

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y BOLETÍN DE LA ASOCIACIÓN METEOROLÓGICA ESPAÑOLA



Tiempo y Clima

ABRIL 2025 N° 88



SUMARIO

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN METEOROLÓGICA ESPAÑOLA
ABRIL 2025 - NÚMERO 88 - QUINTA ETAPA

PRESENTACIÓN 3

ACTIVIDADES AME, [por Manuel Palomares y Fernando Bullón](#) 4

POLOS OPUESTOS: Extremos compuestos, [por Eduardo Zorita](#) 7

PERFILES: Francisco Javier López (Meteored), [por José Miguel Viñas](#)..... 8

Espanoles por el mundo de la meteorología: Sergi González, [por José Luis Sánchez](#) 11

Meteorología de las islas Canarias: El cielo de las islas Canarias y el anticiclón de las Azores, [por José María Sánchez-Laulhé](#)..... 14

Medio siglo del ECMWF. Parte 1: Del impulso político hasta el inicio de las operaciones, [por Ernesto Rodríguez Camino](#) 19

CRÓNICA DEL TIEMPO, [por Federico Franco, Andrés Chazarra, Ana Morata y Nuria Casabella](#)..... 26

FOTOGRAFÍA: Resumen de Meteo-reportaje 2025, Las fotos del invierno 32

LA IMAGEN DEL INVIERNO: 11 de febrero de 2025. Tornado en el litoral de Huelva , [por Carlos Manuel Jiménez Caveno](#) 36

Climatología: ¿“patito feo” o “piedra angular”? Series largas sintéticas para la obtención de índices climáticos y calibración de pronósticos, [por José Luis Camacho](#)..... 40

Meteorólogas en la sombra: rescatando a las pioneras invisibilizadas y su legado, [por Sabela Safiz](#) 44

NOTICIAS: El informe ESOTC de 2024; La inteligencia artificial se hace operativa en el ECMWF; El coste de la siniestralidad por las inundaciones de octubre estimado en unos 4500 millones de euros, [por Manuel Palomares](#) 49

REUNIONES Y CONGRESOS: XIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología; Próximas citas 52

LIBROS: *La Tierra transformada: el mundo desde el principio de los tiempos*, de Peter Frankopan, [por Ernesto Rodríguez Camino](#); *Weather Prediction*, de Roberto Buizza, [por Ernesto Rodríguez Camino](#); 53

IN MEMORIAM: Charles A. Doswell III, [por Climent Ramis](#)..... 57

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
Esteban Rodríguez Guisado

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 : **“Faro de Mutriku”** Autor: **José Miguel Romero Barco**
Fotografía realizada el 28 de enero de este año, en la localidad de Mutriku (Gipuzkoa), durante un día de mareas vivas y fuerte temporal costero debido al paso de la borrasca Ivo.

PRESENTACIÓN

Estimados lectores

El recién publicado Informe sobre el Clima Global en 2024 de Copernicus ha confirmado a 2024 como el año más cálido registrado y el primero en superar los 1.5 °C con respecto a los niveles preindustriales en la temperatura media anual global.

Estas altas temperaturas, sumadas al récord de vapor de agua atmosférico global anual, provocaron olas de calor y fuertes lluvias sin precedentes, causando sufrimiento a millones de personas. A medida que la atmósfera se calienta, puede retener más vapor de agua y, a su vez, el mayor contenido de vapor de agua amplifica aún más el calentamiento, un proceso conocido como «retroalimentación temperatura-vapor de agua». El aumento de humedad en la atmósfera también aumenta el potencial de lluvias extremas.

Las devastadoras tormentas e inundaciones que azotaron Europa el año pasado afectaron a 413 000 personas. El 30 % de la red fluvial europea sufrió inundaciones graves y el 12 % superó el umbral de inundación grave, causando 335 muertes en el continente, de las que unas 250 se produjeron en España, casi todas en las terribles inundaciones de la dana de finales de octubre.

Como consecuencia las aseguradoras están advirtiéndole de que la crisis climática está dejando al sistema financiero incapaz de operar, así, la aseguradora Zurich afirma que es “esencial” alcanzar el cero neto de emisiones para 2050, y un directivo de Allianz SE, ha declarado recientemente

que las políticas actuales provocarán un aumento de la temperatura global de entre 2.2 °C y 3.4 °C por encima de los niveles preindustriales y que el daño de un aumento de 3 °C será tan grave que los gobiernos no podrán ofrecer rescates financieros y será imposible adaptarse a muchos impactos climáticos (el coste de la siniestralidad por las inundaciones de octubre en España se estima en unos 4500 millones de euros; ver sección Noticias). En consecuencia, las aseguradoras no podrán ofrecer cobertura para muchos riesgos climáticos, lo que dará lugar a que otros muchos servicios financieros se vuelvan inviables, desde hipotecas hasta inversiones.

Las aguas que rodean la Península y Canarias siguen estando muy cálidas, lo que ha sido un importante factor para que en marzo la precipitación en el conjunto de España fuera 2.5 veces más alta de lo normal, lo que asegura sobradamente el agua para encarar nuestro periodo de monzón seco de verano, que volverá a ser muy cálido.

Este número, el 88 de la revista, muestra la diversidad de contenidos habitual; a destacar, la sección Fotografía, que muestra impresionantes fotografías del concurso Meteo-reportaje 2025, y la primera parte del artículo sobre el 50 aniversario del ECMWF, tan ligado a la evolución de la meteorología española en este medio siglo.

Espero que os guste.

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

Resonancias del pasado año y masa social

Tras la celebración de las Jornadas de la AME en Cádiz en marzo del año pasado y el acto para conmemorar los 60 años de la asociación en Madrid en noviembre, de los que dimos cuenta en pasados números de *Tiempo y Clima*, (TyC), todo apunta a que las actividad pública de la AME va a ser más reposada en 2025, aunque asegurarlo es aún prematuro. Por de pronto, en este primer trimestre se han hecho balances de situación sobre indicadores como la nómina de socios, que ha experimentado una ligera disminución sobre el año pasado. En la fecha de estas líneas la AME está integrada por 176 socios numerarios y 11 socios "protectores", término que se escogió en su día para quienes satisfacen una cuota reducida que les da derecho únicamente a recibir la revista TyC.

Encuesta de satisfacción a los socios circulada a final de 2024

En base a las respuestas, aunque solo llegaron las de un 14 % de los socios, la Junta Directiva ha preparado un informe que incluye las posibles medidas para favorecer el deseable incremento del número de socios, especialmente los más jóvenes. Este informe que ya ha sido discutido en la Junta Directiva, se remitirá también como documento de la próxima Asamblea.

Actividades de divulgación a través de videoconferencias.

