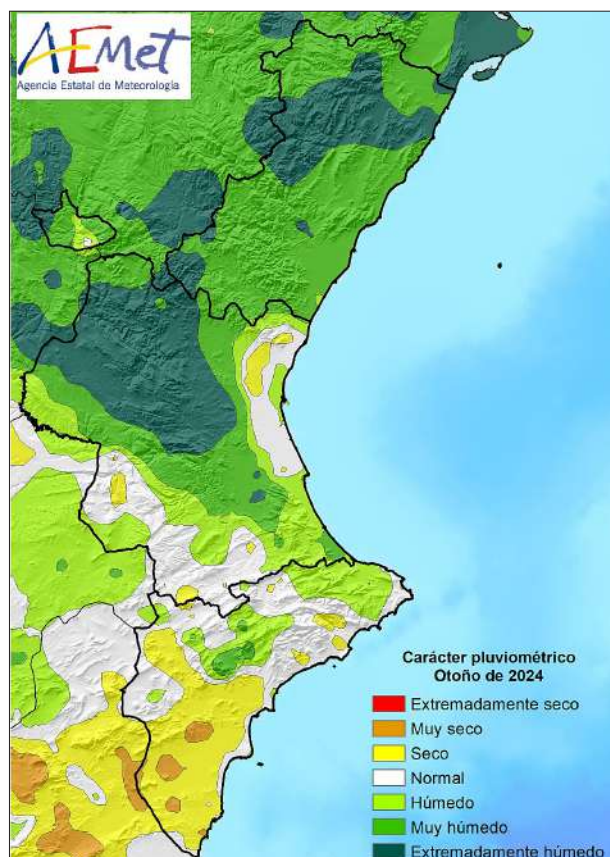
El otoño ha sido en su conjunto húmedo en cuanto a precipitaciones, con un valor de precipitación media sobre la España peninsular de 236.5 mm, valor que representa el 118 % del valor normal del trimestre en el periodo de referencia 1991-2020. El otoño de 2024 ha sido el

vigésimo otoño más húmedo, desde el comienzo de la serie en 1961 y el séptimo del siglo XXI.

El otoño ha tenido un carácter normal y húmedo en casi toda la Península, llegando a muy húmedo en Aragón, Cádiz, Huelva y algunos puntos del interior de la Península y de Galicia. Por el contrario, el otoño ha tenido un carácter seco en el archipiélago canario, noreste del archipiélago balear, y puntos de Cataluña, Madrid, Extremadura, Castilla-León, País Vasco, Asturias y Galicia.

El otoño comenzó con un mes de septiembre húmedo en cuanto a precipitaciones, con un valor de precipitación media sobre la España peninsular de 52.0 mm, valor que representa el 116 % del valor normal del mes (periodo de referencia: 1991-2020). Se ha tratado del vigésimo primer mes de septiembre más húmedo desde el comienzo de la serie en 1961 y del séptimo del siglo XXI. El mes de octubre tuvo carácter extremadamente húmedo en cuanto a precipitaciones, con un valor de precipitación media sobre la España peninsular de 147.0 mm, valor que representó el 189 % del valor normal del mes. Se trató del mes de octubre más húmedo de la serie desde 1961, por delante de 1979 y 2003. Por el contrario, el mes de noviembre ha tenido carácter muy seco, con un valor de precipitación media sobre la España peninsular de 37.5 mm, valor que representa el 48 % del valor normal del mes. Se ha tratado del sexto mes de noviembre más seco de la serie desde 1961, y del segundo del siglo XXI.

**Septiembre** fue entre normal y húmedo en Castilla-La Mancha, Madrid, Aragón, Cataluña y el norte peninsular. Ha tenido carácter muy húmedo en gran parte de Aragón, en Navarra, La Rioja, País Vasco, este de Castilla y León, Madrid y noroeste de Castilla-La Mancha. Por el contrario, ha tenido carácter seco y muy seco en gran parte de Castilla y León, Extremadura, Andalucía y Murcia. En Canarias ha tenido carácter seco y en Baleares ha sido húmedo en Ibiza y entre normal y



**Carácter de la precipitación acumulada en otoño en la Comunitat Valenciana respecto a los quintiles del periodo de referencia 1991-2020**

seco en el resto del archipiélago. **Octubre** ha sido entre húmedo y muy húmedo en casi todo el territorio peninsular en Castilla-La Mancha, Madrid, Aragón, Cataluña y el norte peninsular y gran parte de los archipiélagos, llegando a extremadamente húmedo en algunas áreas del interior peninsular y de Andalucía. En Canarias ha tenido carácter seco en Tenerife, La Palma, Lanzarote y norte de Fuerteventura y en Baleares ha sido seco en Ibiza y entre normal y seco en el resto del archipiélago. En contraste, **noviembre** ha sido entre seco y muy seco en casi todo el territorio peninsular y el archipiélago canario. Por el contrario ha mostrado carácter entre normal y húmedo en gran parte del levante y sur peninsular así como el suroeste del archipiélago balear.

### EPISODIOS DESTACADOS

Las mayores precipitaciones diarias registradas en septiembre en los observatorios principales se dieron el día 13 en Pontevedra donde se registraron 99.8 mm, el día 15 en Vigo/aeropuerto con 98.6 mm, valor que constituye el más alto de su serie desde 1951, el día 19 en Albacete/base aérea con 74.0 mm y en Santiago de Compostela/aeropuer-



## Descripción del otoño 2024 en España

→ to con 70.6 mm el día 25. En cuanto a la precipitación total del mes, entre las estaciones principales destacan los 304.3 mm de Hondarribia/Malkarroa, los 261.1 mm de Donostia/San Sebastián/Igueldo, los 202.6 mm de Pontevedra y los 192.5 mm registrados en Bilbao/aeropuerto. En octubre, Las mayores precipitaciones diarias registradas en los observatorios principales se dieron el día 30 en Jerez de la Frontera/aeropuerto donde se registraron 116.4 mm valor que constituye el más alto de su serie desde 1946, el día 8 en Santiago de Compostela/aeropuerto con 109.2 mm, el día 17 en Hondarribia/Malkarroa con 98.8 mm, Puerto de Navacerrada con 91.8 mm y Morón de la Frontera el día 30 con 89.8 mm. En cuanto a la precipitación total del mes, entre las estaciones principales destacan los 412.6 mm de Vigo/aeropuerto, los 387 mm de

Pontevedra, los 375.5 mm de Hondarribia/Malkarroa, los 373.4 mm de Santiago de Compostela/aeropuerto, los 322.6 mm de Donostia/San Sebastián/Igueldo y los 315.2 mm registrados en Jerez de la Frontera/aeropuerto, valor que constituye el más alto de su serie desde 1946. Hay que destacar el día 29 de octubre de 2024 en el que se produjo un episodio extraordinario de precipitaciones muy intensas que afectó al Levante. La situación fue consecuencia de la presencia de una DANA situada sobre el estrecho de Gibraltar que provocó el desarrollo de una configuración atmosférica que favoreció la organización de importantes sistemas de precipitación que afectaron a las provincias de Valencia, Cuenca, Albacete y Murcia. Finalmente, en noviembre, las mayores precipitaciones diarias registradas en los observatorios principales se dieron

el día 4 en Barcelona/aeropuerto donde se registraron 144.2 mm valor que constituye el más alto de su serie desde 1924, el día 20 en Hondarribia/Malkarroa con 118.8 mm valor que constituye el más alto de su serie desde 1956, el día 3 en Reus/aeropuerto con 98.3 mm, nuevamente el valor más alto de su serie desde 1945, el día 13 en Granada/aeropuerto con 82.6 mm, valor que constituye el más alto de su serie desde 1972 y en Málaga/aeropuerto con 73.3 mm. En cuanto a la precipitación total del mes, entre las estaciones principales destacan los 226.4 mm de Hondarribia/Malkarroa, los 175.1 mm de Barcelona/aeropuerto, los 163.4 mm de Reus/aeropuerto que vuelve a registrar el valor más alto de su serie desde 1945, los 151.7 mm de Donostia/San Sebastián/Igueldo y los 145.4 mm de A Coruña.

## Fenómenos meteorológicos singulares en SINOBAS durante el otoño meteorológico (septiembre, octubre y noviembre) de 2024

El trimestre compuesto por septiembre, octubre y noviembre de 2024 quedará marcado, sin lugar a duda, por las extraordinarias lluvias torrenciales que se registraron en el área mediterránea entre el 28 de octubre y 4 de noviembre y, más concretamente, por las riadas catastróficas que afectaron a la provincia de Valencia el día 29 de octubre. Aprovechamos estas líneas para enviar todo el cariño a las personas afectadas.

A lo largo del período se añadieron al sistema SINOBAS un total de 39 reportes, más del doble que en el mismo período del año anterior. Dieciséis de ellos, algo más del 40 %, corresponden al día 29 de octubre.

Treinta y tres de los reportes fueron validados con fiabilidad alta, uno tuvo fiabilidad media y otra baja. Un reporte no fue validado, otro fue imposible de validar y dos fueron finalmente eliminados. En cuanto a los fenómenos singulares reportados, se distribuyeron de la siguiente manera:

- Granizada singular: 4 (10 %)



- Precipitación súbita torrencial: 10 (26 %)
- Reventón/ Frente de racha: 2 (5 %)
- Tornado/ Tromba marina: 22 (56 %)
- Viento de ladera: 1 (3 %)

Por comunidades autónomas, un reporte procede de Castilla y León, tres de Cataluña, uno de Illes Balears, dieciséis de la Comunitat Valenciana, uno de la

Región de Murcia, catorce de Andalucía, dos de Castilla-La Mancha y uno de las Islas Canarias.

Sin duda, el fenómeno singular más importante del período (y, quizás, de toda la historia del sistema SINOBAS por sus consecuencias catastróficas) fue la **precipitación súbita torrencial** registrada en

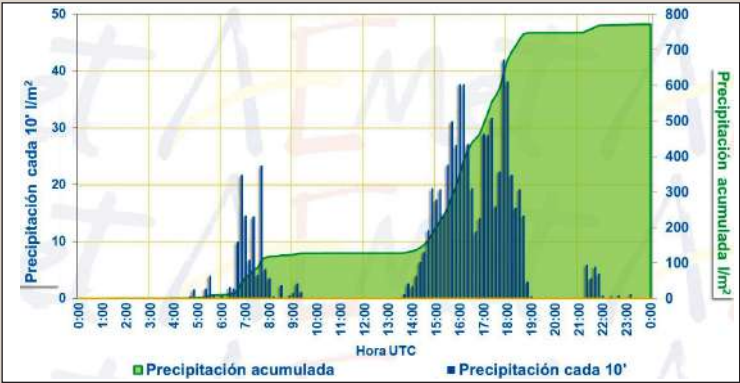


Gráfico de precipitación acumulada en la estación de Turís (Mas de la Calabarra) el 29 de octubre de 2024



Árboles rotos y arrancados sobre vallado y vehículos en El Espinar (Segovia). Autor: usuario Dinásquez

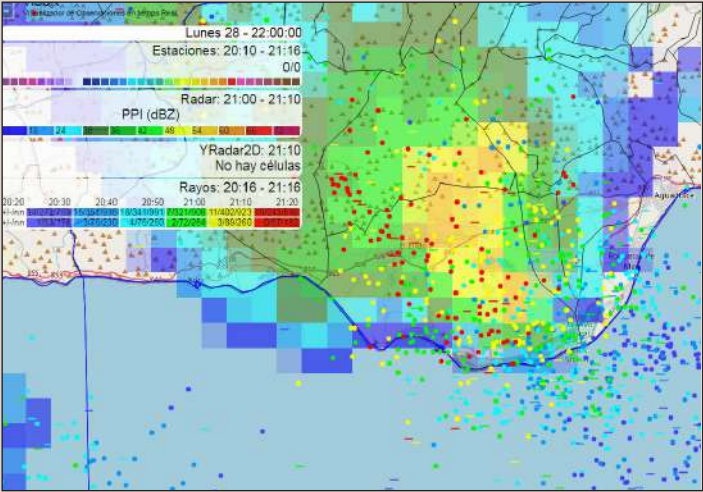
lunas. También se vio afectado el mobiliario urbano. Según indica el usuario *jriescom*, la granizada vino propiciada por una célula muy organizada e intensa (probablemente supercelular) que entró de mar a tierra y que generó precipitación muy fuerte, rachas intensas de viento y granizo muy grande, del tamaño al menos de pelotas de ping-pong.

Finalmente, destacamos el **reventón/ frente de racha** que se registró el 29 de octubre en la localidad de El Espinar (Segovia). Hubo daños sobre todo en tejados, coches y arbolado. Ese día, por lo tanto, los fenómenos relacionados con la convección no se limitaron al área mediterránea, aunque fuese allí donde los impactos fueron mayores.

El usuario *Dinásquez* comentó lo siguiente en la web SINOBAS: Sobre las 22 h se aproximaba una línea de turbonada desde el sur que barría la Comunidad de Madrid, con algo de actividad eléctrica. El viento se mantenía en calma, y sobre las 22:20 h, y de forma súbita, un muro de viento y lluvia azotó la zona, tumbando de forma instantánea árboles y causando diversos desperfectos. Las rachas fuertes se mantuvieron 3-5 minutos para pasar luego a viento moderado y lluvia con tormenta durante algo más de 30-40 minutos. Una estación Davis profesional con sello de calidad Meteoclimatic a 1 km (barrio Las Praderas) midió 90 km/h de racha, sin haber pasado lo severo por la zona (sin daños en los alrededores).

El equipo Sinobas de AEMET desea a todos los socios de la AME un feliz 2025. Asimismo, agradecemos la colaboración de todos los usuarios que han reportado fenómenos singulares y os animamos a la inclusión de nuevos reportes en nuestra página web. ¡Ánimate a hacer ciencia ciudadana con nosotros!

Imagen compuesta por la reflectividad del radar y los rayos registrados en el entorno del oeste de la provincia de Almería durante la granizada registrada en El Ejido



el municipio valenciano de Turís el 29 de octubre. En la estación meteorológica de Mas de la Calabarra se acumularon 772 l/m<sup>2</sup> en menos de 24 horas, de los cuales 185 l/m<sup>2</sup> se registraron en una hora, lo que supone el récord a nivel nacional para ese período temporal. La lluvia torrencial registrada aquel día en el interior y zona prelitoral de la provincia de Valencia provocó el desbordamiento de varios cauces, con más de doscientos veinte fallecidos e innumerables daños materiales. Se trató de la peor riada ocurrida en España en el siglo actual.

Tal y como se indica en el reporte introducido por el usuario *jnunezm*, ese día había un intenso chorro de viento en capas bajas, que conducía los sistemas nubosos hacia las montañas litorales y prelitorales de la provincia de Valencia. Se producían ascensos forzados, que se sumaban a la flotabilidad positiva en un ambiente inestable previo, con intensas convergencias de viento y de humedad que provocaron precipitaciones torrenciales en zonas de interior y prelitoral y un extraordinario gradiente pluviométrico en unos pocos kilómetros. Mientras que en Turís se acumularon 772 l/m<sup>2</sup>, en el aeropuerto, a 20 km de distancia en línea recta, se acumularon 14.4 y

en València capital, a 30 km, 7.8.

Todos los intervalos temporales entre 20 minutos y 12 horas suponen el récord de precipitación acumulada en España, salvo en 30', donde continúa el récord de 103.0 l/m<sup>2</sup> de Vinaròs del 19 de octubre de 2018, dos décimas más que en Turís.

| Período    | Cantidad (l/m2) |
|------------|-----------------|
| 10 minutos | 42              |
| 20 minutos | 80.2            |
| 30 minutos | 102.8           |
| 1 hora     | 184.6           |
| 2 horas    | 319.6           |
| 3 horas    | 476.2           |
| 4 horas    | 581.0           |
| 5 horas    | 616.8           |
| 6 horas    | 620.8           |
| 12 horas   | 720.4           |
| 24 horas   | 771.8           |

Precipitación acumulada en Turís (Mas de la Calabarra) en distintos intervalos de tiempo el 29 de octubre de 2024

Otro fenómeno singular significativo dentro de este período fue la **granizada singular** que se produjo un día antes, el 28 de octubre, en la localidad almeriense de El Ejido. Las piedras, que alcanzaron diámetros de hasta cuatro a cinco centímetros, provocaron daños en multitud de vehículos, con abolladuras y rotura de

## ¡Orgullo Manlleuense!

Orgullo, honor, privilegio de vivir en el maravilloso pueblo de Manlleu.

De las doce fotografías que presento, diez están tomadas en dicho pueblo. Con su variopinto microclima, con una amplia variabilidad y rodeado de montañas y del río Ter.