De enero a marzo de 2025 han tenido lugar las siguientes:

- ✓ Aula Morán, 9 de enero: "Asimilación

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

- ✓ Libros y sus autores, 6 de febrero: "Cambio Climático en España". Por Roberto Serrano-Notivoli (Universidad de Zaragoza), Jorge Olcina Cantos (Universidad de Alicante) y Javier Martín Vide (Universidad de Barcelona).

- ✓ Aula Morán, 20 de febrero: "Cambios futuros a alta resolución en la humedad atmosférica: Implicaciones en el transporte de humedad en el Atlántico Norte". Por José Carlos Fernández Álvarez (Centro de Supercomputación de Galicia y Universidad de Vigo).

- ✓ Aula Morán, 6 de marzo: "El modo meridional del Atlántico: ¿la pieza clave para predecir el Niño Atlántico?" Por Marta Martín del Rey (Universidad Complutense de Madrid)

- ✓ Aula Morán, 21 de marzo: "Desentrañando la huella del cambio climático en los eventos extremos". Por David Barriopedro Cepero (Universidad Complutense de Madrid)

Página web, blog y actividades en redes sociales

Como ya se informó en el número de octubre de TyC, La AME lanzó en ese mes una nueva página web que ha representado un avance significativo en nuestra presencia digital. Se está observando ya una respuesta positiva, con la esperanza de alcanzar nuevamente el nivel de audiencia que disfrutamos en años anteriores, como las casi 500 000 visitas registradas en el año 2023. Mientras tanto, en los últimos

meses se está experimentando un notable crecimiento en los seguidores de la AME en las redes sociales abarcando todas nuestras plataformas sociales, incluyendo X (anteriormente conocido como Twitter), Facebook, Instagram, YouTube, LinkedIn y recientemente, Bluesky.

Nuestro sincero agradecimiento a los ponentes de las charlas y a los socios que colaboran desinteresadamente en su organización, así como los que trabajan para dotar de contenidos a la página web, al blog y a las redes sociales.

Sobre los concursos fotográficos y actividades asociadas, se informa en el apartado final de esta sección.

Protocolo de colaboración entre AEMET y la AME

Tras un largo período de consideración que ha durado más de un año se ha firmado por fin el protocolo de colaboración entre la Asociación Meteorológica Española y la Agencia Estatal de Meteorología en un acto formal que tuvo lugar el pasado 20 de marzo de 2025. El protocolo tiene por objeto promover la colaboración de ambas organizaciones en actividades que fomenten la difusión de información meteorológica y climatológica fidedigna.

Para alcanzar el objetivo propuesto se podrán desarrollar diversas actividades y acciones, que se enmarcarán en:

- ✓ actividades dirigidas a la difusión de la meteorología y la climatología.
- ✓ actividades educativas del estado actual de las ciencias atmosféricas y afines, así como de sus aplicaciones.

Más concretamente, la voluntad de colaborar se centra en:

- ✓ Promover la difusión de la meteorología en los ámbitos culturales, científicos, profesionales, medios de comunicación y redes sociales.
- ✓ Organización de conferencias, jornadas y seminarios de interés mutuo para ambas partes.
- ✓ Organización de actividades educativas y de divulgación sobre temas meteorológicos, climatológicos y de cambio climático.
- ✓ Participación conjunta en las actividades de las asociaciones internacionales meteorológicas de las que ambas organizaciones formen parte.

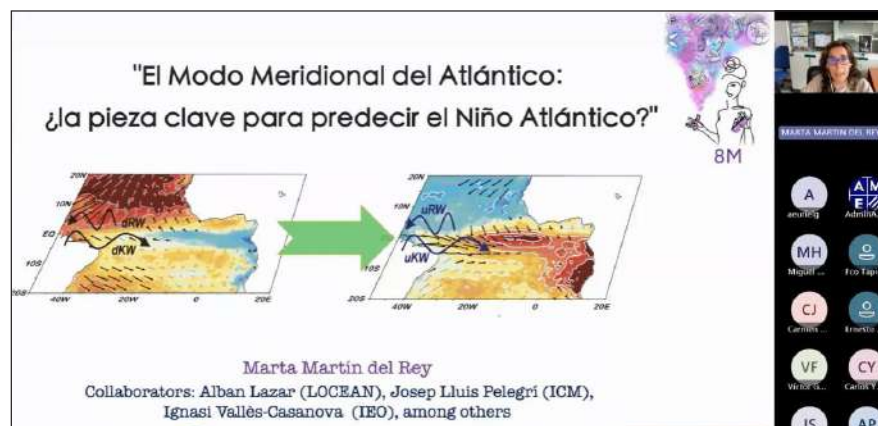


Imagen de pantalla durante la charla de Marta Martín del Rey en el Aula Morán, 6 de marzo

Concursos fotográficos

METEO-REPORTAJE 2025

El miércoles 2 de abril se publicaron a través de videoconferencia los resultados de este concurso, que contó con 31 participantes, y 29 reportajes admitidos, que han quedado expuestos en el álbum del concurso de la galería Fotometeo.

El reportaje ganador fue "Atmósfera" de Imanol Zuaznabar, que con este primer puesto ha conseguido ganar en tres de las quince ediciones celebradas de este concurso. El segundo puesto fue para "Cielos de ensueño" de David Mancebo y el tercero para "Fenómenos electroluminiscentes" de Alberto Lunas Arias.

Igualmente se presentaron los resultados del premio adicional "La foto del concurso", cuyo primer premio recayó en la fotografía "Doble arco de aurora en Stokksnes", de David Pérez Fernández, seguida de "Irrealidad vertical de pilares boreales", de José Miguel García García, y de "4 rayos", también de Alberto Lunas.

Estas tres fotografías, junto con las restantes nueve que completaron los doce primeros puestos de la clasificación de este premio, aparecen publicadas en la sección de fotografía de este número de TyC, en el artículo-resumen de esta edición del Meteo-reportaje.

METEOINVIERNO'2025:

El miércoles siguiente, 9 de abril de 2025 se publicaron, también en forma de "gala" a través de Teams, los resultados del MeteoInvierno'2025, concurso que contó con 37 participantes y 133 fotografías admitidas. Igualmente, todas ellas han quedado expuestas en el álbum correspondiente de la Galería Fotometeo, donde se pueden ver ordenadas por puntuación, empezando por las 50 que fueron seleccionadas para la votación del jurado.

En la gala se contó con la participación de Rubén del Campo, José Luis Escudero y Alfons Puertas, que comentaron ampliamente cada una de las 20 primeras fotografías clasificadas en el concurso. La grabación de este evento, igual que la de la gala del meteo-reportaje, han quedado subidas a Youtube, donde se pueden ver en diferido.

La fotografía ganadora del concurso fue "Aurora en Stokksnes" de Imanol Zuaznabar, y que podemos ver como foto del mes de enero en las páginas de foto-



Ernesto Rodríguez Camino, presidente de la AME y la presidenta de AEMET, María José Rallo del Olmo, durante la firma del protocolo de colaboración. Aparecen también Manuel Palomares, secretario de la AME y por AEMET Eroteida Sánchez, Alejandro Méndez y Rubén del Campo

Después de la firma se mantuvo la primera reunión de la comisión de seguimiento del protocolo que está integrado por el presidente y secretario de la AME y dos representantes de AEMET.

Jornadas de la Asociación Portuguesa de Meteorología y Geofísica y 23.º Encuentro Portugués-Español de Meteorología. Encuentro en 2026

Como es tradicional nuestra asociación hermana portuguesa organizó, en años alternativos con la AME, su simposio científico y el Encuentro hispano-luso de meteorología. En esta ocasión se celebró los días 24 a 26 de marzo en la Universidad de Trás os Montes e Alto Douro en la ciudad de Vila Real. La representación oficial de la AME se encomendó el presidente, Ernesto Rodríguez y el vicepresidente, José Luis Sánchez que se desplazaron a Vila Real en los días del simposio / encuentro.

En el año 2026 la organización de un nuevo encuentro corresponderá a la AME y la Junta Directiva está ya considerando fechas y opciones para la sede.

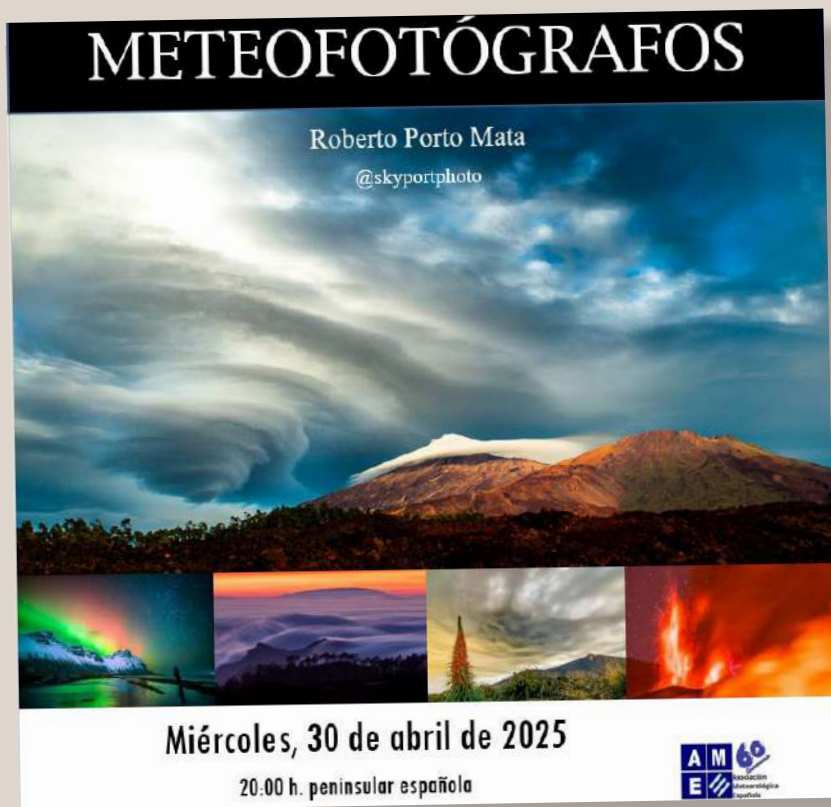
Próxima reunión de la Asamblea general de socios

De acuerdo a nuestros Estatutos se ha convocado por el presidente de la AME la Asamblea anual Ordinaria de socios que se celebrará por teleconferencia el martes 29 de abril a las 18:00 horas con duración máxima hasta las 21:00 y el siguiente orden del día provisional:

1. Bienvenida y aprobación del orden del día.
2. Aprobación del acta de la reunión anterior (mayo de 2024).
3. Memoria de actividades del año 2024 y primer trimestre de 2025. Aprobación de la gestión de la Junta Directiva.
4. Examen y aprobación de cuentas del ejercicio económico 2024.
5. Aprobación del programa de actividades y del presupuesto para 2025 incluyendo la actualización de cuotas de asociados.
6. Miscelánea:
 - 6.1 Resultados de la Encuesta a los socios realizada en diciembre de 2024.
 - 6.2 Tipología de socios: información sobre posibles cambios en las categorías, deberes y derechos de socios para proponer en una asamblea extraordinaria en otoño. Solo para discusión preliminar.
7. Ruegos y preguntas.

También de acuerdo a los Estatutos, los socios podrán solicitar cambios o añadidos a los asuntos a tratar en el orden del día que deberán ser discutidos y eventualmente aceptados al comienzo de la Asamblea. Los documentos pueden encontrarse en el espacio de la AME restringido a los socios <https://ame-web.org/la-ame/asambleas/>, que iremos completando en los próximos días.

A la espera de encontrarnos en línea el 29 de abril, se indica, no obstante, que se puede delegar por escrito el voto a otro socio utilizando la declaración del anexo 7, a enviar antes del 29 de abril a secretaria@ame-web.org con copia a presidente@ame-web.org.



→ grafía de este número de TyC. Como en dichas páginas se puede comprobar, se trata de una imagen sorprendentemente similar a la ganadora del premio “La foto del concurso” del Meteo-reportaje, ya que en ambas se contempla el mismo electrometeoro, captado desde el mismo lugar y con el mismo encuadre, si bien las dos fotos fueron tomadas por autores diferentes y con varios meses de diferencia entre una y la otra. Al igual que con su primer puesto en el Meteo-reportaje, Imanol consigue con este primer puesto, convertirse, empatado, en el que más veces ha ganado nuestros concursos estacionales, algo que ha conseguido ya en cuatro ocasiones. El segundo puesto fue para “Faro de Mutriku”, que muestra un espectacular oleaje batiéndose contra dicho faro. En este caso su autor se estrena en el palmarés de nuestros concursos. Esta impactante imagen ocupa la portada de este número de TyC. Y el tercer puesto fue para “Cumulonimbus majestuoso”, de Carme Molist Vidal, que consigue así por sexta vez colocar una fotografía entre las tres primeras clasificadas de nuestros concursos estacionales.

Completan las páginas de fotografía de este número de TyC, “Dos mangas marinas”, de Alfons Puertas Castro, séptima clasificada en el concurso y ganadora del mes de diciembre, y “Entre nubes anda el

juego”, de Juan José Guidonet Suárez-Gómez, ganadora del mes de febrero. Por último, en contraportada podemos ver otra foto participante en el concurso: “Aislado”, de Josep M. Bernaus, una bella estampa invernal captada desde la localidad noruega de Stavanger.