Manlleu, comarca de Osona, una de las más extensas de Cataluña, situada en

la depresión central, clima continental húmedo, submediterráneo en el cual vemos períodos de sequía, aún más por la afectación del cambio climático. En cuanto a las temperaturas hay una característica del clima que es la inversión térmica, que se manifiesta en valores mínimos nocturnos muy bajos en contraste con las zonas más elevadas,

favoreciendo la presencia de la niebla. A esta niebla se la conoce popularmente por "La Pubilla de la Plana", antes más persistente que ahora debido a dichos cambios.

Dispone de buenas comunicaciones, tardamos lo mismo en llegar al mar o a la montaña. Solo una hora en coche, ... por tanto que están invitados a visitarlo.

**NOTA AUTOBIOGRÁFICA:** Carme Molist Vidal, Gurb, 1957. *Mi gran pasión es la fotografía de la naturaleza, especialmente de los paisajes y fenómenos meteorológicos. Miro al mundo a través de los ojos de una campesina enamorada de su tierra, capturando la esencia de los lugares que retrato con admiración y respeto.*

*Esta afición me ha proporcionado grandes satisfacciones a lo largo de los años. Uno de los reconocimientos que más me enorgullece es haber sido la pregonera de las fiestas de mi pueblo, Manlleu, en 2022, gracias a mi tarea de mostrar la belleza del territorio en el mundo.*

*También he tenido el honor de obtener el segundo puesto en el concurso Europhotometeo 2022, ganar dos veces los concursos de la Asociación Meteorológica Española (AME), y ver publicadas dos de mis fotografías en la revista National Geographic.*



**Foto 1- Ensueño**

Manlleu (Barcelona) 29/12/2021, 17:33:07

Un sueño hecho realidad, o la realidad a veces supera los sueños. La felicidad fue vivirlo en directo



**Foto 2- Cumulonimbo, el rey de las nubes**

Manlleu (Barcelona) 25/07/2022, 19:39:41

Gran cumulonimbo, apareció una tarde de verano como si se tratase de un regalo divino en el día de mi aniversario. Saqué la fotografía desde la terraza de mi casa



**Foto 3- Diosa Minerva dirige la orquesta**

Tossa de Mar (Girona) 16/03/2022, 11:51:47

En la comarca donde vivo no tenemos la suerte de ver ni sentir el mar, lo tenemos a unos 50 km de distancia. Un día decidí visitar a unos amigos de Tossa de Mar. El día se levantó gris y lluvioso, creyendo que no era el día idóneo de sacar fotografías. Sorpresa mayúscula, nos encontramos con un mar revuelto, olaje, fuertes levantes,... como jamás imaginé. Saqué casi 500 fotos



**Foto 4- Lazo envolvente**

Manlleu (Barcelona)

07/08/2022, 15:50:15

El Santuario de Puig-Agut es para mí un lugar mágico. Además del encanto, de la belleza, tiene magia, la que hizo realidad esta captura, sin ayuda de mecanismos o aplicaciones, con un disparo capturar el relámpago justo en el Santuario como un lazo envolviéndolo. Pura magia



**Foto 5- Intensidad**

Manlleu (Barcelona) 14/02/2022, 17:20:20

Año de pocas lluvias, sufrimos un periodo de sequía preocupante, pocas cortinas como ésta hemos visto a lo largo del 2022



**Foto 7- Tenebroso**

Manlleu (Barcelona) 31/08/2022, 15:58:10

Cielo ennegrecido, siempre con la esperanza de que lloverá, tampoco llegó la lluvia en nuestra zona. Un verano seco, caluroso, de mal recuerdo



**Foto 6- Nube huésped**

Manlleu (Barcelona) 15/06/2022, 19:05:52

Acude el huésped como un invitado. Espectacular cielo de *mammatus* al finalizar la tarde un día que hubo reunión de compañeros dispuestos a fotografiar la Luna. Fue una grata y agradable anécdota



**Foto 8- Pinceladas celestiales**

Manlleu (Barcelona) 09/05/2021, 13:02:07

Estas nubes no las había visto, son como unos hilos, como si alguien las hubiese pintado. Un espectáculo que duró poco tiempo, se deshizo rápidamente



**Foto 9- Nube coliflor**  
Manlleu, (Barcelona)  
30/09/2022, 7:53:19  
Cumulonimbo gigante  
que se desplazaba  
rápidamente a su  
izquierda, muy vistoso



**Foto 10- Espectro  
desde las alturas**

Vic (Barcelona) 28/03/2021,  
9:30:47

Gran experiencia viajar en  
globo, si además tienes a  
favor un paisaje idóneo  
de tiempo anticiclónico,  
con niebla que se forman  
el fenómeno espectro de  
Brocken y sobrevolando la  
ciudad de Vic. ¡Inolvidable!



**Foto 11- Coronando  
el Santuario**

Manlleu (Barcelona)  
11/05/2021, 17:56:47  
Doble arco iris  
coronando el  
Santuario de Puig-  
Agut. Información de  
archivo



**Foto 12- El gran  
domo eléctrico**

Manlleu (Barcelona)  
06/09/2022, 21:14:05

Rayos en nube  
cumulonimbo nocturno  
que realza todavía  
más el espectáculo  
más inmenso que es la  
naturaleza



# LAS FOTOS DEL OTOÑO

## SEPTIEMBRE

Título: "La bombilla celestial"

Autor: Jesús Manzanque Arteaga

Cámara: Nikon Z 7

Lugar: Campo de Criptana, Ciudad Real

Fecha: 3 de septiembre de 2024

Comentario: Esta tormenta que se estaba produciendo sobre la provincia de Albacete la pude capturar a más de 100 km. Le he puesto este título porque ese rayo que se produjo en el interior de la nube parecía el filamento de una bombilla iluminando el cumulonimbos desde dentro



## OCTUBRE

Título: "Aurora sobre Reynisfjara!"

Autor: Agustín Ferreiro Abelairas

Cámara: Canon R6

Lugar: Reynisfjara (Islandia)

Fecha: 31 de octubre 2024

Comentario: Acudimos en la última noche de octubre a Dyrhólaey, en el sur de Islandia, para poder fotografiar la aurora sobre la playa negra de Reynisfjara, de una belleza impresionante y famosa mundialmente por ser el escenario de "Juego de Tronos". En una noche fría pero magnífica, sobre las 21 h empezó el baile de "las luces del norte", con sus formas, colores y movimientos, reflejándose sobre el pequeño río que circulaba sobre la arena negra. En ese entorno mágico pasé una de las mejores noches de mi vida!!!



## NOVIEMBRE

Título: "Reflejos de la aurora"

Autor: Alberto Lunas Arias

Cámara: Olympus E-PL8

Lugar: Islas Lofoten, Noruega

Fecha: 9 de noviembre de 2024

Comentario: Esa noche fue especialmente espectacular en las islas Lofoten en cuanto a auroras boreales se refiere. Si a las damas de colores presentes en el cielo reflejándose en el agua, le sumamos el escenario idílico de naturaleza, montañas, lagos, etc., que representan estas islas, la experiencia resultante es única e inolvidable



## 29 de octubre de 2024: La Dana

Observamos (figura 1) una distribución nubosa ajustada a la perfección a un giro ciclónico con centro de vortici- dad sobre el mar de Alborán. Una masa de aire frío, procedente del norte, bor- dea la península ibérica por el oeste y se introduce en el Mediterráneo a través del estrecho de Gibraltar. La frontera de esta masa fría queda delimitada por el cese de la nubosidad que contiene (es- tratós y estratocúmulos), dando paso a otra masa de aire seca, libre de nubes y cargada de polvo de procedencia sa- hariana. Bordeando la península de sur a norte por la costa mediterránea ob- servamos, hacia el lado marítimo, que la

masa sahariana cargada de polvo cesa y da paso a un área sin polvo y sin nubes hasta las islas Baleares donde volvemos a encontrar más nubosidad, esta vez de cirros, propia del frente cálido en altura (figura 2)

Ya en el interior de la península ibé- rica contemplamos varias estructuras convectivas de dimensiones mesoesca- lares, muy picudas, con sus penachos de cirros abriéndose en abanico, signo in- equívoco de “severidad”. Lllaman la aten- ción cuatro líneas paralelas, muy brillan- tes y bien definidas, que nombramos 1, 2, 3 y 4 (figura 2) y que se localizan en el flanco sur de los abanicos formados por los sistemas convectivos. La línea más

llamativo, la número 1 (figura 2), va des- de la ciudad de Valencia hasta la ciudad de Cuenca. La línea número 2 de Lorca a Letur (Albacete), la número 3 desde Al- mería hasta Granada, y la número 4 des- de Motril hasta los montes de Málaga. Todas estas líneas convectivas dieron lugar a catastróficas consecuencias.

La estructura más llamativa, y en la que nos vamos a centrar a partir de ahora, es el sistema convectivo que se localiza en la costa de Valencia. Si llama la atención en la imagen de la figura 1, resulta asombrosa cuando la observa- mos en un intervalo de tiempo (figura 3) pues permanece en el mismo lugar du- rante casi todo el día.

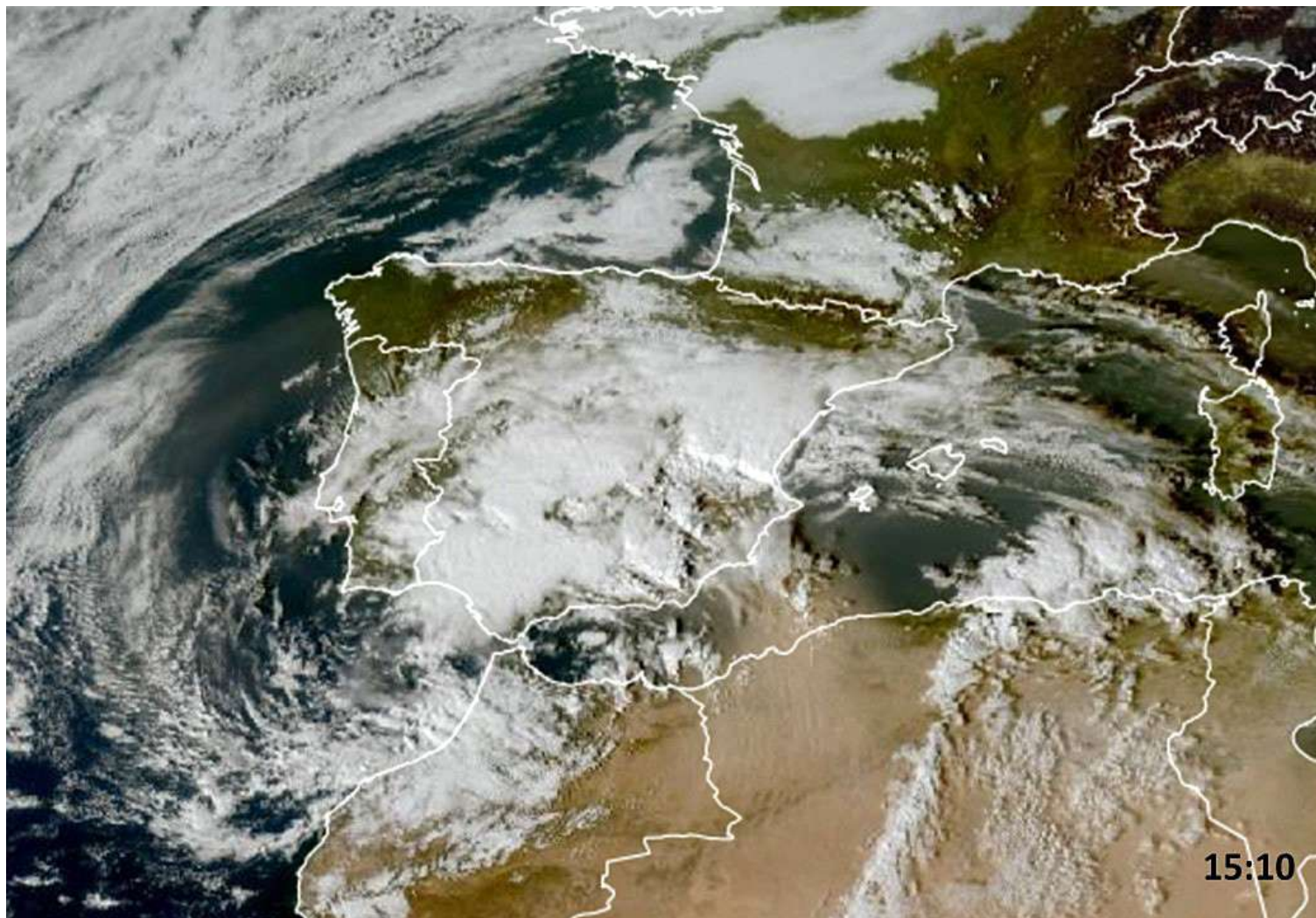


Figura 1. Imagen en “color verdadero” procedente de MTG y tratada por EUMETSAT del día 29 de octubre de 2024 a las 15:10 UTC

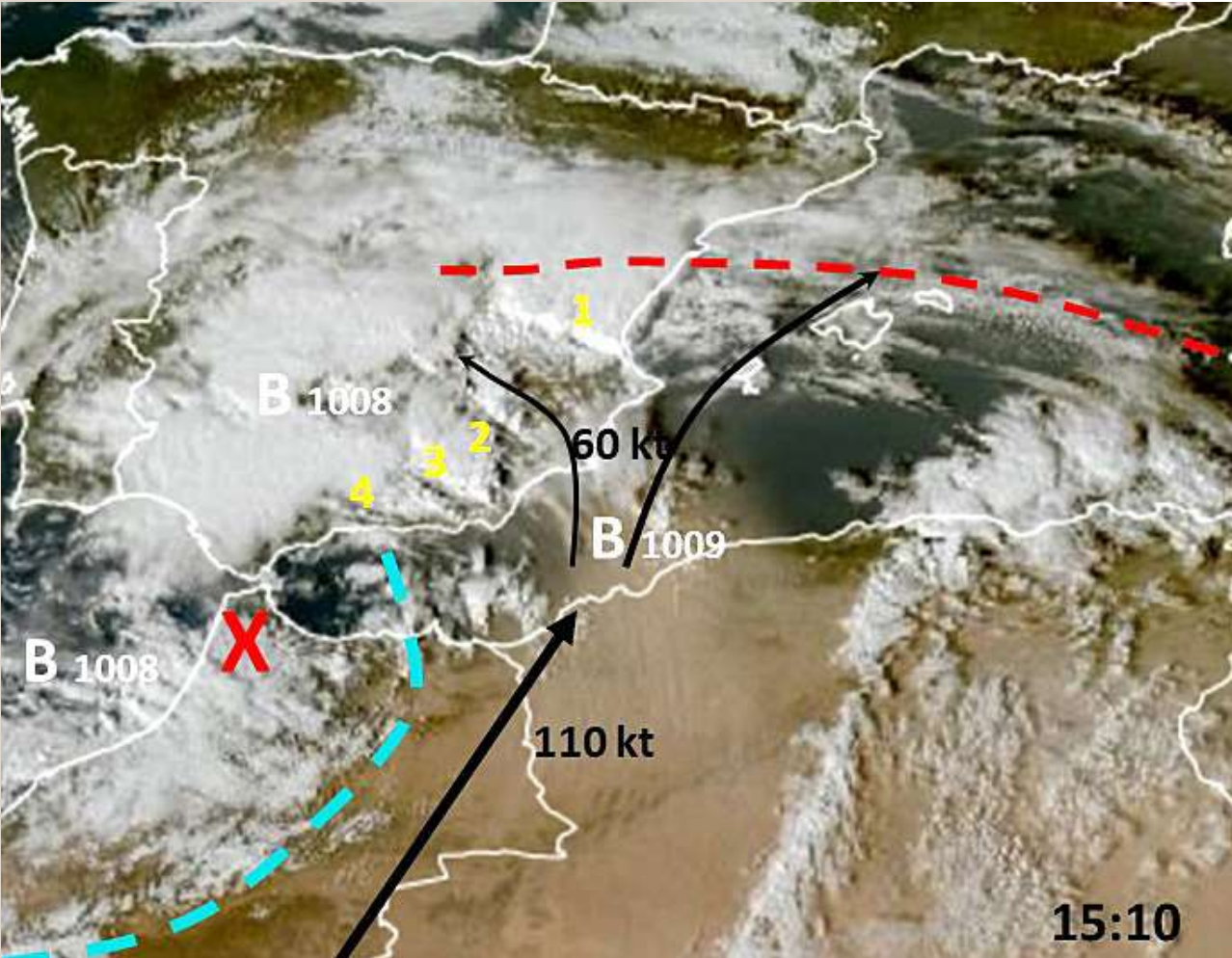


Figura 2. Imagen de las 15:10 UTC con los principales elementos del diagnóstico: con líneas de trazos se señalan las fronteras fría (azul) y cálida (roja) en un nivel de 850 hPa; con números amarillos se localizan las líneas de turbonada; las flechas negras señalan los máximos relativos de viento en 300 hPa; con un aspa roja se localiza el centro de vorticidad ciclónica en 300 hPa; las letras B blancas localizan los centros de bajas presiones en superficie