LA TERTULIA Y METEOFOTÓGRAFOS

Al cierre de la revista, estaban convocados los otros dos eventos por videoconfe-

rencia correspondientes a este concurso:

El día 23 la Tertulia, en la que se comentarán por parte de varios invitados y de los propios autores, diversas fotografías seleccionadas entre todas las participantes en el concurso, y otras subidas a Fotometeo en los últimos meses.

Y el 30 de abril, un nuevo episodio de “Meteofotógrafos”, en esta ocasión con Roberto Porto Mata, otro de los concursantes más destacados a lo largo de la historia de nuestros concursos, tanto de los estacionales, como del Meteo-reportaje y del Meteo-vídeo, donde en varias ocasiones sus trabajos han ocupado los primeros puestos. En su presentación está previsto que comparta con los asistentes, algunas de sus impresionantes fotografías y vídeos *time-lapse*. Para este evento se cuenta habitualmente con la inestimable colaboración de José Antonio Gallego Poveda.

METEOPRIMAVERA'2025

Al cierre de este número de TyC acababan de ser publicadas las bases del próximo concurso estacional, el Meteoprimavera'2025, para el que se podrán presentar hasta cinco fotografías tomadas en los meses de marzo, abril y mayo de 2025. El plazo para participar estará abierto entre el 1 y el 10 junio de 2025.

Los eventos correspondientes al cierre de este concurso - gala de presentación de los resultados, Tertulia y Meteo-fotógrafos-, están previstos para cada uno de los tres primeros miércoles del mes de julio de 2025.





POLOS OPUESTOS

EDUARDO ZORITA

Extremos compuestos

Las llanuras costeras del mar del Norte, con su escasa pendiente natural, dependen de un sofisticado sistema de drenaje artificial para evitar inundaciones en episodios de lluvias intensas. Sin embargo, en febrero de año 2022, este sistema no pudo cumplir su función. No se trató únicamente del volumen de precipitación, sino de la combinación inesperada de dos fenómenos extremos: mientras la lluvia saturaba el suelo y desbordaba los canales de drenaje, un fuerte viento elevó el nivel del mar a una cota superior a la prevista en el diseño del sistema. Como resultado, extensas áreas agrícolas quedaron sumergidas bajo el agua, con fuertes pérdidas económicas y daños en las infraestructuras.

Las regiones del norte de Alemania están acostumbradas desde hace siglos a enfrentar eventos climáticos extremos. Hamburgo, por ejemplo, cuenta con un sistema de diques capaz de resistir aumentos súbitos del nivel del mar de hasta 8 metros, protegiéndola de marejadas ciclónicas extremas. Asimismo, no son inusuales los episodios de precipitaciones intensas en la región. Sin embargo, lo que empieza a desafiar los límites de estas infraestructuras no son los eventos extremos aislados, sino la ocurrencia de eventos compuestos, ya sean simultáneos o separados por cortos intervalos de tiempo. En estos casos, los sistemas de protección diseñados para gestionar un solo tipo de amenaza pueden verse sobrepasados cuando diferentes extremos climáticos interactúan, amplificando sus impactos.

Este problema no se limita a las regiones del norte de Europa. En España, podríamos enfrentarnos a escenarios similares, en los que fenómenos en principio desconectados desencadenan impactos desproporcionados al ocurrir en combinación. Un ejemplo claro es la sucesión de una sequía prolongada—que degrada la vegetación y debilita la estructura del suelo—seguida de lluvias torrenciales que provocan erosión importante y deslizamientos de tierra. Otro caso de especial relevancia para la agricultura son las llamadas “falsas primaveras”: inviernos inusualmente suaves que inducen una floración prematura, seguidos de heladas tardías que pueden devastar cultivos enteros.

El impacto de los eventos extremos compuestos no solo afecta a la infraestructura y la agricultura, sino que también tiene implicaciones para el sector energético y el comer-

cio internacional. Con el auge de las energías renovables, fenómenos como los periodos de calma eólica, que en circunstancias normales podrían compensarse con energía solar generada en otras regiones, pueden convertirse en un problema grave si al mismo tiempo un incremento de la nubosidad reduce la producción fotovoltaica. La correlación climática entre la producción eólica y solar, conocida como “complementariedad”, puede transformarse en una vulnerabilidad cuando los extremos meteorológicos afectan simultáneamente ambos sistemas.

A la luz del cambio climático, surge una cuestión clave: ¿podría el calentamiento global estar incrementando la frecuencia con la que ocurren eventos extremos compuestos? Es decir, ¿existe un acoplamiento creciente entre distintos tipos de extremos climáticos inducido por el cambio climático? Abordar esta cuestión es un desafío, ya que el análisis de series observacionales se encuentra limitado por la baja frecuencia de estos eventos. Por definición, los extremos compuestos son aún más raros que los extremos individuales, lo que dificulta la identificación de tendencias significativas en los datos históricos.

Para responder a esta pregunta, el análisis de simulaciones climáticas se vuelve imprescindible. Sin embargo, esta aproximación también presenta dificultades, ya que los modelos climáticos aún enfrentan deficiencias en la representación de ciertos fenómenos extremos. Aun así, algunos estudios basados en simulaciones sugieren que la frecuencia de eventos compuestos podría aumentar en el futuro, lo que implicaría que ciertos extremos que hoy tienen efectos moderados podrían volverse desastrosos al interactuar con otros fenómenos.

Los mecanismos que explican estos cambios pueden variar según el tipo de evento. En el caso de las falsas primaveras, por ejemplo, los inviernos anómalamente suaves se vuelven más frecuentes debido al aumento de la temperatura media global. Al mismo tiempo, algunos estudios sugieren que las irrupciones de aire polar hacia latitudes medias también podrían intensificarse debido a la reducción de la cubierta de hielo en el Ártico, aumentando la probabilidad de heladas tardías. Estos y otros mecanismos están siendo cada vez más estudiados, consolidando a los eventos extremos compuestos como un campo de investigación clave en la ciencia climática actual.



Francisco Javier López

Francisco Javier López CEO de Meteored

JOSÉ MIGUEL VIÑAS

Francisco Javier López, natural de Almendricos (Murcia) es economista de formación, informático aficionado y apasionado de la meteorología. Hace 25 años fundó, junto a Juan José Martínez Serrano, la empresa Meteored. Javier coordina el equipo y los recursos de Meteored, con el objetivo de mejorar los servicios meteorológicos que ofrecen a través de sus diferentes plataformas.

JMV: ¿Cuáles fueron los inicios de Meteored? ¿En qué momento surgió el proyecto?