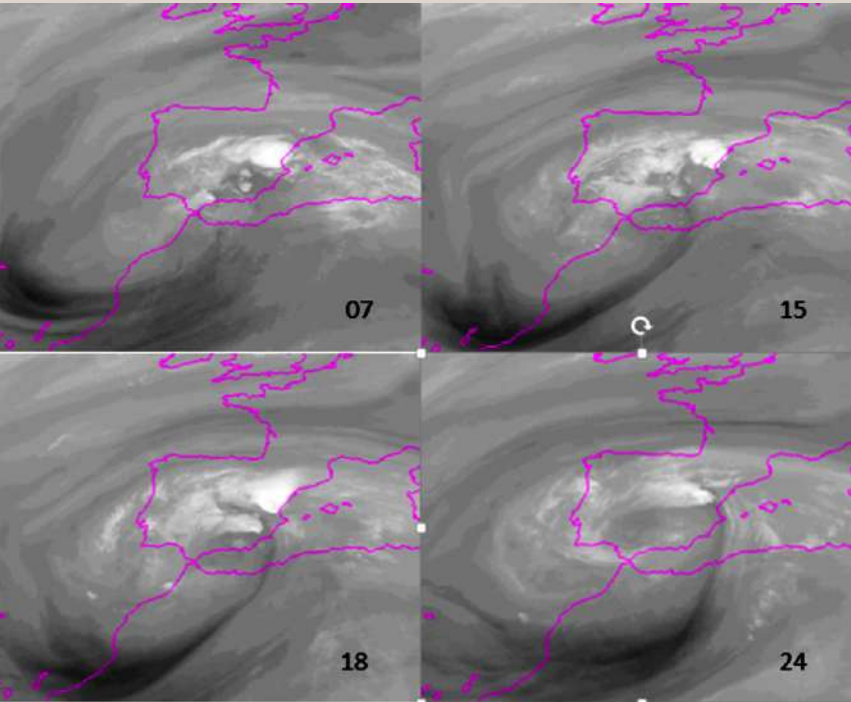


Figura 3. Imágenes del canal vapor de agua (6.2 μm) procedentes de MSG a las 07, 15, 18 y 24 UTC del 29 de octubre de 2024

El diagnóstico lo haremos siguiendo el modelo conceptual de líneas secas (dry line) (figura 2). Se trata de fronteras de humedad que se localizan en el sector cálido (entre el frente frío y el frente cálido). Son lugares donde convergen dos masas de aire; una tropical marítima (Tm), que aquí denominamos masa mediterránea; y una masa tropical continental (Tc) de procedencia sahariana. Las líneas secas constituyen un importante mecanismo de disparo de la convección, además pueden permanecer en el mismo lugar durante mucho tiempo propiciando comportamientos severos como líneas de turbonada o supercélulas ancladas en un mismo lugar.

Siguiendo el modelo conceptual (figura 2). Una masa seca de procedencia sahariana inunda el Mediterráneo sobre el mar de Argelia y es atraída hacia el interior peninsular por el flujo de levante. En ocasiones la masa seca Tc se coloca por encima de una capa húmeda preexistente en contacto con el mar Mediterráneo configurándose como una masa Tm, y en ocasiones la desplaza

Figura 4. Corte vertical a través del paralelo 39 desde Albacete hasta el sur de la isla de La Cabrera pasando por el cabo de la Nao. Se trata de un corte vertical previsto para las 15 UTC del día 29 de octubre extraído del modelo ECMWF 12+3h de la temperatura potencial equivalente (isolíneas en negro) y la humedad relativa

yuxtaponiéndose a ella. Tenemos pues las fronteras de dos masas tropicales, una continental marcada por los tonos marrones (figura 1) debidos a la presencia de polvo y otra masa marítima que la rodea. Como puede apreciarse (figura 1) en la península ibérica esta frontera está marcada por la convección mientras que está libre de nubes la frontera marítima.

La masa mediterránea (Tm) es potencialmente inestable y desatará su potencial convectivo cuando sea obligada a ascender, hecho éste que ocurre por la convergencia en superficie de los vientos de levante contra la orografía peninsular y por la convergencia de humedad en al algún nivel cerca de la superficie.

El sistema convectivo de Valencia, al igual que los otros 4 señalados, se desarrolla donde confluyen estos dos mecanismos (figura 4)

No vamos a hacer mención a las cantidades e intensidades de precipitación ocurridas en este triste episodio meteorológico porque están ya publicados por todas partes. Como muestra ponemos el registro de una estación de Valencia (figura 5) y una imagen del radar de Valencia (AEMET) de una hora cualquiera (figura 6). Sobran las palabras.

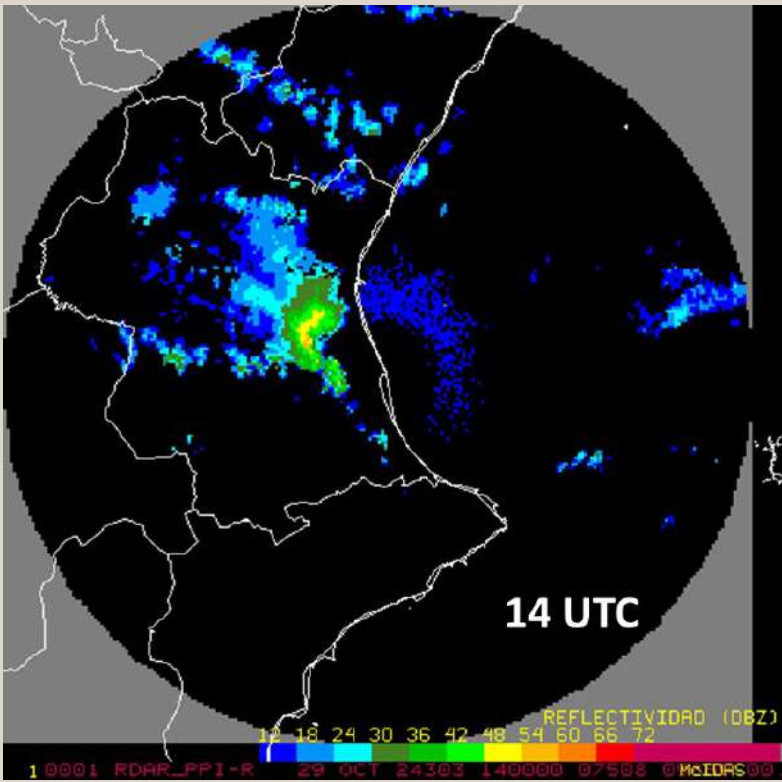
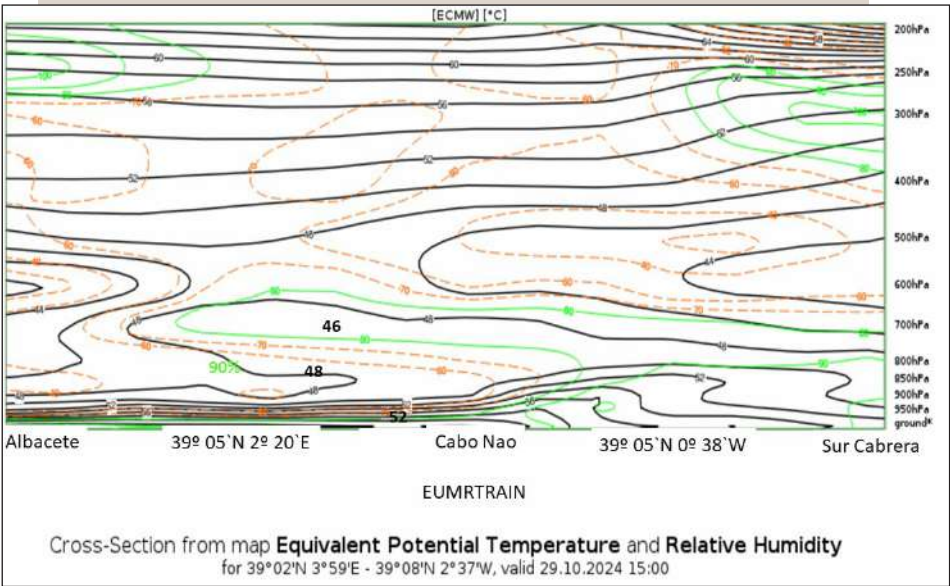


Figura 6. Imagen de reflectividad (PPI) del radar de Valencia a las 14 UTC del 29 de octubre de 2024. Podemos apreciar la característica forma de habichuela de los máximos de reflectividad que indican la presencia de convección organizada en una supercélula

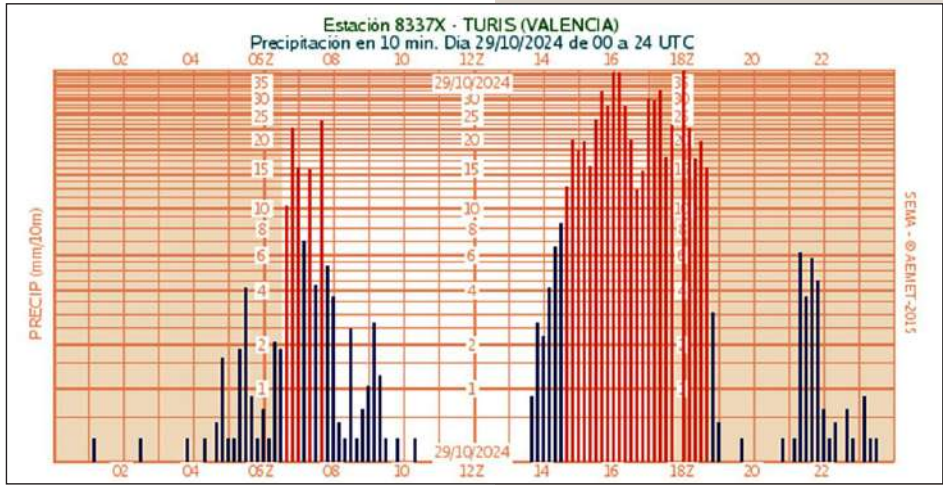


Figura 5. Registro de precipitación cada 10 minutos en la estación de Turis (Valencia) perteneciente a la red de AEMET. Es difícil haber visto alguna vez unas intensidades tan altas y tan persistentes

# Semblanzas de Alberto Linés

MANUEL PALOMARES CALDERÓN

(Reconstrucción de la conferencia impartida en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid el día 21 de noviembre de 2024)

## Una personalidad peculiar

Quienes conocieron a Alberto Linés Escardó saben que no es corriente encontrar personalidades tan atractivas. Era tan inteligente como trabajador, pero además tenía esa inteligencia de corto plazo que suele llamarse “listeza” o “viveza”. Fui testigo de ello en 1999, la segunda vez que coincidía con don Alberto. Yo acababa de ingresar como socio de la Asociación Meteorológica Española (AME) y acudí a la Asamblea Anual que se celebraba en un hotel de Madrid. Linés se encontraba en las butacas de la sala junto a no más de cinco o seis socios y había otro número similar o ligeramente mayor en la mesa de presidencia donde estaban quienes componían la Junta Directiva.

Alberto Linés fue uno de los creadores de la AME, había sido su presidente dos veces y tenía un cariño especial por la Asociación. Enseguida tomó la palabra expresando su desacuerdo con la gestión de la Junta Directiva: desde hacía tiempo no se publicaba el boletín, no se celebraban las Jornadas y en su opinión no se cumplían los estatutos, por lo cual quería solicitar la dimisión de la Junta para que se eligiera una nueva. El presidente mostró su desacuerdo, opinando que la situación no era como Linés la describía, pero ante la insistencia de éste, propuso que se votara so-

bre la gestión de la Junta Directiva y si ganaban los partidarios de Linés, él dimitiría. Me dio la impresión de que el presidente confiaba en que, dado el escaso número de socios presentes, Linés perdería la votación, pero cuando se inició ésta don Alberto echó mano al bolsillo de la chaqueta mientras declaraba que “como ya sabéis, nuestros estatutos permiten el voto delegado; pues casualmente tengo aquí doce delegaciones de voto que me han entregado otros tantos socios”.

Unos días después, Linés se presentó en mi oficina de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en Madrid (entonces los jubilados podían acceder al edificio sin problemas, ¡no como ahora!). Estaba buscando voluntarios para integrar la nueva Junta Directiva. A mí me pareció atractivo colaborar con Linés en la AME pues después de lo ocurrido en la Asamblea él sería sin duda el próximo presidente. Sin embargo, al decírselo me lo negó rotundamente: “No, no, yo ya he hecho mi trabajo –me dijo– Ahora sois los jóvenes quienes debéis ocuparos de preservar y mejorar la Asociación”. Y, efectivamente, según los estatutos de la AME, los socios eligen a la Junta Directiva y son los miembros de ésta quienes eligen al presidente, pero Alberto Linés ni siquiera se presentó a las elecciones y el presidente elegido fue Luis Balairón. Bajo su mandato la AME se renovó y se fortaleció en los años siguientes. Realmente, Linés ya había cumplido con el trabajo previo.

## Familia y formación

Don Alberto Linés era hijo de don Enrique Linés Noguera, un ingeniero industrial y licenciado en Ciencias Exactas quien llegó incluso a opositar con don Julio Rey Pastor a la cátedra de Análisis Matemático de la Universidad de Oviedo en 1911. Finalmente obtuvo la cátedra de Álgebra y Geometría Analítica en la Escuela de Ingeniería Técnica Industrial, primero en Cartagena y luego en Logroño, donde nació Alberto Linés el 4 de septiembre de 1924. Su hermano mayor Enrique fue un brillante matemático, catedrático en Zaragoza, Barcelona y Madrid.



Alberto Linés Escardó (1924 - 2004) después de su jubilación

Con esos antecedentes, don Alberto parecía encauzado en la misma vocación. Estudió Ciencias Físico-Matemáticas en Madrid a donde se había trasladado la familia y ayudó a su padre en varios trabajos matemáticos que realizó en esa época. Sin embargo, buscando quizá una independencia económica, en 1945 y nada más terminar la licenciatura, ingresó por oposición libre en el Cuerpo Facultativo de Meteorólogos del Servicio Meteorológico Nacional (hoy AEMET), siendo destinado al Observatorio de León (1946-1948). Regresó a Madrid y trabajó en la Sección de Predicción del Servicio y en la oficina meteorológica del aeropuerto de Barajas desde 1949 hasta 1962. En los años cincuenta tras la firma de los acuerdos de cooperación con EE. UU. varios meteorólogos españoles recibieron formación en el país norteamericano. Uno de ellos fue Alberto Linés en la Escuela de Meteorología de las Fuerzas Aéreas en Chanute (Illinois), graduado con el número 1 de su promoción (en 1952).

Durante los años siguientes compati-



Enrique Linés Escardó (1914 - 1988), hermano mayor de Alberto

## Semblanzas de Alberto Linés

bilizó el trabajo meteorológico con actividades como la de profesor de Análisis Matemático y Geometría Descriptiva en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales o colaborador en la sección de Meteorología Aplicada del Instituto Nacional de Geofísica que dirigía don José María Lorente. Allí, Linés estuvo largo tiempo encargado de comentar en la *Revista de Geofísica* las situaciones asociadas a temporales en España. Sobre ese tema versó su tesis doctoral en la Universidad Complutense en 1970. Años más tarde obtuvo otra licenciatura, esta vez en Ciencias de la Información y también por la universidad madrileña (1987). En el Servicio Meteorológico pidió en 1962 el traslado a la Sección de Climatología, donde empezó a desarrollar un interés muy fructífero en la investigación asociada.

### Directivo de aviación

En 1971 la carrera de Alberto Linés dio de nuevo un vuelco imprevisto. La mayoría de los funcionarios públicos desarrollamos nuestra carrera más o menos encauzados dentro de un mismo sector o actividad, pero no fue ese el caso de Alberto Linés. A alguno de los directivos de Iberia, la poderosa compañía estatal de aviación, les había llamado la atención su competencia, tanto como meteorólogo operativo como profesor en los cursos de Meteorología y Seguridad de Vuelo en la Escuela de Pilotos de Iberia desde 1958. En 1971 fue contratado para el departamento de Operaciones y durante los años siguientes ocupó, entre otros, los puestos de adjunto al subdirector, subdirector de operaciones y jefe del Gabinete Técnico, además de puestos de representación internacional en la IATA y otros organismos internacionales de la aviación comercial.

### Climatología: una dedicación constante

Durante sus 16 años como directivo de Iberia, Linés nunca olvidó su interés por la climatología, ni su afición a escribir sobre ese tema y temas afines. También mantuvo su larga vinculación con la AME; fue uno de los impulsores de su creación y el presidente en dos períodos, 1968 – 1970 y 1993 – 1994.