FJL: Los inicios de Meteored vienen de los inicios de internet y la afición a la meteorología de Juan José Martínez (el otro socio fundador) y mía.

Todo empezó con la llegada de internet a nuestras vidas y las puertas que esto nos abría de cara a acceder a recursos meteorológicos. Pasamos de consultar el tiempo en radio, televisión y prensa

a consultarlo en internet, con las ventajas que esto nos proporcionó.

Internet parecía que era el medio ideal para consultar el tiempo, tenía muchas ventajas sobre lo que habíamos tenido anteriormente. Nos proporcionaba el acceso a multitud de recursos (mapas de predicción, imágenes de satélites, datos en tiempo real, etc.). Como internet tenía mucha cercanía al mundo académico nos ofrecía multitud de recursos de universidades.

Esto nos incentivó a crear una página web que después sería el germen de Meteored, donde se recopilaban la mayoría de estos recursos, para que los usuarios pudieran acceder de forma fácil y ágil.

Realmente todo empezó como una afición que poco a poco se fue transformando en un proyecto empresarial.

En el año 2000 creamos la empresa que hasta el día de hoy ha sido la que ha gestionado el proyecto de Meteored y

en la que hemos dedicado el 100 % de nuestro tiempo.

JMV: ¿Teníais claro los fundadores el recorrido que podría tener Meteored y hasta dónde podía llegar? ¿Os ha sorprendido vuestro crecimiento?

FJL: Como bien señalo en la anterior pregunta, todo empezó como un proyecto de aficionados que poco a poco pasó a ser un proyecto empresarial. Pero creo que ninguno de los dos teníamos en mente cuando empezamos que esto iba a llegar a donde ha llegado.

JMV: ¿En qué momento se plantea la expansión internacional de Meteored y qué estrategia seguís?

FJL: Desde su creación y durante los tres primeros años todos los contenidos estaban orientados a España y a usuarios españoles. Con el tiempo nos dimos cuenta de que los usuarios de España consumían ciertos contenidos de otros países y que también teníamos usuarios de otros países sobre todo de Latinoamérica que consumían nuestros contenidos. A raíz de esto, empezamos a generar contenidos para estos países. Esto provocó una rápida penetración y aumento de usuarios de estos países. En 2005 empezamos a traducir la página a otros idiomas como francés, inglés y alemán.

Pero, realmente, la internacionalización propiamente dicha la empezamos en el 2006 con la salida de las web en Francia, Reino Unido y Alemania. Este fue el inicio y después publicamos websites en todos los países de Latinoamérica, Portugal, Estados Unidos, Canadá, etc.

JMV: ¿En cuántos países estáis en estos momentos?

FJL: Actualmente tenemos web en 20 países con equipo de redacción en 11 de ellos y nuestra app está publicada en 60 países.

Y la previsión para estos nuevos años es que ampliemos a otros 40 países la presencia de nuestra aplicación.

JMV: ¿Cuántas personas trabajan actualmente en Meteored? ¿Qué tipo de perfiles profesionales hay?

FJL: El equipo de Meteored actualmente está compuesto por 34 perso-

nas que trabajan la mayoría desde las oficinas de Almendricos (Murcia) y está formado principalmente por perfiles técnicos; sobre todo físicos, informáticos y matemáticos. También tenemos la parte editorial que está compuesta fundamentalmente por periodistas y especialistas en redes sociales.

Y, por último, y donde está el grueso de los componentes de Meteored, es en los colaboradores editoriales. Actual-

habéis planteado trasladaros a una gran ciudad como Madrid, Barcelona, Valencia...?

FJL: Esta pregunta nos la realizan constantemente y realmente no tendría una respuesta concreta. Al final es una decisión más personal que empresarial. Nacimos aquí y decidimos seguir ejerciendo esta actividad aquí. Hay que destacar que el crecimiento de Meteored tampoco ha sido explosivo y esto



Oficinas de Meteored

mente, colaboramos con más de cien personas a nivel mundial, principalmente meteorólogos, periodistas, geólogos, etc. Buscamos especialistas en cada área para la que publicamos noticias.

JMV: ¿Cuántos meteorólogos desarrollan su actividad en Meteored España y qué tareas desempeñan?

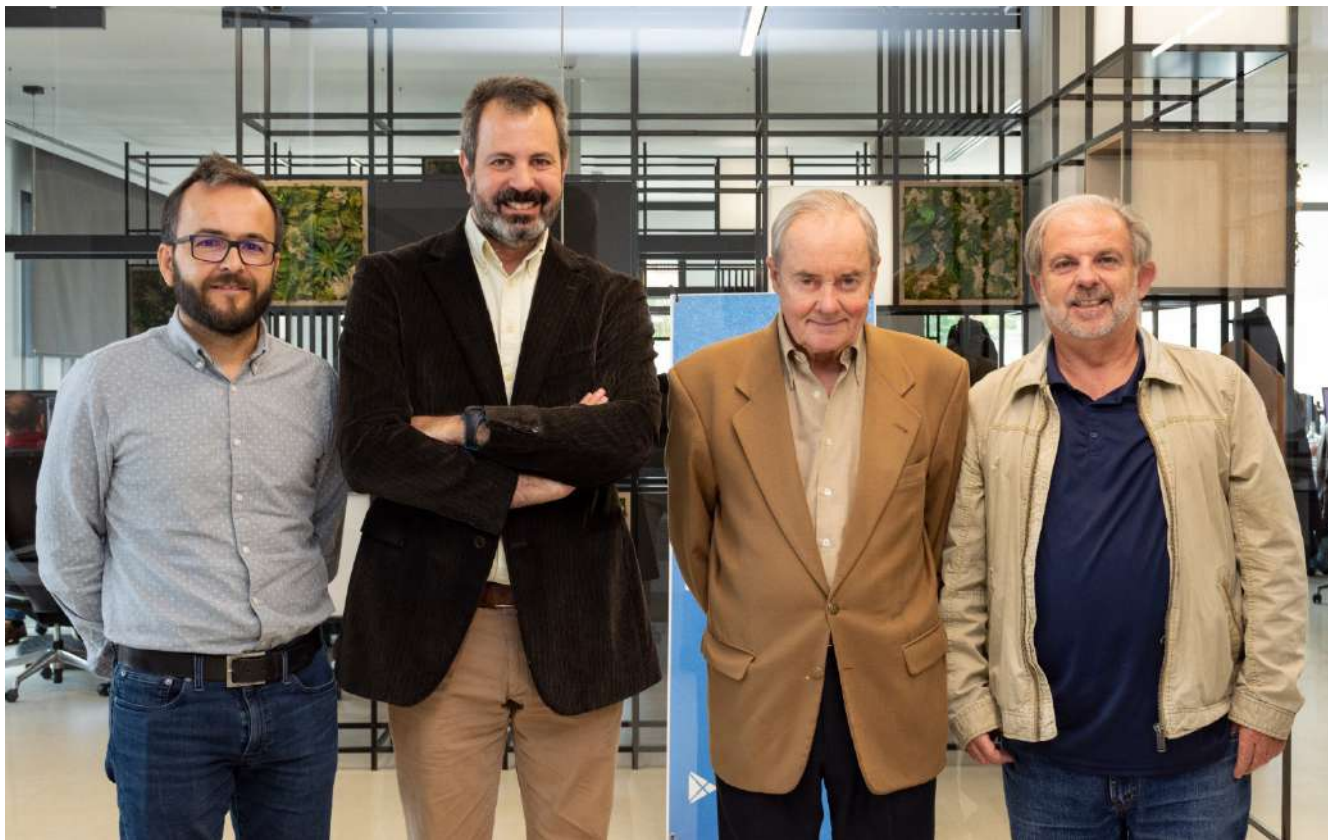
FJL: Actualmente el equipo lo componen 5 meteorólogos en plantilla y más de 60 colaboradores en la edición de noticias.