En 1987, nuestro protagonista se retiró voluntariamente de Iberia y reingresó en el entonces denominado Instituto Nacional de Meteorología como subdirector de Climatología y Aplicaciones. Era un puesto con muchas tareas y muchos subordina-



Alberto Linés, joven meteorólogo en la oficina de Barajas

dos y don Alberto tenía por carácter la disposición de atender a todos lo mejor posible. Pero eso no estaba reñido con su inteligencia práctica y un día nos confesó que los desplazamientos por el edificio del Instituto los hacía casi siempre por el sótano. Bajaba y subía más escaleras, pero disminuía mucho la probabilidad de encontrarse a alguien con problemas perentorios o dudas insuperables.

He dicho antes que la segunda vez que hablé con Linés fue en una asamblea de la AME a final de siglo. La primera fue mucho antes. Yo era un joven diplomado destinado en el aeropuerto de Ibiza a finales de la década de 1970 y un buen día apareció por allí Linés junto con un joven ayudante que más tarde supe que era uno de sus hijos. Quienes hayan trabajado en una ofici-

na meteorológica aeronáutica saben que en los aeropuertos importantes, como Ibiza, las observaciones se realizaban manualmente cada media hora y durante 24 horas diarias, lo que sumaba unas 1440 observaciones mensuales más algunas especiales. En aquella época pre-digital se registraban mediante anotaciones a mano en los “cuadernos de METAR”. Durante tres días o más, no recuerdo, Linés y su ayudante copiaron sin descanso las observaciones METAR que necesitaban. El rudimentario procedimiento fue repetido en muchos otros aeropuertos y aquel esforzado trabajo de campo fue la base inédita de la monumental y útil *Climatología Aeronáutica de España* (1992) que publicó Iberia así como del posterior *Resumen Climático de los Aeropuertos Españoles*.

### Un autor atractivo y creativo

Aparte de los libros citados y de *Perturbaciones típicas que afectan a la Península Ibérica* (1981, basado en su tesis doctoral) y *Cambios del Sistema Climático* (1990) Linés escribió numerosas contribuciones más cortas en periódicos, especialmente en el diario *Ya* de Madrid y *La Vanguardia* de Barcelona, en revistas como el boletín de la AME y en muchas otras publicaciones. También fue un asiduo conferenciante en la Jornadas de la AME y otras reuniones y en emisiones de radio. Junto con el meteorólogo José María Casals presentaron, entre 1950 y 1960, una amena emisión de Radio Nacional de España titulada *La Rosa de los Vientos*.

Leer a Linés es imprescindible. Su producción escrita revela una erudición y agudeza fuera de lo común, aderezadas con



Linés en 1967 con miembros de la anterior generación: Miguel Díaz, Gonzalo García y Josep María Jansà

un vistoso dominio del lenguaje. Además se caracteriza por abordar con frecuencia aspectos sugestivos y temáticas inesperadas. He aquí una pequeña muestra de ponencias y publicaciones cortas entre muchas otras de Alberto Linés:

✓ **Datos climatológicos en relatos históricos, 1975.**

✓ **Ciclos geo-climatológicos en el hombre, 1976.**

✓ **Posible incidencia de la convergencia intertropical en el Mediterráneo Occidental, 1980.**

✓ **La cerámica del agua y su relación con la aridez, 1983.**

✓ **Notas sobre la primavera de 1588 en España y Portugal, 1986.**

✓ **Elogio y reproche a la meteorología sinóptica, 1987.**

Pudiera pensarse que el título del penúltimo artículo citado, *Notas sobre la primavera de 1588 en España y Portugal*, tuviera un error y se refiera en realidad a la primavera de 1988 u otro año cercano, pero no es así. Linés introdujo en ese artículo un estudio histórico sobre los temporales de 1588 en las costas ibéricas, el primer gran obstáculo que se encontró la "Armada Invencible" en su proyectada invasión de Inglaterra.

Dejo para futuros comentaristas las novedades sobre el tratamiento moderno de la ciencia climatológica que Linés desarrolló en artículos como:

✓ **Determinismo en las leyes, aleatoriedad en los datos (1995)**

✓ **Contribución al concepto de clima, (¡¡1998, nueve densas páginas!!)**

✓ **La parametrización del clima (1999)**

## Fallecimiento y donaciones

El último artículo de Linés en la revista de la AME se publicó en enero de 2004 y estaba dedicado a la famosa propuesta de Vilhelm Bjerknes para resolver el problema de la predicción del tiempo mediante un sistema de ecuaciones en derivadas parciales no lineales para las tres componentes del viento y para la densidad, la presión y la temperatura, cuya resolución por métodos numéricos constituiría la base para ello. Linés era, como Bjerknes, un meteorólogo con solida base matemática y además de expresar las

ecuaciones que rigen la dinámica atmosférica con la notación moderna resumió con acierto en este artículo el proceso que desembocó en la predicción numérica del tiempo a partir de 1950.

## Ultimo artículo de Alberto Linés en la revista de la AME

Alberto Linés falleció unos meses después de publicar este artículo, con ochenta años cumplidos. El pasado 26 de noviembre hizo ya veinte años.

Los libros que formaron parte de la biblioteca personal de Alberto Linés, fueron donados por sus hijos a la biblioteca de AEMET el 16 de marzo de 2023. También fue donado por la familia su archivo personal que contiene documentación, fotos etc. sobre cuestiones muy diversas. En esta ocasión la donación se efectuó a la AME en noviembre de 2022, y quedó



Jaime Miró-Granada y Alberto Linés en la procesión del Corpus en Toledo

provisionalmente en poder de quien les habla, Manuel Palomares, para su catalogación y digitalización parcial, previas a su depósito en lugar a decidir (por ahora no es posible ya que la AME no dispone de un local propio).

El archivo de Linés incluye el de don José María Lorente (1891 – 1983) que fue bibliotecario del Servicio Meteorológico durante cuarenta años y al mismo tiempo un completísimo divulgador de la meteorología y sus aplicaciones. Al jubilarse en 1961 y ya viudo, se ordenó sacerdote y ejerció su ministerio en la localidad de

## Historia

### Un Centenario no muy divulgado

por Alberto Linés Escardó



tuvo demasiada relevancia fuera de los ámbitos profesionales del transporte aéreo.

Este año se cumplen asimismo cien años de otro hecho muy importante en la Meteorología: la formulación matemática de las ecuaciones del movimiento de las masas de aire, debido a Vilhelm Bjerknes quien, ya entrado el siglo XX, llevó a cabo la enunciación de otras teorías muy importantes sobre todo para la predicción del tiempo.

riables, a saber, las tres componentes del viento, la densidad y la presión. Al haber una variable más que ecuaciones, la solución era indeterminada.

Aunque el planteamiento matemático era correcto, la base física era endeble, entre otras razones porque al calor se le suponía una forma de la materia. Boyle encontró una relación lineal entre densidad y presión para los gases. Posteriormente, un paso más fue la formulación debida a Boyle y Charles, que establecía la relación entre las variables que caracterizan el estado de un fluido.

Con el establecimiento del equivalente mecánico de calor por Joule, y a partir de sus ideas y experimentos con los trabajos de Helmholtz y otros, se estableció la equivalencia entre calor y energía, con lo que se formuló el primer principio de la Termodinámica o princi-

Las Matas. Su amigo Alberto Linés adquirió entonces su archivo que contiene una colección singular de recortes de prensa española e internacional sobre temas de meteorología e impacto social del tiempo atmosférico de diversa índole.

Linés publicó una semblanza de Lorente que es un ejemplo más de su maestría y sensibilidad en la descripción de ideas y de personas. (*Boletín de la AME*, julio de 2003)

## La Cofradía Internacional de Investigadores

La última imagen de esta charla se la debemos a una cortesía del aquí presente don Fernando Aranda, socio fundador de la AME, jefe durante muchos años del observatorio meteorológico de Toledo y erudito especialista en la historia de la vieja capital. Tuvo una participación directa en la creación de la Cofradía Internacional de Investigadores Científicos, que además de tener ese perfil deben profesar

alguna de las religiones monoteístas que convivieron en Toledo durante la Edad Media. Con esos requisitos salen todos los años en procesión con sus trajes de época el día del Corpus Christi.

Nada podía satisfacer más al carácter algo heterodoxo y original de don Alberto que figurar en esa cofradía y es probable que también fuera él quien reclutó para la misma a Jaime Miró-Granada, otro meteorólogo y antiguo presidente de la AME. En la foto podemos ver a ambos sentados en primera fila a la izquierda y ya vestidos con sus trajes, listos para procesionar.

# 70° Aniversario de la operacionalización de la predicción numérica del tiempo

E. RODRÍGUEZ CAMINO, AME

Frecuentemente se asocia el inicio de la predicción numérica operativa del tiempo con la publicación del famoso artículo de Charney, Fjørtoft y von Neumann publicado en *Tellus* en 1950 en el que se propone un método para resolver de forma numérica la ecuación barotrópica de la vorticidad sobre un área limitada. Sin embargo, el término operativo implica una producción estable, continuada y diaria que no llegaría hasta aproximadamente 5 años después. El origen del resultado de esta publicación debe remontarse a cuando John von Neumann, el famoso matemático y arquitecto de los primeros ordenadores que se utilizaron inicialmente para la investigación armamentística, fue consciente de que las no linealidades asociadas al movimiento de los fluidos requerían una gran potencia computacional para su solución

y que la meteorología presentaba una oportunidad para su aplicación en tiempos de paz, retomando así el sueño de Richardson de realizar predicciones meteorológicas basadas en las ecuaciones físicas, que había permanecido latente dos decenios (Lynch 2006). Por esta razón, von Neumann se puso en contacto con diferentes responsables, entre ellos Francis Reichelderfer, entonces director del Weather Bureau de EE. UU., y el resultado fue la decisión de crear en 1947 un pequeño núcleo de científicos en el Instituto de Estudios Avanzados (IAS, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Princeton para explorar las posibilidades de esta idea. Se eligió a Jule G. Charney procedente de UCLA para dirigir este grupo. Charney conoció a Carl Gustav Rossby durante su estancia en la Universidad de Chicago y se apoyó en los estudios previos de éste para uti-

lizar en forma de pronóstico la ecuación barotrópica de la vorticidad. Además, von Neumann y Charney se conocieron por intermediación de Rossby y tuvieron la oportunidad de trabajar juntos previamente a la constitución del grupo de Princeton, que entre otros incluía a Philip Thompson, proveniente de UCLA, George Platzman, de la Universidad de Chicago, y Arnt Eliassen, de Noruega. A los dos años Eliassen se marchó a UCLA y Ragnar Fjørtoft se incorporó desde Noruega para sustituirlo. En 1951, Norman Phillips también se incorporó desde la Universidad de Chicago para sumarse a este proyecto (Nebeker 1995, Benjamin 2018).

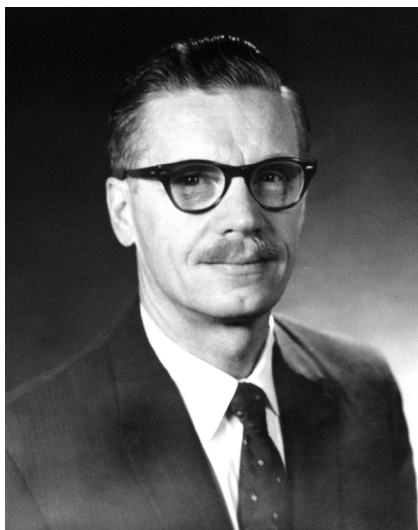
En 1950, y en el transcurso de un mes, se realizaron con éxito cuatro predicciones de hasta 24 horas y que precisaron 24 h de cálculo en el ordenador ENIAC (acrónimo de *Electronic Numerical Integrator And Computer*) situado en Aberdeen, Maryland, siendo estas cuatro predicciones las que se describen en el artículo de Charney, Fjørtoft y von Neumann, lo que distaba mucho de ser un montaje operativo. Estas predicciones resultaron ser sorprendentemente precisas, considerando lo simple de su dinámica, lo que apuntaba a la importancia de la advección no lineal de la vorticidad. Los resultados del grupo de Princeton tuvieron una repercusión considerable, de modo que, a principios de los años 50, se reconoció ampliamente que las predicciones generadas con ordenador basadas en las ecuaciones filtradas, para eliminar los modos de gravedad y acústicos, representaban un nuevo enfoque prometedor para el problema de las predicciones meteorológicas, incluido el del desarrollo baroclínico. Utilizando un modelo cuasi-geostrófico de tres niveles, el grupo de Princeton también probó diversos casos significativos de ciclogénesis. Estos intentos no tuvieron todos el mismo éxito lo que les condujo a considerar versiones más precisas de las ecuaciones filtradas e incluso a considerar seriamente el uso de las ecuaciones primitivas hidrostáticas a pesar de que permitieran las ondas gravitatorias.



Histórica fotografía tomada en el año 1950 junto al ENIAC en Aberdeen (Maryland, EE. UU.) justo después de completar la primera predicción numérica del tiempo que tuvo éxito. De izquierda a derecha: Harry Wexler, John von Neumann, M. H. Frankel, Jerome Namias, John Freeman, Ragnar Fjørtoft, Francis Reichelderfer y Jule Charney (fuente: MIT Museum)

A la vista de los positivos resultados del grupo de Princeton, el Weather Bureau, la Fuerza Aérea y la Marina de EE. UU. crearon en 1954 una nueva Unidad Conjunta de Predicción Numérica del Tiempo (JNWPU, por sus siglas en inglés) en Washington D.C., con un ordenador IBM 701 dedicado a esta tarea y con el mandato específico de desarrollar una capacidad operativa de predicción numérica del tiempo que estuviera disponible para aplicaciones de pronóstico tanto civiles como militares. George Cressman fue nombrado director de la JNWPU siendo Frederick Shuman y Joseph Smagorinsky otros dos destacados miembros de la Unidad. El propósito de la JNWPU era el de convertir en un procedimiento automatizado los métodos de pronóstico desarrollados a través de la investigación en predicción numérica del tiempo.

El IBM 701 fue instalado a principios de 1955 y la primera predicción a 36 h que se realizó correspondió a las condiciones iniciales de 15:00 Z del 18 de abril de 1955. El Weather Bureau emitió su primera predicción operativa en mayo de 1955 basada en el modelo baroclínico de 3 niveles desarrollado por el grupo de Princeton. Mientras tanto, el grupo de Meteorología de Princeton se disolvió en 1956, Charney y Phillips se fueron al MIT mientras que Fjørtoft ya había regresado con anterioridad a Noruega (Harper et al. 2008). Al principio las predicciones numéricas no pudieron mejorar las predicciones manuales, entre otros problemas por el excesivo desarrollo de las borrascas y por no ser capaces de poder suministrar información útil a los predictores operativos. Las primeras operaciones con el IBM 701 en 1955 dependían de métodos manuales de análisis para el establecimiento de las condiciones iniciales y de comunicaciones muy primitivas. Los datos observacionales se transcribían manualmente a partir de las salidas del teletipo y se analizaban manualmente mediante métodos tradicionales, luego se superponía una transparencia con los puntos de la cuadrícula del modelo y un analista interpolaba y leía los valores en los puntos de la cuadrícula a un operador de perforación de tarjetas. La recopilación y preparación de datos, la perforación de tarjetas y la verificación manual de la entrada requerían alrededor de 10



**George Cressman (arriba, fuente: NOAA Digital Collection) y Joseph Smagorinsky (abajo, fuente: Franklin Institute) dos de los principales artífices de la operacionalización de la predicción numérica del tiempo en EE. UU.**

h a partir del instante nominal de datos, lo que significaba que los productos no estaban disponibles para su uso hasta 12 h después. Aunque hubo momentos de desánimo, la estrategia que se siguió fue clave para el éxito final que llegó tras varias tentativas y cambios que cristalizaron alrededor de 1958 en un sistema estable y satisfactorio con una nueva máquina IBM 704 más potente que incorporó entre otras mejoras un sistema automático de gestión datos y de análisis de las condiciones iniciales volviéndose finalmente a una versión mejorada del modelo barotrópico de Princeton (Shuman 1989). A partir de 1958, los predictores del Weather Bureau comenzaron a recibir las

predicciones numéricas en tiempo real. Algunos de los productos numéricos superaban ya en 1960 la calidad de los calculados manualmente, especialmente para las predicciones en altura. Todavía en estos primeros años los modelos, dada su simplicidad e insuficiente resolución, no eran capaces de generar predicciones a nivel de superficie mejores que las generadas manualmente por los predictores. Tras dos años de operaciones, y dada la diversidad de intereses del *Weather Bureau*, la Marina y la Fuerza Aérea, la JNWPU se disolvió en tres organizaciones que desarrollaron sus propios modelos: National Meteorological Center (Weather Bureau), Global Weather Central (Fuerza Aérea) y Fleet Numerical Oceanography Centre (Marina) (Shuman 1989; Harper et al. 2007).