JMV: Las oficinas de Meteored están en Almendricos, pedanía de Lorca, situada al sur de Murcia, junto al límite provincial de Almería. Con todo lo que habéis crecido, ¿por qué no os

nos ha podido permitir poder crecer de forma orgánica desde una ubicación donde realmente hay mucha escasez de los perfiles que nosotros necesitamos incorporar.

Sí que el estar en una ubicación bastante alejada de grandes ciudades nos puede perjudicar a nivel de acceso al talento, contactos, etc. También es verdad que esto nos aleja del ruido, y esto nos ha permitido focalizarnos mejor en lo que queríamos que fuese el proyecto desde sus inicios.

JMV: Meteored es en la actualidad la cuarta empresa de contenidos meteorológicos en el mundo con más tráfico web y a través de aplicación de mó-



Francisco Javier López con José Miguel Viñas, José Antonio Maldonado y Francisco Martín León, tres de los meteorólogos y divulgadores de Meteored España

vil ¿Habéis alcanzado ya vuestro techo o aspiráis a escalar hasta el número 1?

FJL: Como empresa siempre van apareciendo nuevos retos y más en un entorno tan cambiante como el digital donde cada pocos años aparece alguna tecnología disruptiva que cambia este entorno. Por ejemplo el uso de IA para acceder a la información meteorológica está teniendo una gran aceptación por parte de los usuarios y esto nos hace investigar mucho en el uso que nosotros podemos hacer de todo este tipo de tecnologías.

Dentro de nuestro plan estratégico queremos seguir creciendo en tráfico, tanto en los países donde ya estamos, como entrando en otros.

Otra de las líneas por la que queremos apostar fuerte en los próximos años es en los servicios a empresas. Hay multitud de sectores económicos que cada vez demandan más servicios meteorológicos y allí debemos estar nosotros.

JMV: ¿Cuántos usuarios consultan a diario vuestros productos, tanto a nivel mundial como en España?

FJL: Actualmente, acceden a nuestros servicios diariamente entre 6 y 7 millones de usuarios y tenemos 55 millo-

nes de usuarios distintos. Los principales países desde donde demandan nuestros servicios son México, Argentina, España, Francia, Brasil, etc.

JMV: ¿Cuál es vuestra principal fuente de ingresos?

FJL: Al final, como medio de comunicación digital, nuestra principal fuente de ingresos es la publicidad, ya que la mayoría de nuestros servicios los ofrecemos a los usuarios de forma gratuita.

Por esta razón, cada vez queremos apostar más por los servicios a empresas y que el porcentaje que supone la publicidad en nuestra facturación sea menor.

JMV: ¿Cuál es la clave de vuestro éxito? ¿Hay algo que diferencie a Meteored del resto de empresas del mismo sector?

FJL: Esta pregunta creo que es la más compleja de contestar, ya que no existe una fórmula del éxito. Pienso que se trata más de la unión de muchas variables, como tener perseverancia en el proyecto, trabajar en todos los detalles, en mejora continua, en innovación, etc. Y principalmente de rodearte del mejor equipo y si tuviese que destacar una va-

riable que ha llevado a donde está ahora mismo Meteored es nuestro equipo.

Cuando compites a nivel internacional con empresas mucho más grandes que nosotros o te rodeas de las mejores personas o es imposible competir.

JMV: ¿Qué planes de futuro tenéis a medio y largo plazo?

FJL: Como indicaba en anteriores respuestas, nuestro plan estratégico abarca varios pilares. El primero es seguir creciendo en la faceta editorial, ampliando el número de países donde tenemos presencia, creciendo en los que ya estamos y mejorando los servicios que ofrecemos en cada uno de ellos.

Pero también queremos crecer en los servicios que ofrecemos a empresas y a esto es a lo que vamos a dedicar gran parte de los recursos en los próximos años. Nuestra intención es posicionarnos como un proveedor de servicios meteorológicos para otras empresas e instituciones.

Desde *Tiempo y Clima* damos las gracias a Francisco Javier López por habernos concedido esta entrevista y deseamos que Meteored siga creciendo y cosechando éxitos.

ESPAÑOLES POR EL MUNDO DE LA METEOROLOGÍA

Sergi González Herrero

Diplomado en meteorología de AEMET. Actualmente científico del WSL Institute for Snow and Avalanche Research (SLF) en Davos