Sin embargo, no fueron los Estados Unidos la primera nación en producir predicciones numéricas diarias en tiempo real. Este honor le corresponde a Suecia y a sus diferentes instituciones meteorológicas [Instituto de Meteorología de la Universidad de Estocolmo (MISU), Centro Meteorológico Militar de la Fuerza Aérea (MVC), Instituto Meteorológico e Hidrológico Sueco (SMHI)]. Bajo la dirección de Bert Bolin, el equipo, que incluía también a Rossby que había regresado a Suecia desde EE. UU., inició en septiembre de 1954 integraciones diarias con un modelo barotrópico utilizando un ordenador de diseño sueco, el BESK (acrónimo de *Binär Elektronisk SekvensKalkylator* [Calculador Secuencial Electrónico Binario]), varios meses antes que los americanos.

La primera predicción operativa en tiempo real hasta 72 h fue realizada con motivo de unas maniobras militares en Suecia a finales de septiembre y principios de octubre de 1954, comenzando la producción operativa en diciembre de 1954, 6 meses antes que el inicio de las operaciones por parte del Weather Bureau. Podemos pues marcar esta fecha como el inicio de la predicción numérica operativa. Al igual que en el caso de las predicciones numéricas de la JNWPU, una parte significativa del tiempo se necesitaba para la recopilación y preparación de los datos, el cálculo manual de las condiciones iniciales, etc. Según su cálculo se precisaban aproximadamente 6h 30m distribuidos en las siguientes tareas:

## 70º Aniversario de la operacionalización de la predicción numérica del tiempo



**Bert Bolin (izquierda, fuente: National Geographic) y Carl-Gustav Rossby (derecha; fuente: Wikipedia), principales responsables de la operacionalización de la predicción numérica del tiempo en Suecia**

- ✓ Comprobación y transcripción de los datos a mapas 1h 30m
- ✓ Elaboración manual del mapa del análisis de 500 mb 1h 30m
- ✓ Lectura de los valores analizados en los puntos de rejilla 1h 20m
- ✓ Grabación de las tarjetas con los datos iniciales 40m
- ✓ Comprobación y corrección 20m
- ✓ Tiempo de cálculo en el ordenador para la predicción 40m
- ✓ Representación gráfica de las predicciones 30m

Como se ve, el tiempo de cálculo de la predicción apenas representaba el 10 % del total de las tareas conducentes a generar una predicción numérica operativa del tiempo. En los siguientes años se avanzó significativamente en lo que actualmente se denomina asimilación de datos que incluye además un control de calidad de las observaciones. Todos los detalles de la iniciativa sueca, incluidos la relación --no siempre fácil-- entre las instituciones meteorológicas suecas, y los viajes, visitas y estancias con sus homólogos americanos han sido reconstruidos en detalle por Persson (2005).

Desde estas pioneras predicciones numéricas operativas en 1955, los modelos numéricos han progresado significativamente pasando desde el uso de ecuaciones filtradas, bien sea barotrópicas o baroclínicas, a la utilización de ecuaciones primitivas primero hidrostáticas y más recientemente no hidrostáticas. El aumento de la resolución y de la complejidad de las parametrizaciones físicas ha avanzado en paralelo con el desarrollo y disponibilidad de ordenadores cada vez más potentes.

Desde los inicios de la predicción numérica del tiempo fue claro que se nece-

sitaba de un método para controlar qué datos observacionales habría que conservar y cuáles (sospechosos) eliminar antes de ejecutar el modelo. Pronto se vio que a medida que se enfrentaban a una avalancha de información observacional, los sistemas de asimilación de datos seguirían siendo fundamentales para el éxito de la predicción numérica del tiempo. La asimilación de datos ha evolucionado, en particular en los últimos tres decenios, desde un simple sistema de gestión de datos e interpolaciones a un enfoque matemático complejo centrado en extraer la información crítica de las observaciones utilizadas para inicializar los modelos. Los esquemas de análisis pasaron de una base empírica a una teórica en la

década de 1980. La introducción de técnicas de asimilación variacional ha permitido utilizar todas las observaciones incluidas las que no se relacionan linealmente con las variables meteorológicas que se precisan inicializar para integrar un modelo numérico. El uso directo de radiancias obtenidas por satélite dentro de los sistemas variacionales de asimilación de datos produjo mejoras significativas en la capacidad de pronóstico para los hemisferios norte y sur. Los avances en la modelización requieren de la inicialización de variables que van mucho más allá del viento, la temperatura y la presión superficial. Los modelos actuales necesitan información sobre nubes, ozono y otros gases, aerosoles y variables de superficie, como la humedad del suelo y la cubierta de nieve. El aumento del número de observaciones diarias que deben asimilarse para inicializar los modelos ha crecido exponencialmente en los últimos años, singularmente las de los sensores a bordo de satélites. El desafío para el futuro será conciliar la potencia informática con las mejoras técnicas necesarias para



**Bert Bolin (izquierda) muestra a Ragnar Fjørtoft (centro) y George Corby (derecha) un ejemplo de producción totalmente automática de una predicción basada en el modelo barotrópico integrado en el ordenador BESK (fuente: Persson 2005)**

asimilar con éxito todos estos nuevos datos sin aumentar significativamente los tiempos de ejecución. Las técnicas de asimilación de datos basadas en asimilación cuatridimensional o en filtros de Kalman por conjuntos han permitido reducir las fuentes de errores y aumentar la precisión de las predicciones, así como utilizar ingentes cantidades de datos con alta resolución.

Hasta principios de los años 90s los centros operativos de predicción numérica del tiempo calculaban un único pronóstico que se inicializaba con la mejor estimación de las condiciones iniciales. Sin embargo, con la introducción de la predicción *ensemble* (o por conjuntos) que se basa no en una única predicción sino en un conjunto de predicciones, cada una de ellas inicializada con condiciones iniciales ligeramente perturbadas, a partir de las cuales se puede producir mejores predicciones y lo que es más importante una estimación de su incertidumbre. La media del conjunto de predicciones es generalmente más precisa que un único pronóstico determinista y muestra una mayor consistencia entre las distintas ejecuciones sucesivas, y la dispersión de las soluciones proporciona información sobre los errores y la incertidumbre del pronóstico. Las predicciones por conjuntos proporcionan a los predictores operativos un método objetivo para considerar una variedad de escenarios atmosféricos que complementa los métodos subjetivos existentes. Las predicciones por conjuntos son actualmente reconocidas como indispensables para los predictores operativos y han promovido una ruptura con el pensamiento puramente determinista en la predicción operativa (Palmer 2018). La paulatina mejora de la predicción numérica del tiempo, incluyendo la predicción por conjuntos, ha llegado a ser calificada como una revolución silenciosa (*quiet revolution*, en inglés) en el área de las ciencias físicas comparable a otras revoluciones científicas recientes como la simulación del cerebro humano o la evolución inicial del universo (Bauer et al. 2015).

La predicción numérica meteorológica del tiempo está cambiando de forma acelerada, además de por la evolución de la ciencia subyacente, por las nuevas oportunidades en la tecnología digital y

por la emergencia de una vasta comunidad de investigación en aprendizaje automático (*machine learning*). En este contexto, se han desarrollado modelos numéricos de predicción basados en datos (actualmente reanálisis) en lugar de las ecuaciones que describen el fluido atmosférico. Los reanálisis se están convirtiendo en los datos indispensables para el entrenamiento de nuevos algoritmos de predicción basados en datos. Este nuevo entorno está cambiando las estrategias de los servicios meteorológicos a la vez que se abre la puerta a nuevos actores como las empresas tecnológicas con grandes capacidades informáticas y de manejo de datos (Rodríguez Camino 2024; Bauer 2024).

En definitiva, podemos conmemorar en 2025 a la vez el 75 aniversario de la muy conocida primera predicción numérica del tiempo que tuvo éxito y el 70 aniversario de la menos conocida operacionalización de la predicción numérica del tiempo que tuvo su comienzo a finales de 1954 en Suecia y mediados de 1955 en EE. UU. Sin embargo, todavía tuvieron que pasar bastantes años hasta que los predictores operativos fueron abandonando paulatinamente los métodos clásicos de predicción basados en un análisis manual detallado juntamente con métodos gráficos basados en advección y fueron sustituyéndolos por la utilización y explotación masiva de las salidas de los modelos numéricos (Benjamin et al. 2019).

Mientras que los protagonistas del desarrollo inicial de las bases teóricas de la predicción numérica del tiempo han sido con frecuencia reconocidos, no ha sucedido lo mismo con los responsables de su operacionalización que contribuyeron significativamente a resolver muchos problemas prácticos. Entre estos últimos podemos destacar a Cressman por parte de EE. UU. y a Bolin por parte de Suecia. El mismo Cressman desarrolló el método de análisis basado en correcciones sucesivas que se ha utilizado ampliamente en predicción numérica del tiempo, llegando a ser director del National Weather Service (heredero del Weather Bureau) entre 1965 y 1979 contribuyendo significativamente a su modernización. Bolin, por su parte, desde el MISU promovió la cooperación internacional para la investigación meteorológica siendo el Informe

Brundland y el IPCC las iniciativas más conocidas y reconocidas a las que él contribuyó de forma esencial para que pudieran llegar a ver la luz.

## Referencias

- Bauer, P., A. Thorpe, and G. Brunet, 2015: The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*, 525, 47–57, <https://doi.org/10.1038/nature14956>
- Bauer, P., 2024: What if? Numerical weather prediction at the crossroads. *Journal of the European Meteorological Society*, Volume 1, 100002, <https://doi.org/10.1016/j.jemets.2024.100002>
- Benjamin, S. G., J. M. Brown, G. Brunet, P. Lynch, K. Saito, and T. W. Schlatter, 2018: 100 Years of Progress in Forecasting and NWP Applications. *Meteor. Monogr.*, 59, 13.1–13.67, <https://doi.org/10.1175/AMSMONOGRAPHSD-18-0020.1>
- Charney, J. G., Fjörtoft, R., & von Neumann, J. (1950). Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation. *Tellus*, 2(4), 237–254, <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1950.tb00336.x>
- Harper, K., L. W. Uccellini, E. Kalnay, K. Carey, and L. Morone (2007). 50th Anniversary of Operational Numerical Weather Prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88, 639–650, <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-5-639>
- Lynch, P. (2006). *The Emergence of Numerical Weather Prediction: Richardson's Dream*. Cambridge University Press, ISBN: 978-0521857291.
- Nebeker, F. (1995). *Calculating the Weather, Meteorology in the 20th Century*, San Diego, California, Academic Press.
- Palmer, T. (2018). The ECMWF ensemble prediction system: looking back (more than) 25 years and projecting forward 25 years. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 145, 12–24, <https://doi.org/10.1002/qj.3383>
- Persson, A. (2005). Early operational Numerical Weather Prediction outside the USA: An historical introduction. Part I: Internationalism and engineering NWP in Sweden, 1952–69. *Meteor. Appl.*, 12, 135–159, <https://doi.org/10.1017/S1350482705001593>
- Rodríguez Camino, E. (2024). Predicción numérica del tiempo: ¿basada en leyes o en datos? *Tiempo y Clima (Boletín de la AME)*, 5, 83, 9–13, <https://pub.ame-web.org/index.php/TyC/article/view/2645>
- Shuman, F. G. (1989). History of Numerical Weather Prediction at the National Meteorological Center. *Wea. Forecasting*, 4, 286–296, [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1989\)004%3C0286:HONWPA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1989)004%3C0286:HONWPA%3E2.0.CO;2)
- Smagorjnsky, J. (1983). The Beginnings of Numerical Weather Prediction and General Circulation Modeling: Early Recollections, *Advances in Geophysics*, 25, 3–37, [https://doi.org/10.1016/S0065-2687\(08\)60170-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2687(08)60170-3)

## La RAE incluye la palabra “dana” en el *Diccionario de la Lengua Española*

Fuentes: Real Academia Española, *El País*, *Tiempo y Clima*.

**E**l pasado 10 de diciembre, la Real Academia Española (RAE) presentó la actualización 23.8 del *Diccionario de la lengua española (DLE)* en la que se han incorporado 4074 novedades, y entre ellas el nuevo término dana.

Dana corresponde a las letras iniciales de **de**presión **a**islada en **n**iveles **a**ltos y la definición que ofrece el diccionario es “f. Meteor. Depresión en niveles altos de la atmósfera, que, aislada de la circulación general atmosférica, se mueve de forma independiente y puede producir grandes perturbaciones con precipitaciones muy intensas.”

En realidad el término dana se utilizaba desde mucho tiempo atrás por el personal de la AEMET y bastante antes de que su uso se extendiera a los medios de difusión y fuera incluido en el *DLE*. La historia es sugestiva y la ha contado Ángel Rivera (antiguo meteorólogo y jefe del Área de Predicción de AEMET) en una reciente entrevista en *El País*.

En buena parte se considera a Rivera

como el “padre” o uno de los “padres” del término, junto con Francisco Martín León y Ricardo Riosalido, pero Rivera es el más veterano de todos ellos y llegó a trabajar varios años con un colega aún más antiguo, Francisco García Dana, quien en su juventud se había formado durante un tiempo en Estados Unidos y fue un auténtico maestro de predictores. En aquella época, que era también la del gran Mariano Medina, se utilizaba preferentemente otro nombre para el fenómeno, “gota fría”, tomado de la terminología meteorológica alemana.

Después de que García Dana falleciera prematuramente en 1985, Rivera empezó a propagar el uso del nuevo acrónimo, DANA, entre los predictores, técnicos de teledetección, y alumnos de los cursos de formación. No solo era más apropiado que otras denominaciones, sino que el acrónimo coincidía con el segundo apellido de su admirado García Dana. Según declara a *El País*, Rivera pensó que el término no haría fortuna, pero ¡vaya si la ha



Francisco García Dana, años 1960

hecho! Lástima que suela estar asociado a desastres como las recientes y trágicas inundaciones de Valencia, pero precisamente meteorólogos como Paco García Dana y Ángel Rivera impulsaron notablemente su estudio.

## Inauguración en Zamora de una placa en homenaje a Francisco Morán

Fuente: Alejandro Méndez Frades y *Tiempo y Clima*



Frente a los medios locales y bajo la placa, de izq. a dcha.: Alejandro Méndez, Manuel Palomares, el subdelegado del Gobierno en Zamora, Manuel Mora, el alcalde de Zamora y los hermanos Manuel, Asunción, Juan y Concha Morán Cabré. Sentada a la derecha, la concejala de Cultura

**E**l pasado 13 de noviembre de 2024, la AEMET, por medio de su Delegación Territorial en Castilla y León, organizó un homenaje al meteorólogo Francisco Morán Samaniego (1901-1984), a quien la historia ha reconocido como el gran pionero de la Física del Aire en España. El acto consistió en el descubrimiento de una placa en su casa natal zamorana, ubicada en la céntrica calle de San Torcuato número 25.

Entre otros importantes logros, Morán fue autor de los míticos “Apuntes de termodinámica de la atmósfera”, que sigue siendo una obra de referencia aun habiendo transcurrido ocho décadas desde su primera edición, y fue el responsable principal de la formación teórica de varias generaciones de meteorólogos y físicos del aire españoles y latinoamericanos.

El breve texto de la placa, adquirida por AEMET, invoca la labor profesional

de Francisco Morán, como funcionario del Servicio Meteorológico, y su faceta investigadora, que le llevó alcanzar las más altas cotas científicas de la meteorología en nuestro país y convertirse en el primer catedrático de Física del Aire en España.

Con esta iniciativa, Francisco Morán ha ingresado en el reducido elenco de meteorólogos que, a día de hoy, disfrutan de un homenaje perpetuo mediante efigie o placa, hasta ahora solo eran Duperier en Pedro Bernardo (Ávila), en Ávila capital y en Madrid, Mateo en Oviedo y Ballester en Sóller (Mallorca). Por otra parte Luis Aldaz tiene en memoria el “Monte Aldaz” en el continente Antártico y en el espacio, el asteroide “13004 Aldaz”.

Desde la AME nos felicitamos por la consecución y el éxito de este homenaje, habida cuenta de que Francisco Morán fue, además, uno de sus socios fundadores.

## Terminadas las obras de los edificios del Retiro

Fuente: AEMET y *Tiempo y Clima*

**D**urante el pasado año 2024 se han terminado de recuperar los históricos edificios de la AEMET en el parque del Retiro de Madrid con el propósito de su utilización efectiva (que suele ser lo que asegura realmente la recuperación). En primer lugar, ya terminadas las largas obras de acondicionamiento del edificio principal, originario de 1913, se ha instalado allí el personal de la Delegación de AEMET en Madrid en el lugar donde ya se alojaron hasta el año 2004. Han pasado nada menos que veinte años con retrasos por causas diversas e insospechadas. Tras ese largo tiempo AEMET dispondrá no solo de oficinas para la Delegación y otras unidades sino espacio adecuados para reuniones, conferencias etc. Lástima que las fuertes reducciones del personal y el teletrabajo hayan hecho innecesaria en principio la necesidad de tanto espacio para la pequeña delegación en Madrid, pero siempre habrá un aprovechamiento útil y posible.

Con mayor interés aún, se esperaba la finalización de la rehabilitación del Castillo, la sede inicial del Servicio Meteorológico de España, desde 1888. La obra, muy laboriosa e imaginativa ha respetado su pasado y al mismo tiempo prepara su uso como museo o centro de interpretación pero ha suscitado algunos comentarios polémicos en los medios, llegándose a escribir que es el “*Exin Castillos del Retiro*”. Desde la AME se ha contestado a alguno de esos comentarios, por ejemplo al publicado en *ES Diario*. He aquí un extracto:

“El valor histórico del edificio es enorme. Se construyó en 1850 como cabecera del telégrafo óptico que enlazaba con la estación en el Cerro de los Ángeles. Se le dio a propósito la forma de un castillete medieval, a fin de sintonizar con otras edificaciones de aspecto histórico y monumental que existían entonces en el parque del Retiro, la mayoría de las cuales han desaparecido lamentablemente. También sirvió como escuela de telegrafía eléctrica cuando la telegrafía óptica dejó de tener sentido, pero en 1856 el edificio quedó abandonado salvo como refugio para guardias del parque y para realizar algunas mediciones geodésicas.

En 1887 se creó el Instituto Central Meteorológico, la actual AEMET y en 1888 se nombró a su primer director, el ilustre científico don Augusto Arcimis Werle, quien se encargó de poner en marcha la nueva institución. Tras diversas obras de rehabilitación y acondicionamiento, el Castillo, junto con otros edificios que fueron constru-



Castillo del Retiro rehabilitado en 2024

yéndose en su proximidad, constituyó, hasta 1962, la sede central del servicio meteorológico español. Después continuó sirviendo para oficinas del mismo hasta que a final del siglo XX tuvo que abandonarse porque amenazaba ruina.

Además de dedicarse durante muchos años a las labores operativas de información y predicción del tiempo, el recinto del Retiro tiene un lugar destacado en la historia de la ciencia en España. Allí se realizaron las primeras mediciones de electricidad atmosférica y de radiación cósmica además de muchos otros experimentos y fue el lugar de trabajo de científicos tan notables como Augusto Arcimis, Arturo Duperier, José María Lorente o Francisco Morán.

Por todo ello, la rehabilitación del Castillo de acuerdo a su antiguo aspecto y su proyectada conversión en un centro de memoria histórico-científica para los madrileños y los visitantes del Parque son iniciativas brillantes de AEMET, sobre todo cuando la rehabilitación se ha llevada a cabo con un presupuesto realmente modesto en relación a la envergadura de la obra.



Javier Martín Vide

## Javier Martín Vide reconocido entre el 2 % de los científicos más influyentes del mundo en su campo según el *Ranking de Stanford*

Fuentes: Stanford University y *Tiempo y Clima*

**N**uestro colega y socio de la AME Javier Martín Vide, catedrático de Geografía Física de la Universidad de Barcelona, se encuentra entre el 2 % de los científicos con “mayor influencia” dentro de su ámbito académico (ciencias de la Tierra y el medioambiente) según la nueva actualización de la base de datos que publica el grupo editorial Elsevier, conocida como “Ranking de Stanford”.

La clasificación que alcanza ya su séptima edición, identifica a los científicos más relevantes del mundo según el impacto de las citas de sus publicaciones clasificándolos en 22 campos científicos y 174 subcampos o áreas de investigación. Con todo ello produce anualmente su ya popular “Lista del 2 %”.

Desde la AME felicitamos a nuestro consocio Javier Martín Vide por este reconocimiento a su trayectoria científica.

# Beyond Global Warming: How Numerical Models Revealed the Secrets of Climate Change

(Más allá del calentamiento global: cómo los modelos numéricos revelaron los secretos del cambio climático)

**SYUKURO MANABE Y ANTHONY J. BROCCOLI**, 2020. EDITORIAL: PRINCETON UNIVERSITY PRESS, 224 PÁGINAS, PRECIO: 33.16 €, ISBN-10: 0691058865, ISBN-13: 978-0691058863.

Los autores, Syukuro Manabe y Anthony Broccoli, hacen en este recomendable libro un recorrido histórico por la modelización numérica del clima desde su perspectiva de protagonistas esenciales del desarrollo de este campo. La modelización del clima ha permitido conformar gran parte de nuestro actual conocimiento tanto de los climas pasados como de los que esperamos para el futuro. Manabe procedía de Japón y se formó en la Universidad de Tokio en el reconocido grupo de meteorología dinámica del profesor Syono. Tras terminar su doctorado se incorporó en 1958 al Weather Bureau de Estados Unidos por invitación de Joseph Smagorisky para trabajar en modelos climáticos. En 1963 se trasladó desde Washington al recién creado Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos (GFDL, por sus siglas en inglés) en Princeton, New Jersey, donde continuó trabajando en modelos climáticos. Su influyente trabajo le valió el Premio Nobel de Física del año 2021 junto a Klaus Hasselmann y Giorgio Parisi. Compartió la mitad del premio con Hasselmann por, en palabras del comité Nobel, sus descubrimientos acerca de la “modelización física del clima terrestre, cuantificando la variabilidad y prediciendo de manera fiable el calentamiento global”. Broccoli ha trabajado en la simulación de climas pasados y colaborado con Manabe en entender la respuesta del clima a los cambios de los movimientos orbitales de la Tierra durante el último periodo glacial. Actualmente es catedrático en el departamento de Medio Ambiente de la Universidad Rutgers, New Jersey. Manabe y Broccoli se conocieron hace más de 45 años, cuando Broccoli era estudiante en un máster de meteorología en Rutgers y realizó un curso de posgrado en la Universidad de Princeton impartido por Manabe y Abraham Oort. Unos pocos años más tarde, Broccoli a su vez pasaría a formar parte del GFDL, donde trabajó desde 1982 hasta 2003. Aunque el libro partió de las notas de clase del curso que dio Manabe, se reformuló

el enfoque y el resultado final es algo diferente. A los autores les gusta utilizar la metáfora de un “viaje científico” para entender este libro ya que en él se analiza la investigación que más influyó en la evolución de la propia comprensión de Manabe sobre el cambio climático conjuntamente con sus propias aportaciones, algunas de las cuales fueron hechas con Broccoli.

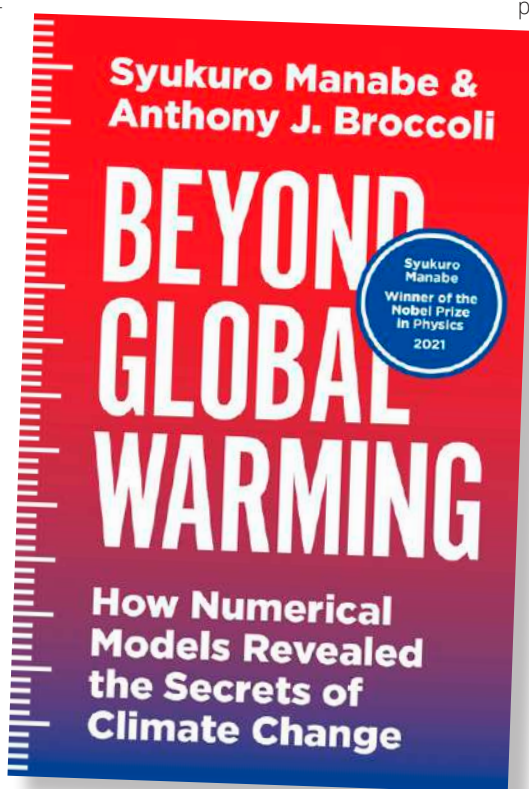
Los dos primeros capítulos del libro repasan brevemente los conceptos fundamentales del efecto invernadero y del calen-

diente modelo de Manabe y Wetherald.

El capítulo dedicado a los modelos climáticos unidimensionales (1D) es esencial ya que éstos han sido fundamentales en el desarrollo de la ciencia del cambio climático. A pesar de su simplicidad en comparación con los modelos tridimensionales (3D) actuales, desempeñaron un papel clave en las primeras etapas de la modelación climática, ya que por su enfoque conceptual facilitaron la exploración de cómo las variables físicas básicas afectaban al clima global. Los modelos 1D permitieron hacer las primeras estimaciones

en los años 1960s del efecto del CO<sub>2</sub> y como el aumento de su concentración en la atmósfera afectaba a la temperatura global. Estos modelos ayudaron a definir y cuantificar el concepto de sensibilidad climática. Los modelos 1D fueron esenciales para explorar los efectos de la retroalimentación del vapor de agua y como el balance radiativo de la atmósfera está influenciado por nubes, aerosoles y otras propiedades atmosféricas. Aunque actualmente los modelos 3D han reemplazado en gran medida a los 1D, estos últimos sirvieron como una base para validar conceptos y algoritmos que luego se integraron en los modelos 3D más sofisticados. Uno de los artículos que se describe en este capítulo, el publicado por Manabe y Richard Wetherald en 1967 titulado “Equilibrio térmico de la atmósfera con una distribución dada de humedad relativa” que se basa en un modelo 1D radiativo-convectivo fue, de hecho, elegido por una encuesta entre especialistas en el tema realizada en el año 2015 (<https://www.carbonbrief.org/the-most-influential-climate-change-papers-of-all-time/>)

como el artículo más influyente en toda la historia de la ciencia del cambio climático. El modelo climático 1D radiativo-convectivo de Manabe y Wetherald incluye una espectroscopia precisa del CO<sub>2</sub>, ozono y vapor de agua, convección atmosférica y retroalimentación de vapor de agua. Cuando se introduce en el modelo una concentración atmosférica du-



tamiento global asociado a éste, así como los primeros estudios realizados durante el siglo XIX y principios del XX por Fourier, Chausseure, Tyndall, Arrhenius, Hulbert y Callendar. Mencionemos aquí que las contribuciones de Hulbert han sido durante mucho tiempo no suficientemente reconocidas, si bien su modelo radiativo-convectivo de la atmósfera, aunque tuvo serios problemas anticipó en tres decenios el correspon-

PLICADA de CO<sub>2</sub> da un cambio de temperatura (sensibilidad climática de equilibrio) de +2.4 °C, que es consistente con las estimaciones más modernas, incluidas las publicadas en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC.

En otro capítulo se describen los primeros modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés) de la atmósfera que evolucionaron a partir de los modelos dinámicos de predicción numérica del tiempo (PNT). En 1956 Norman Phillips hizo el primer intento de simular la circulación general de la atmósfera en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, utilizando un modelo simple de dos capas basado en ecuaciones filtradas que se desarrolló para la PNT. El éxito de Phillips en reproducir las características generales de la circulación general con un modelo tan simple contribuyó a que otros grupos desarrollaran nuevos modelos de complejidad creciente. En el libro se describen con cierto detalle dos de ellos: el modelo de UCLA, desarrollado por Minz y Arakawa y el del GFDL, desarrollado inicialmente por Smagorinsky y también por Manabe tras su llegada desde Tokio y su incorporación al grupo en 1958. El grupo del GFDL completó en 1965 un modelo más complejo con ciclo hidrológico y basado en las ecuaciones primitivas con una resolución horizontal de aproximadamente 500 km y 9 niveles. Además, incluía muchas de las parametrizaciones que actualmente poseen los modelos atmosféricos: radiación (onda corta y larga), convección, condensación a gran escala, etc. Este modelo era capaz de simular razonablemente bien, comparado con las observaciones, la distribución global de viento, temperatura y precipitación y parecía ser una herramienta potencialmente muy poderosa para estudiar y predecir el cambio climático.

Tras desarrollarse modelos GCM que reproducían las características esenciales de la circulación general, comenzaron a utilizarse para estudiar los cambios en el clima. En el capítulo dedicado a los primeros experimentos numéricos de cambio de clima se describen con cierto detalle los trabajos que hizo Manabe con Wetherald a mediados de la década de los 1970 en los que se investigó la respuesta del clima primero a una duplicación hipotética de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> y después a cambios del 2 % en la irradiancia solar. Estos trabajos contribuyeron a comprender el efecto climático de los forzamientos térmicos y a facilitar el desarrollo posterior de modelos aplicados a las proyecciones de cambio climático y modelos

aplicados a la simulación de los periodos glaciales e interglaciales.

Una de las tareas más desafiantes de la ciencia del clima es obtener una estimación fiable de la sensibilidad del clima, que se define como la respuesta de la temperatura superficial media global a un forzamiento térmico específico, dado un tiempo suficientemente largo (es decir, la respuesta de equilibrio). Las sensibilidades de los dos primeros modelos climáticos construidos en GFDL y NASA/GISS eran diferentes entre sí en un factor de aproximadamente dos y todavía persiste una diferencia igualmente grande entre las sensibilidades de los modelos climáticos actuales. Manabe fue uno de los primeros científicos en demostrar que la forma en que se parametrizaban las nubes tenía un gran efecto en la sensibilidad climática de un modelo. Esto sigue siendo cierto en todos los modelos climáticos actuales. La mejora de la modelización de los procesos de retroalimentación radiativa que controlan la sensibilidad del clima es una tarea urgente para reducir esta incertidumbre. Se dedica un capítulo entero a esta cuestión y se menciona la gran importancia de estimar la sensibilidad climática con otras fuentes además de los modelos, como, por ejemplo, estudiando la respuesta climática, en forma de un enfriamiento global temporal, a las erupciones volcánicas o bien utilizando datos geológicos del pasado.

A principios de la década de 1970, se celebró una reunión en el GFDL para explorar la posible colaboración entre modelizadores del clima y paleoclimatólogos. En esa época, un grupo de científicos de la Tierra había emprendido un ambicioso proyecto, el proyecto CLIMAP, para reconstruir el estado de la superficie de la Tierra en el último máximo glacial, que ocurrió hace aproximadamente 21 000 años. Un capítulo del libro se centra en la comparación de las reconstrucciones del clima generadas en el proyecto CLIMAP con simulaciones climáticas. Para ello, se empezaron a utilizar modelos bien con condiciones de superficiales prescritas o con un océano que se limitaba a la capa de mezcla. Con la ayuda de estos modelos un poco más complejos, se hicieron diversos tipos de simulaciones del último máximo glacial, se analizaron las retroalimentaciones relevantes y se hicieron nuevas estimaciones de la sensibilidad de estas nuevas versiones de los modelos. En este capítulo se describe el trabajo de Manabe y Broccoli, a mediados de la década de 1980, en el que determinaron que el modelo GFDL tenía una sensibilidad climática de

3.2 °C. Los autores especulan en el libro que esa cifra está cerca de la sensibilidad real del clima de la Tierra.

Hasta principios de la década de 1980, como se analiza en otro capítulo del libro, se comenzó a analizar la respuesta transitoria del clima a un aumento gradual en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> utilizando modelos acoplados atmósfera-océano-tierra. Estos modelos ya incluían un módulo para simular las capas profundas del océano, y no solamente la capa de mezcla superficial. En el caso del GFDL se utilizó el modelo de circulación general oceánica que Kirk Bryan había desarrollado durante la década de 1970. Estos modelos acoplados permitieron entender el diferente comportamiento de los dos casquetes polares frente a los forzamientos y la relevancia de la circulación oceánica global para entender la diferente capacidad calorífica de las regiones oceánicas. También permitieron entender el papel del océano profundo en la respuesta de equilibrio del clima, dado un tiempo suficientemente largo para que el clima se ajuste, cuando se incorpora a los modelos el intercambio de calor entre las capas oceánicas superficiales y profundas.

El libro concluye con un capítulo final sobre el cambio global en la disponibilidad de agua. Se discuten los cambios en la distribución espacial de evaporación y precipitación que dan lugar cambios en la humedad del suelo y la escorrentía, incluyendo una reducción de ambas en muchas zonas áridas y semiáridas y una amplificación de las diferencias existentes en cuanto a disponibilidad de agua entre las zonas con escasez y con suficiente agua.

En definitiva, este muy recomendable libro documenta exhaustivamente la carrera científica de Manabe en paralelo con los avances en la modelización del clima de la que él fue uno de sus principales protagonistas. Siguiendo un orden histórico desde finales del siglo XIX, cuando Arrhenius realizó su estudio pionero, se presentan y analizan una jerarquía de modelos climáticos con una complejidad creciente, como modelos de balance energético, modelos 1D de tipo radiativo-convectivo y diferentes versiones de modelos 3D acoplados atmósfera-océano-tierra. Todos estos modelos han permitido, junto a los avances en la observación satelitaria, comprender mejor la respuesta climática a los diferentes forzamientos externos y los secretos del cambio climático, tal y como reza el título del libro.