JOSÉ LUIS SÁNCHEZ GÓMEZ

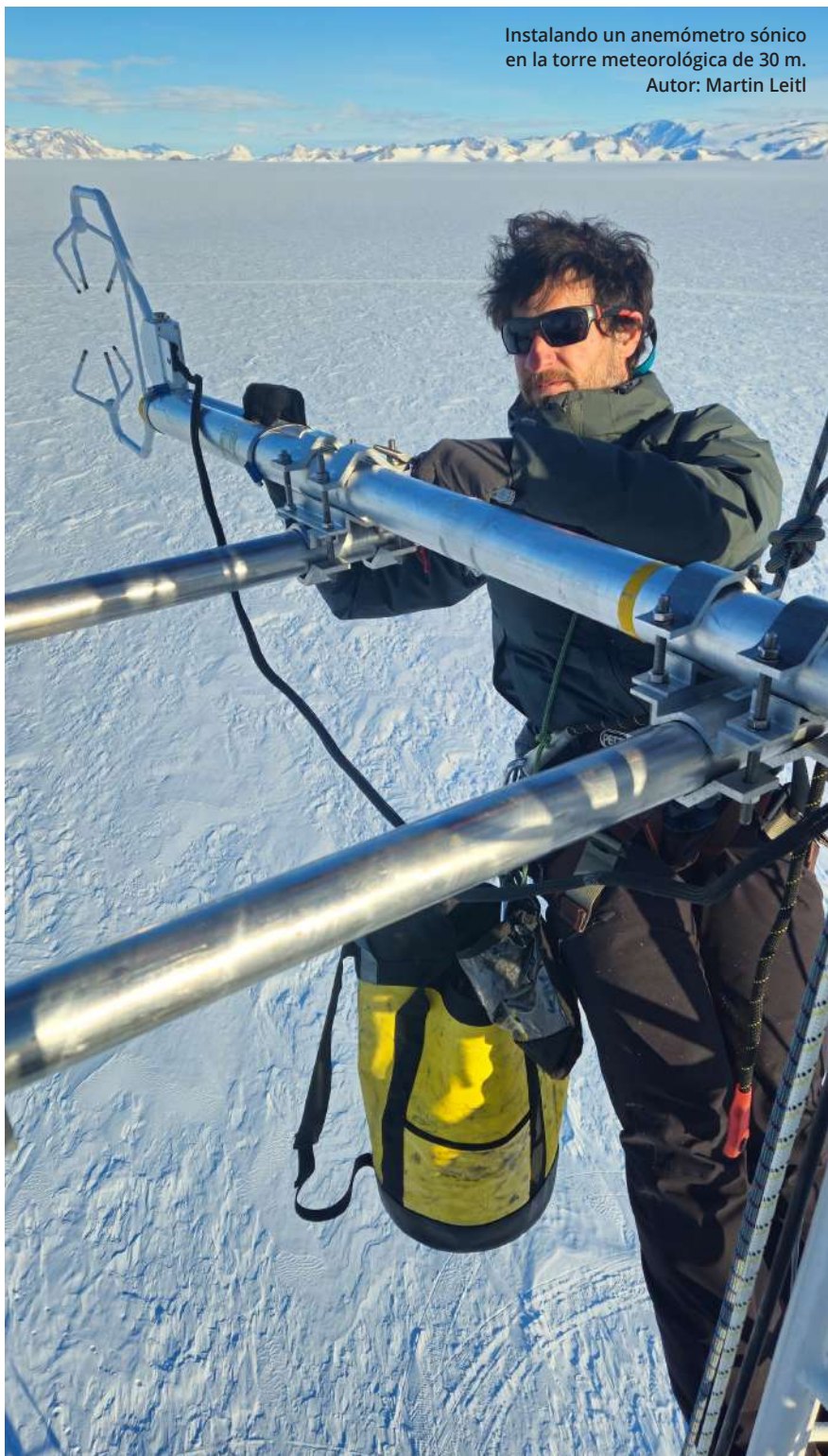
Para definir a Sergi González Herrero hay que pensar en una persona apasionada por desentrañar la razón de las cosas. Su formación en ciencias le ha permitido, no solamente especializarse en una de las partes de la meteorología mas complicadas, la de montaña, sino unirse a cualquier grupo de científicos interesados por analizar los cambios que se producen en todas las regiones en las que la nieve es un recurso y sus repercusiones en el clima. Hoy le entrevistamos para TyC

1. Obtuviste el título de licenciado en Ciencias Ambientales en la UAB cuando los planes de estudio eran de cinco años. ¿Tuviste muchas dificultades a la hora de estudiar el máster en meteorología en la UB?

Aunque el primer día nos dijeron que los que no éramos físicos podríamos tener dificultades para seguir las clases más numéricas, al final no resultó ser tan difícil por lo bien que explicaban mis profesores e incluso acabaron siendo mis clases favoritas. La verdad es que yo siempre tuve una visión muy "física" en ciencias ambientales. Mis clases favoritas eran las de esa asignatura, y de hecho elegí algunas otras de la carrera de ciencias físicas como optativas de la ciencias ambientales. Por ello no me considero un ambientólogo al uso.

2. ¿Por qué te decidiste por el campo de la meteorología?

Desde pequeño siempre me gusta-



Instalando un anemómetro sónico en la torre meteorológica de 30 m.
Autor: Martin Leidl

Recogiendo los datos de la estación meteorológica en Byers, Antártida. Autor: Pablo Almela



ron las ciencias de la Tierra. Me gusta saber porque el mundo es como es. Cuando me llegó la hora de elegir mis estudios universitarios, inicié ingeniería industrial pero no me gustó así que me pasé a ciencias ambientales que tenía un poco de todo. Un día vi anunciado en el tablón el máster de meteorología de la UB y me recordó mi pasión por esta ciencia. Tuve claro que cuando acabase Ciencias Ambientales cursaría este máster.

3. Al poco de acabar tus estudios conseguiste superar la oposición para trabajar en la AEMET en donde pudiste orientarte hacia la meteorología Aeronáutica. Las oficinas de meteorología de los aeropuertos y sus predicciones son consultadas por los pilotos para preparar sus planes de vuelo y también por los controladores. ¿Cómo fue tu experiencia?

Mi etapa en meteorología aeronáutica no fue mi etapa favorita. Era interesante, pero era un trabajo muy de gestión para una persona de ciencia como yo. Desde que entré en AEMET, siempre quise ser predictor. Cuando lo conseguí, al cabo de un año, me alegré mucho y allí estuve ya por mucho más tiempo. Me gustaba la operativa en gestión de riesgos e intentar ir más allá de la predicción de precipitación del modelo, por ejemplo.

4. Mas tarde empezaste tus campa-

ñas en la Antártida. Resúmenos tus experiencias allí como predictor

Cuando descubrí que existía un grupo Antártico en AEMET me pareció apasionante y me puse a hacer lo que fuera por poder entrar hasta que lo conseguí. Nunca me ha importado trabajar mas horas si es a cambio de disfrutar de mis pasiones. Como predictor me pareció un reto, pero lo que me gustaba más era interaccionar con otros científicos. En general me gustan todas las ciencias y aprender cada vez más. Por eso preguntaba y preguntaba..., y en los ratos libres hacía pequeñas investigaciones. Y así es como fui entrando en la ciencia polar, y específicamente en proyectos multidisciplinarios, colaborando aquí y allí con otros compañeros que fui conociendo.

5. Y como científico del proyecto MICROAIRPOLAR ¿que destacarías?

MICROAIRPOLAR es para mí un proyecto increíble. Investigamos como los microorganismos llegan por el aire en las zonas polares y como estas se conectan. Es multidisciplinaria pura. Nos juntamos biólogos, matemáticos y meteorólogos entre otras ciencias para desarrollar metodologías de investigación únicas. Sin embargo, esta multidisciplinaria conlleva un coste. Primero el entendernos entre disciplinas tan distintas y aprender unos de otros. Por ejemplo, he tenido

que explicar en que consiste la capa límite a biólogos que no sabían ni que esto existía, y a la vez yo he aprendido como se cuentan las distintas especies de microorganismos. El proyecto ha tardado en despegar, justo acabamos de publicar el primer gran artículo conjuntando las distintas disciplinas, pero los próximos años se esperan muy prometedores.