ERNESTO RODRÍGUEZ CAMINO

## Cambio climático en España

**ROBERTO SERRANO-NOTIVOLI, JORGE OLCINA CANTOS Y JAVIER MARTÍN-VIDE (COORDINADORES)**, 2024. EDITORIAL TIRANT LO BLANCH, 836 PÁGINAS, PRECIO: 49,90 €, ISBN-10: 8411837270, ISBN-13: 978-8411837279.

El presente libro está concebido como un manual para la enseñanza y el estudio del cambio climático en España, y viene a cubrir un hueco en la bibliografía en español. Presenta contenidos que están cada vez más presentes en los programas docentes de todos los niveles de la enseñanza, desde los básicos hasta el universitario. El texto abarca no solamente los aspectos relacionados con las bases físicas del cambio climático sino también muchos otros aspectos de un problema tan multidimensional cuyos efectos ecológicos, económicos, sociales y culturales van a condicionar las políticas públicas y las acciones ciudadanas a lo largo de este siglo. Los coordinadores han reunido a especialistas en cada campo para tratar de manera rigurosa los diferentes aspectos de los que consta la obra.

El libro está estructurado en 26 capítulos agrupados en 3 bloques: i) fundamentos científicos; ii) impactos, mitigación y adaptación; iii) dimensión política, social y cultural. Además hay un capítulo introductorio en el que se presentan algunos conceptos básicos tales como tiempo versus clima, el sistema climático, variabilidad versus cambio climáticos, etc.

El primer bloque, dedicado a los fundamentos científicos del cambio climático, incluye tanto capítulos con un contenido que desarrollan las bases físicas teóricas del clima como otros que proporcionan información específica sobre España. Entre los primeros están los dedicados a las observaciones instrumentales y a la reconstrucción de climas pasados, al balance energético planetario y a los modelos climáticos, incluyendo este último unas consideraciones interesantes sobre qué es un modelo y cuál es su utilidad. Entre los segundos están los dedicados a la evolución observada y proyectada para España en diferentes variables climáticas: temperatura, precipitación, nieve/glaciares, viento y variables oceánicas (temperatura, salinidad, nivel del mar).

El segundo bloque dedicado principalmente a los impactos del cambio climático en ecosistemas y sectores de actividad también incluye algunos capítulos (o partes de capítulos) que tratan sobre adaptación y mitigación. El capítulo dedicado a los impactos en la biodiversidad desarrolla especialmente las afec-

ciones observadas y previstas sobre la fauna en España. Hay tres capítulos dedicados a la relación e impacto entre el cambio climático y la desertificación, los recursos hídricos y los incendios forestales con introducciones y consideraciones de tipo general o metodológico y algunos subcapítulos detallando la situación en España. Otro capítulo dedicado a los impactos en la salud humana se centra en los episodios de temperaturas extremas y en la contaminación del aire, si bien en este último caso la relación con el cambio climático puede ser muy indirecta. El capítulo dedicado a los impactos y adaptación en la agricultura destaca la importancia de este sector en España y la relación de este sector con la alimentación y la salud. En cuanto a la adaptación, ejemplifica

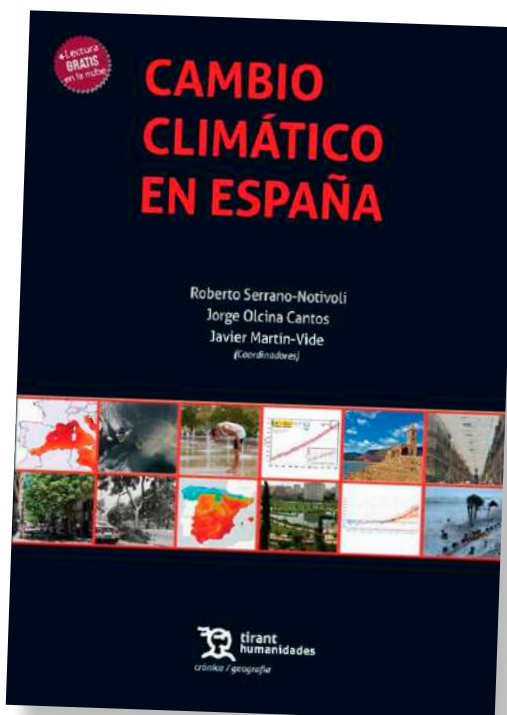
fuente muy relevante de emisiones, tienen un capítulo dedicado. El resto de los capítulos de este bloque tratan esencialmente de temas relacionados con el futuro, con la necesaria transición energética, hídrica y de planificación del territorio.

El tercer bloque sobre aspectos sociales, políticos y culturales del cambio climático incluye un capítulo relativo al IPCC y otros informes relevantes de distintas instituciones, otro sobre pautas para una correcta comunicación y otro sobre la integración del estudio del cambio climático en el ámbito educativo español con propuestas didácticas. Finalmente, hay un capítulo en este bloque sobre política y políticas públicas en relación con la emergencia climática donde se analiza la complejidad del gobierno de un estado compuesto y otras cuestiones como el contexto de polarización política, la desinformación, etc.

El libro incluye un epílogo firmado por los tres coordinadores con un resumen de las principales conclusiones de los tres bloques arriba enumerados y con una interesante propuesta de hoja de ruta que desarrolla los siguientes puntos: i) información y datos actualizados constantemente, ii) planificación del agua en un escenario de precipitaciones irregulares, iii) movilidad sostenible no dependiente de los combustibles fósiles, iv) cambios en las actividades económicas, v) ordenación de los territorios en el nuevo contexto climático, vi) gestión de emergencias adaptada al cambio climático, vii) investigación, viii) educación, ix) comunicación sin alarmismo innecesario y x) políticas frente al cambio climático sin vuelta atrás.

En definitiva, se trata de un libro voluminoso que permite la lectura independiente de los diferentes capítulos, centrada en los aspectos que más puedan interesar al lector en un determinado momento. Al tratarse de un texto académico, viene complementado con una extensa bibliografía que permite profundizar en los diferentes aspectos que se tratan en este manual. La cantidad y diversidad de especialistas que contribuyen en esta obra garantiza que los temas tratados son desarrollados por expertos en los capítulos asignados si bien es a costa de la uniformidad de estilo y de profundidad que se consigue cuando hay un único o unos pocos autores.

**ERNESTO RODRÍGUEZ CAMINO**



con el caso del sector vitivinícola algunas posibles estrategias. Hay un capítulo dedicado a la industria y movilidad que incluye, además de cuestiones relativas a impactos y adaptación, su importancia en la mitigación del cambio climático. No podía faltar un capítulo dedicado al turismo, dada la importancia de este sector en la economía española, incluyendo los aspectos de adaptación y el dilema de la mitigación. Las ciudades que cada vez albergan un porcentaje mayor de la población, que son los principales consumidores de energía y a su vez una

## NOVEDADES EDITORIALES DE LA AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET)

MIGUEL ÁNGEL GARCÍA COUTO

## Calendario meteorológico 2025

**AEMET (2024). 303 PÁGS. PVP: 6,00 € (VERSIÓN EN LÍNEA GRATUITA EN [WWW.AEMET.ES](http://WWW.AEMET.ES))**

**E**dición 83 de la publicación más emblemática de AEMET: el compendio anual de la meteorología y climatología en España que se edita sin interrupción desde 1943. Como en los últimos años, se mantiene la doble edición en papel y en línea a través de la web de AEMET.

El hilo conductor entre las diferentes secciones de esta edición del Calendario es la fenología. Con textos de Javier Cano y fotografías del propio Javier y de su hijo Carlos, tanto las cubiertas de la publicación como las páginas iniciales de presentación de cada sección incluyen información acerca de algunas especies fenológicas animales y vegetales que son objeto de estudios relacionados con el cambio climático.

Tras el calendario de fiestas de 2025, la publicación se inicia con información relativa a la celebración del Día Meteorológico Mundial de 2024 en AEMET y los premios a la colaboración que entregó la Agencia aprovechando el citado evento. Como colofón a ese apartado, esta edición del Calendario incluye además una breve reseña del homenaje impulsado por AEMET que la ciudad de Zamora le ofreció a la figura del ilustre meteorólogo Francisco Morán, padre de la física del aire española, con el descubrimiento de una placa en su casa natal de la capital zamorana.

A continuación se suceden en la publicación las nueve secciones habituales. Las primeras de ellas, «Calendario» y «Datos astronómicos», contienen la información que el Observatorio Astronómico Nacional facilita habitualmente sobre ortos y ocasos del Sol y la Luna, eclipses, fases lunares, almanaques



cristiano, musulmán y judío, etc.

La sección siguiente, «Climatología», la más extensa junto a la de «Colaboraciones», incluye el estudio de los caracteres climáticos de España durante el año agrícola 2023-2024, con datos mensuales de temperatura y precipitación y su comparación con los valores climatológicos normales, mapas y tablas de datos climáticos, efemérides mensuales, estudio de las olas de calor y de frío, etc. para las estaciones climatológicas de la red principal de AEMET. Del citado estudio se desprende que el año agrícola 2023-2024 ha sido en conjunto húmedo y extremadamente cálido.

A la sección anterior le suceden las de

«Fenología», con información agrometeorológica y fenológica del año agrícola 2023-2024 que esta edición incluye un estudio específico de la golondrina común; «Hidrometeorología», con información sobre el agua precipitada en la España peninsular, el balance hídrico y las precipitaciones en el último año agrícola, incluida la variación anual de los embalses; «Medioambiente», con información sobre la red española de vigilancia de la composición química de la atmósfera a escala regional y datos de 2023; «Radiación solar», con datos de radiación y medidas de ozono en columna en España durante el pasado año agrícola; y «Descargas eléctricas», con mapas de la electricidad atmosférica registrada en España en el año agrícola 2023-2024.

La sección siguiente, la polifacética de «Colaboraciones», cuenta en esta edición con diez artículos que abordan los siguientes temas: la astronomía y los planetas enanos; la observación del tiempo para personas ciegas; la evolución de la predicción meteorológica hacia los servicios climáticos; la corriente en chorro y su descubridor Wasaburo Oishi; la inversión térmica; la desinformación meteorológica en el contexto de las noticias falsas; la fenología del almendro; las olas de calor en Canarias; Arcimis, el repositorio institucional de AEMET; y la figura de Walter Findeisen, uno de los padres de la microfísica de nubes.

Los anexos con la relación de estaciones utilizadas a lo largo del libro, las borrascas de gran impacto registradas durante la temporada y la lista de siglas, acrónimos y abreviaturas ponen el punto y final a la publicación.

## Publicaciones electrónicas de AEMET

**AEMET (2024). Más información, en la web de AEMET ([www.aemet.es](http://www.aemet.es), «publicaciones en línea»), desde donde pueden descargarse gratuitamente.**

**E**ntre las últimas publicaciones electrónicas editadas por AEMET en su web pueden destacarse las siguientes:

● **Mapas climáticos de España (1991-2020) y ETo (1996-2020)**, de Andrés Chazarra y otros autores (116 pp.). Actualización al periodo reseñado de la obra

homónima editada años atrás pero referida entonces al periodo 1981-2010 para los mapas climáticos y al periodo 1996-2016 para la evapotranspiración potencial de referencia (ETo). Los elementos climáticos considerados en esta nueva edición han sido la temperatura del aire,

la precipitación, el número medio anual de días de nieve, la insolación y la ETo.

● **Publicaciones del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI)**. En 2024 AEMET ha publicado el «Informe de actividades 2021-2022» del CIAI (en inglés).

### Guía básica de meteorología

JAVIER CANO SÁNCHEZ  
AEMET (2024). 520 PP. PVP: 20,00 €

AEMET ha publicado en 2024 esta guía que, sin duda, se convertirá en una obra de referencia en su ámbito de estudio. La publicación se divide en cuatro partes (La atmósfera, Procesos atmosféricos y condensación, Observación del tiempo y predicción, y Climatología) y dieciséis capítulos, que recogen una buena recopilación de temas desarrollados y completos, con definiciones claras. Las numerosas ilustraciones del libro y la ausencia de formulaciones matemáticas complejas propias de otros tratados de meteorología más especializados dan una visión de conjunto sobre la meteorología y la climatología y facilitan su lectura. La guía contiene además numerosos cuadros explicativos distribuidos por todo el texto que permiten una consulta rápida de los temas abordados en ellos.

Este libro es útil especialmente para quienes por su profesión o por su dedicación están interesados por el tiempo atmosférico, como estudiantes y aficionados en general, y profesionales de la observación meteorológica en particular. Pero la guía también puede constituir una primera inmersión en la meteorología y climatología para el lector menos iniciado en la materia.

El autor ha desarrollado toda su vida profesional en el campo de la meteorología y la climatología, primero en el Instituto Nacional de Meteorología y después en la Agencia Estatal de Meteorología. Su entusiasmo por estas disciplinas comenzó desde muy joven como aficionado y ha combinado su profesión con la fenología, llevando a cabo el seguimiento de numerosas especies de plantas y animales pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos. Como con-



servacionista y estudioso de la flora y fauna ibéricas le preocupa las consecuencias que puede tener el cambio climático sobre la biodiversidad.

### CAMBIO CLIMÁTICO Y SOCIEDAD: DE LA CIENCIA BÁSICA A LOS SERVICIOS CLIMÁTICOS

Editores:  
M. Y. Luna  
F. González-Rouco



### Cambio climático y sociedad: de la ciencia básica a los servicios climáticos

M. Y. LUNA Y F. GONZÁLEZ-ROUCO (EDS.)  
AEMET Y AEC (2024). VIII + 419 PP. PVP: 25,00 €

Coedición entre AEMET y la Asociación Española de Climatología (AEC) del XIII Congreso de la AEC celebrado en San Lorenzo de El Escorial del 22 al 24 de enero de 2025.

A lo largo de sus más de cuatrocientas páginas este libro recoge 39 comunicaciones científicas presentadas en el citado Congreso, estructuradas en cuatro ponencias: Modelos y escenarios climáticos; Variabilidad climática y extremos; Servicios climáticos; y Vulnerabilidad social al cambio climático.

### Material divulgativo «Medina»

AEMET (2024). Más información, en la web del Grupo Medina de AEMET (<https://medina.aemet.es/>), con opción de descarga gratuita de publicaciones.

Entre el material divulgativo editado por AEMET en 2024 destaca el siguiente:

- Folleto: dípticos «El efecto invernadero», «La atmósfera» y «Trabajar en AEMET». Editados todos ellos en papel, con una extensión de 4 páginas cada uno, versiones electrónicas disponibles en la web de Medina).

# Memoria y restos de Augusto Arcimis: Propuestas para su conservación

ANTONIO CABAÑAS CÁMARA

En el transcurso de las pasadas XXXVI Jornadas de la Asociación Meteorológica Española (AME) y XXII Encuentro Hispano-Luso de Meteorología, celebrados entre los días 13 al 15 de marzo de 2024 en Cádiz y San Fernando, tuvo lugar un acto homenaje para recuperar la memoria de Augusto Teodoro Arcimis Werle, el ilustre gaditano que fue el primer director del Instituto Central Meteorológico, ICM, institución creada por Real Decreto de 11 de agosto de 1887 y que hoy en día es la Agencia Estatal Meteorológica de España (AEMET).

El homenaje a Augusto Arcimis (al que asistieron entre otros el alcalde de Cádiz, Bruno García; la concejala de Cultura, Maite González; la presidenta de AEMET, María José Rallo; el presidente honorífico de la AME José Antonio Maldonado y el presidente de la AME, Ernesto Rodríguez Camino) tuvo lugar el día 13 de marzo de 2024 en el Salón de Plenos del Ayuntamiento de Cádiz y se llevó a cabo a través de las conferencias de Manuel Palomares y Antonio Cabañas (publicadas en la revista y boletín de la AME, *Tiempo y Clima*, nº 84 de abril de 2024).

Una de las propuestas que en el desarrollo de las citadas conferencias se dirigió al Alcalde del consistorio gaditano y a la Presidenta de AEMET fue que, tanto en Cádiz como en Madrid, se instalara una estatua o busto de Augusto Arcimis, preferentemente en la plaza de Mina, donde vivió Arcimis, y en el Castillo del Retiro, sede primitiva del ICM, recientemente rehabilitado..

Pasado el año 2024 sin que haya habido respuesta, ni se haya dado ningún paso para hacer realidad tan interesante proposición, creo que se debería reiterar la solicitud tanto al Ayuntamiento de Cádiz, como a AEMET, y promover que otras instituciones sociales, científicas y meteorológicas de Cádiz y Madrid, se sumen a la iniciativa para hacer realidad esas efigies de Augusto Arcimis.

Por otra parte, en las investigaciones llevadas a cabo por el que suscribe para conformar la futura biografía Arcimis, se

ha producido el hallazgo de los restos mortales del que fuera el primer director del ICM. Augusto Arcimis falleció el 18 de abril de 1910 y fue enterrado el día siguiente en el cementerio de la Alameda de Madrid. En el año 2010, después de cien años de su enterramiento y sin que nadie se haya hecho cargo de la sepultura, se llevó a cabo, como mandan las normas, la exhumación de los restos del difunto y se trasladaron al depósito general de dicho cementerio a la espera de que sean reclamados o en su defecto, pasado un tiempo, inhumados en una fosa común.

Debemos de recordar una vez más que Augusto Teodoro Arcimis Werle compa-

En 1884 se trasladó a Madrid (por iniciativa Giner de los Ríos) donde se hizo cargo de las cátedras de Física y Astronomía de la Institución Libre de Enseñanza. Por oposición libre consiguió en 1888 el nombramiento de director del ICM. Durante los siguientes veintidós años consolidó la meteorología institucional española, la prognosis meteorológica nacional (a través del *Boletín Meteorológico* del ICM) y el Observatorio Meteorológico del Retiro, cuya serie climatológica es la segunda más antigua de la red meteorológica estatal.

Atendiendo a los grandes méritos científicos e institucionales de este singular y erudito gaditano, parece de justicia que sus restos sean recuperados urgentemente, antes de que desaparezcan desvanecidos en la nada de una fosa común, y sean colocados en un lugar honorable que restablezcan su dignidad y su memoria. La sensibilidad histórica y patrimonial, tanto de AEMET como del Ayuntamiento de Cádiz, debería motivarles para hacerse cargo de los restos humanos de Augusto Arcimis.

Hay que recordar que un caso similar se produjo en el año 2024 con el programa "Benot regresa a Cádiz". Los restos del insigne gaditano Eduardo Benot Rodríguez depositados desde su fallecimiento en el año 1907 en el cementerio Civil de Madrid, estaban en peligro debido al mal estado de su sepultura. En esta memorable ocasión el Ayuntamiento de Cádiz, junto con la empresa pública Cementerio Mancomunado de Bahía de Cádiz, se hizo cargo de la exhumación de sus restos (16 de febrero de 2024), los trasladó a

Cádiz y, tras ofrecer distintos actos de homenaje al ilustre personaje, los restos se inhumaron el día 23 de febrero en el cementerio de la Bahía de Cádiz.

Parece lógico, razonable y de justicia que Augusto Teodoro Arcimis Werle, precursor de la meteorología institucional española y alumno aventajado del gran maestro y director del Colegio San Felipe Neri de Cádiz, Eduardo Benot, tuviera el mismo trato y destino que su venerado profesor.



Conferencia de Antonio Cabañas en el Ayuntamiento de Cádiz durante el homenaje a Augusto Arcimis

ginó numerosas actividades científicas, culturales y empresariales en Cádiz. En la década de 1870 fue el astrónomo más popular de España publicando numerosos artículos en los principales periódicos locales y nacionales, además de en numerosas revistas científicas internacionales. Participó en la construcción del teatro Falla, fue secretario de la Academia de Instituciones de Cádiz, intervino en la traída de aguas a Cádiz y fue inversor y director de las obras de ampliación del puerto.



Autor de la foto:  
Álvaro García-Rosales

## La Cumbre del Clima de Bakú clave para el éxito de la Cumbre de Belém

Tras más de dos semanas de negociación, la Cumbre del Clima de Bakú (COP29) concluyó con un acuerdo positivo que refleja la **capacidad del proceso multilateral de lucha contra el cambio climático de alcanzar consensos en contextos muy complejos**. Y demuestra, de nuevo, cómo estos consensos son la mejor respuesta ante los grandes retos globales que afectan a los ciudadanos de todo el mundo.

El contexto bélico internacional y la elección de una Administración Trump 2.0 en Estados Unidos no eran el mejor telón de fondo de una Cumbre climática. Argentina tampoco facilitó mucho las cosas al abandonar la COP en sus primeros días y el propio presidente de Azerbaiyán tampoco parecía muy convencido del objetivo último de este encuentro cuando declaró que el petróleo y el gas eran un “regalo de Dios”.

Pese a todo, la voluntad de acuerdo se puso de manifiesto con un **acuerdo centrado en un nuevo objetivo de financiación climática internacional**. Un objetivo que, si bien es una extensión del compromiso actual de los países desarrollados de movilizar, anualmente, entre 2021 y 2025, 100 000 millones de dólares, supone un cambio de enfoque. Por primera vez, los países del norte y del sur se sientan alrededor de una nueva agenda que supone un cambio de fase en la financiación cli-

mática internacional con dos características especialmente significativas: se unen más contribuyentes al objetivo y la financiación pública se centra en la adaptación (evitar y reducir riesgos).

El acuerdo alcanzado incluye dos grandes números:

- ✓ Se acuerda un objetivo aspiracional de alcanzar en **2035 1.3 billones de dólares**. Esta cifra se tiene que conseguir entre todos los actores, públicos y privados, y tiene que dirigirse, exclusivamente, a los países en desarrollo.

- ✓ Los **países desarrollados** ratifican su voluntad de **continuar liderando** y contribuir con un aumento de su financiación pública. Este aumento consiste, tal y como establecía París, en dar **continuidad al actual objetivo de movilizar 100 000 millones de dólares**. En Bakú se acuerda **triplicar esta cantidad para el año 2035 hasta, al menos, los 300 000 millones de dólares**. Un objetivo que es,

por sí solo, claramente insuficiente, pero que da una señal inequívoca de liderazgo de los países desarrollados que no olvidan sus compromisos en el contexto del Acuerdo de París. Una parte importante de los recursos públicos para cumplir con este objetivo se deben canalizar a través de los fondos climáticos de la Convención (Fondo para el Medio Ambiente Mundial, Fondo Verde para el Clima, Fondo de Respuesta ante Pérdidas y Daños, Fondo de Adaptación, Fondo para los Países Menos Desarrollados y Fondo Especial de Cambio Climático) de manera que en 2030 se tripliquen los desembolsos de estos respecto a los de 2022.

Quizá una de las grandes novedades de esta COP ha sido que se ha conseguido ir más allá en el **debate sobre qué países deben contribuir a los esfuerzos financieros**. Hasta ahora, los países considerados como donantes tradicionales eran los países desarrollados tal y como establece

la Convención del Clima del año 1992. Para la Unión Europea y muchos otros países desarrollados, esta clasificación estaba ya obsoleta y era necesario repensar las contribuciones de unos y otros en un contexto en el que las capacidades económicas y responsabilidades en términos de emisiones han cambiado mucho desde entonces.

En Bakú se ha conseguido que **otros países, más allá de los donantes tradicionales, den un paso adelante** y muestren su intención de contribuir a la financiación climática. Es un hito importante que refleja una **mayor solidaridad internacional y que permite repartir el esfuerzo financiero** entre más países. De esta manera, la cooperación sur-sur y la financiación a través de los bancos multilaterales de desarrollo se sumarán también a este compromiso de manera voluntaria.

Pero **lo conseguido en Bakú va más allá de los números** en sí. Quizá el aspecto que podría tener un mayor impacto a la hora de movilizar recursos a gran escala, como requiere la emergencia climática, es **la llamada a las instituciones financieras internacionales y al sector privado**, todos ellos actores fuera del contexto de la Convención de Clima, a **acometer reformas y repensar la manera que tienen de financiar** en un contexto de cambio climático.

La decisión del nuevo objetivo de financiación hace múltiples llamamientos y proporciona directrices para llevar a cabo reformas que permitan **abordar barreras en el acceso** a financiación identificadas por los países en desarrollo: mejoras en el acceso a financiación (tanto de Bancos Multilaterales de Desarrollo y fondos climáticos como bilateral), uso de instrumentos que **mitiguen los problemas de sostenibilidad de la deuda** (canjes de deuda, cláusulas suspensivas...) y/o permitan **reducir el coste de la financiación**, entre otras cuestiones.

También se recogen medidas, como pedían los países en desarrollo, para **aumentar movilización de financiación privada y crear espacio fiscal** a través de instrumentos innovadores como las garantías o financiación en divisas locales. Y se lanza un mensaje para trabajar en

fuentes innovadoras. Una cuestión especialmente relevante para España que durante la Cumbre de Bakú defendió el establecimiento de una *Global Solidarity Levy* como herramienta innovadora con la que movilizar más recursos.

De este modo, se vuelve a aprovechar el papel de la Convención de Clima como pepito grillo de otros foros que, si bien no están bajo su área directa de influencia, van a tener un papel imprescindible a la hora de facilitar la transición a un modelo global sin emisiones, justo y resiliente.

Además, en Bakú se consiguió cerrar el último elemento pendiente de desarrollo del Acuerdo de París: las reglas de funcionamiento de los **mercados internacionales de carbono**. Es una pieza fundamental que no solo va a permitir amplificar la ambición climática a mayor escala, sino que va a poner a disposición

países que no solo no querían avanzar en la agenda de género e igualdad, sino que buscaban dar marcha atrás, finalmente se ha conseguido renovar el reconocimiento de la importancia vital de la agenda de género, de la participación significativa e igual de las mujeres y el papel del liderazgo femenino tanto en el proceso climático como a nivel nacional/local para conseguir los objetivos a largo plazo en materia de clima. Aspectos que si bien para algunos son obvios y ya aceptados, otros han tratado de borrarlos del contexto climático.

Pero la **gran decepción ha venido de la mano de la agenda de la mitigación**, donde no ha sido posible avanzar ni poner en marcha los acuerdos en materia de energía adoptados en la Cumbre de Dubái en 2023 cuando la comunidad internacional en su conjunto se comprometió a eliminar los combustibles fósiles y a



Fuente: Flickr de la Convención de Clima

de los países nuevos instrumentos de financiación para luchar contra el cambio climático. Los textos acordados en la COP responden, además, a algunos de los principios clave que ha estado defendiendo la Unión Europea, como son la ambición, la transparencia y la integridad ambiental en el funcionamiento de estos mercados.

Y quizá uno de los temas que merece ponerse en valor es el consenso alcanzado en materia de **política climática y género**. En 2024 concluía el mandato para trabajar en género y cambio climático en la Convención de Clima y era necesario renovar el trabajo con vistas a acordar un plan de acción con actividades concretas en Belém en 2025. En una negociación compleja, que fue objeto de ataques de

sustituírlos por energías renovables y eficiencia energética. Este objetivo, prioridad para la Unión Europea y de los países más progresistas, se encontró con un rechazo frontal de un conjunto de economías que quieren hacer oídos sordos a los consensos alcanzados en 2023 sin los cuales el objetivo de limitar el calentamiento global a 1.5 °C está en peligro. Tampoco ha sido posible llegar a acuerdo en materia de transición justa, quizá la agenda más centrada en las personas de Bakú, por la oposición de los mismos países a mencionar el papel de los combustibles fósiles en la emergencia climática.

## ¿Qué esperar de 2025?

El año 2025 será un momento cru-

**cial para avanzar en la cooperación y la ambición climática.** En un momento en el que el enfoque está ya cambiando de la fijación de objetivos a la implementación, la Cumbre de Belém (COP30) en Brasil va a ser fundamental. Y Brasil, como presidencia de la COP30, debe establecer una agenda transformadora que refleje la urgencia de la crisis climática.

El principal centro de atención debe estar en la **presentación de nuevas Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional** (NDC por sus siglas en inglés) o planes de lucha contra el cambio climático ambiciosos y alineados con el objetivo de mantener el calentamiento global por debajo de 1.5 °C. Hasta ahora, países como Brasil, Emiratos Árabes Unidos, Estados Unidos o Canadá, entre otros han presentado las suyas. Es fundamental que las próximas NDC establezcan una ambición climática suficiente que sirva de ejemplo para que los demás países, sobre todo las grandes economías del G20, den un paso adelante alineado con la ciencia. La Unión Europea debe mantener su liderazgo y presentar, lo antes posible, una NDC ambiciosa y en línea

con su compromiso con la neutralidad climática en 2050 como tarde.

Además, **la agenda de la financiación debe continuar avanzando**, tanto dentro del proceso de la Convención de Clima como en los foros en ámbitos como el Banco Mundial o el Fondo Monetario Internacional y otras instituciones financieras internacionales con capacidad de influir en la movilización de financiación a gran escala. Brasil, de nuevo, puede jugar un papel clave en ámbitos en los que ya ha trabajado en 2024 en el contexto de su presidencia del G20 como puede ser la reforma del sistema financiero internacional o el debate sobre fuentes innovadoras de financiación en donde consiguieron llegar a un acuerdo sobre el establecimiento de impuestos a los superricos. La Cumbre de Sevilla sobre financiación para el desarrollo sostenible, a finales de junio/principios de julio de 2025, puede ayudar también a avanzar en este debate.

Y la **adaptación debe ocupar el espacio que se merece** en un contexto en el que los impactos del cambio climático se están acelerando todo el mundo. El Programa de Trabajo UAE-Belém sobre indi-

cadores para adaptación debe concluir su mandato en Brasil con la identificación de un conjunto de indicadores globales que sean útiles para que los países puedan medir mejor los avances en materia de adaptación. Es necesario, además, liderar coaliciones que aseguren que la **adaptación ascienda en la agenda política y reciba la atención necesaria.**

Para garantizar el éxito de la COP30, va a ser necesario, además, **sumar esfuerzos y construir apoyo entre todos los foros y socios.** El G7, presidido por Canadá, y el G20, presidido por Sudáfrica, tienen una especial responsabilidad y deben priorizar la acción y la ambición climática en las NDC, avances en materia de financiación y progresos visibles en la transición energética. Los líderes deben impulsar el progreso y asegurar que la acción climática sigue siendo una prioridad en una agenda compleja con prioridades y urgencias que compiten entre sí. Estos líderes deben entender que la agenda climática, la descarbonización de las economías, y la competitividad y el crecimiento van de la mano.

VERA ESTEFANÍA GONZÁLEZ  
OFICINA ESPAÑOLA DE CAMBIO CLIMÁTICO

## PRÓXIMAS CITAS

### FEBRERO – NOVIEMBRE 2025

IMPORTANTE: la mayoría de estas conferencias admiten participación presencial y en línea

**24 – 26 marzo, Vila Real, PORTUGAL**  
- 13º Simpósio de Meteorologia e Geofísica de la Asociación Portuguesa de Meteorología (APMG) y 23º Encontro Luso-Espanhol de Meteorologia organizado por la Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD)  
- [APMG2025](#)

**10 – 11 abril, solamente a distancia por ZOOM**  
- 4ª Conferencia MeteoXchange 2025. Conferencia virtual para jóvenes científicos o en carrera inicial. Inscripción totalmente gratuita  
- [4th MeteoXchange conference 2025 - MeteoXchange](#)

**27 abril – 2 mayo 2025, Viena, AUSTRIA**  
- Asamblea de la Unión de Geociencias de Europa (EGU 2025)  
- <https://www.egu25.eu/>

**27 de mayo - 31 de julio, Lisboa, PORTUGAL**  
- Exposición del Instituto Português de Meteorología y Geofísica (IPMA, junto al aeropuerto de Lisboa): "O Tempo de Abril, 50 Anos Depois"  
- [APMG](#)

**2 – 5 junio, Padua, ITALIA**  
- 8th International Conference Energy & Meteorology, ICEM 2025  
- <https://www.wemcouncil.org/wp/icem2025/>

**17- 20 junio, Turín, ITALIA**  
- 25th Symposium on Boundary Layers and Turbulence - <https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/meetings-events/ams-meetings/25th-symposium-on-boundary-layers-and-turbulence/>

**7 – 11 julio, Rotterdam, PAISES BAJOS** - 12th International Conference on Urban Climate ICUC12- [ICUC12 - Home](#)

**8 – 10 julio, CABO VERDE**  
- V Simpósio Ibero-Afro-Americano de Riscos 2025 en la Faculdade de Ciencias e Tecnologia da Universidade de Cabo Verde - [APMG](#)

**25 - 29 Agosto, Toronto, Ontario, CANADA**  
- 41st International Conference on Radar Meteorology - <https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/meetings-events/ams-meetings/41st-international-conference-on-radar-meteorology/>

**8 – 12 septiembre, Lubliana, ESLOVENIA**  
- Reunión anual de la Sociedad Meteorológica Europea 2025

**17 -21 noviembre, Utrecht, PAISES BAJOS**  
- 12th European Conference on Severe Storms - [ECSS2025 | European Severe Storms Laboratory](#)



## HAN COLABORADO TAMBIÉN...

Han colaborado también: José Ángel Núñez, Javier Martínez, Álvaro García-Rosales, Agustín Ferreiro Abelairas, Alberto Lunas Arias, Jesús Manzanéque Arteaga, Juan José Guidonet, Iñanol Zuaznabar, y el usuario Sinobas *Dinasquez*

**Título: "¡Por fin un *sprite*!"** Autor: Alberto Lunas Arias  
*Sprites* ("duendes") captados el 4 de septiembre de 2024 desde Belinchón, Cuenca, generados por un sistema tormentoso que se encontraba al sur de la provincia de Zaragoza, a unos 170 kilómetros de distancia del lugar desde donde se tomó la fotografía.

www.aemet.es



Mucho más que una predicción...