6. En 2019 presentaste tu tesis doctoral donde demostraste un alto nivel de conocimiento en la meteorología de zonas de orografía compleja, tesis que obtuvo el premio Eduardo Fontserè del Instituto de Estudios Catalanes. Si tuvieras que elegir una conclusión de tu tesis ¿Cuál sería?

Que las zonas de orografía compleja son también meteorológicamente muy complejas y van mucho más allá del clásico "mayor precipitación a barlovento y menor precipitación a sotavento", o "aceleración del viento a sotavento". Creo que nos queda mucho por conocer aún sobre el tema.

7. Mas recientemente estas disfrutando de un contrato en el WSL Institute for Snow and Avalanche Research (SLF) in Davos. Cuéntanos ¿cuál es tu trabajo y que destacarías especialmente de él?

Tengo un trabajo muy dinámico y

divertido, en parte por mi gusto en conocer un poco de todo. Por ello, en vez de especializarme en modelización o en observaciones he acabado haciendo un poco de todo. Por una parte, llevo el mantenimiento del nuevo modelo del grupo CRYOWRF, un modelo que acopla al conocido modelo WRF, el modelo de superficie para la nieve SNOWPACK, capaz de simular mucho mejor los procesos en la nieve que los actuales modelos que contienen solo unas pocas capas. Además, contiene un modelo de ventisca muy avanzado, y hace que en su conjunto sea un modelo puntero para la investigación de las interacciones nieve-atmósfera. Por otro lado, también me he especializado en el mantenimiento e instalación de las estaciones meteorológicas del grupo, lo que me lleva a realizar trabajo de campo en montañas y lugares increíbles del mundo como Antártida, Pamir o diversos lugares de los Alpes. Uno de los proyectos recientes más interesantes ha sido la instalación de instrumentación meteorológica en una torre de 30 m para estudiar la estructura vertical de la ventisca en la Antártida, lo que me ha llevado a trabajar durante más de 20 horas colgado de un arnés.

8. Te has especializado en meteorología y climatología de montaña y de regiones polares. ¿Cuáles son los retos en los que se está trabajando?

Actualmente hay aún mucho desconocimiento en estas zonas. La meteorología actual se ha desarrollado inicialmente para zonas llanas. Por ejemplo, la teoría de turbulencia de Monin-Obukhov que incluyen los modelos para parametrizar el intercambio de energía asumen homogeneidad horizontal y cuasi-estacionariedad, asunciones que son violadas en zonas de terreno complejo o también en zonas llanas en las que se producen ventiscas de nieve. Eso hace que los errores en los modelos aumenten en estas zonas, afectando a otras predicciones como las hidrológicas tan necesarios en los países de Asia Central que dependen del agua del deshielo estacional. A su vez la meteorología y climatología polar, y especialmente antártica, está muy por detrás de la de los países occidentales, especialmente por la cantidad mucho más reducida de recursos y personal dedicados a ella. En general di-



Tomando muestras para el proyecto MICROAIRPOLAR.
Autora: Ana Justel

ría que la meteorología y climatología de estas regiones sufre un retraso de unos diez años con respecto a la meteorología y climatología de las latitudes medias.

9. Desde que acabaste tus estudios universitarios no has parado en ningún momento de especializarte. ¿Qué nuevos retos tienes?

Tengo varios proyectos entre manos que van desde el estudio de la ventisca en la Antártida hasta mejoras en las predicciones hidrológicas en las regiones de Asia Central así como colaboraciones muy interesantes con físicos de sistemas complejos para investigar la turbulencia a partir del análisis de trayectorias de las partículas en la nieve, o con geofísicos en un proyecto para estudiar el balance hidrológico de la montaña de Zugspitze mediante gravímetros superconductores. Sin embargo, el proyecto más interesante para mí es el estudio de los impactos del cambio climático en la nieve. Los análisis de atribución, que llevan ya una década realizándose en latitudes medias están aún en pañales en las zonas polares. En 2022 publicamos el primer estudio de atribución en la Antártida usando métodos estadísticos basados en análogos. Sin embargo, estudiar los impactos es más complicado debido a las interacciones complejas entre la atmósfera y la nieve. Gracias al nuevo modelo CRYOWRF en el que estoy trabajando,

podemos simular estas interacciones en el presente y en el pasado, para atribuir si los cambios observados en el presente se deben o no al cambio climático, así como simular como van a cambiar en el futuro. Creo que son retos muy interesantes y que van más allá de la atribución per se, ya que nos ofrecen conocimiento sobre cambios en los procesos físicos de las zonas polares y de alta montaña no conocidos anteriormente.

10. ¿Qué recomendación/nes harías a todos aquellos estudiantes universitarios o que aún no lo son que quieran seguir tus pasos?

Mi recomendación es siempre hacer las cosas con pasión. En investigación siempre se pasa por fases en las que hay momentos duros y otros más dulces. Para poder pasar los momentos duros es necesario tener pasión en lo que se hace y amar la ciencia para no decaer. Si se es capaz de sobrepasar estos momentos llegará la recompensa y esos momentos dulces que te hacen querer proseguir y conocer más y mejor el sistema físico de este planeta.

Muchas gracias Sergi por tus respuestas a TyC, que disfrutes de tu estancia en Suiza y mucha suerte para abordar tus retos y esperamos que en un futuro cercano nos hagas participes de tus investigaciones

El cielo de las islas Canarias y el anticiclón de las Azores

JOSÉ MARÍA SÁNCHEZ-LAULHÉ

Las islas Canarias han despertado el interés científico desde tiempos remotos, sobre todo a partir de los informes de Humboldt sobre su visita en 1799, pues su situación geográfica en el este del Atlántico Norte subtropical y sus altas montañas es ideal para las observaciones astronómicas y meteorológicas.

La historia de estas ciencias tiene varios vínculos interesantes con las observaciones y estudios realizados en las islas (Ory y Palomares, 2005). A principios del siglo XX, la comunidad meteorológica europea expresó un profundo interés en establecer un observatorio permanente en las montañas de la isla de Tenerife para el estudio de la alta atmósfera que llevó al establecimiento del observatorio aerológico de Izaña, a 2367 metros sobre el nivel del mar (msnm), inaugurado el 1 de enero de 1916. El observatorio astronómico del Teide fue fundado en 1959, instalándose en 1964 el primer telescopio profesional por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), que junto con el observatorio del

Roque de Los Muchachos de la isla de La Palma, situados ambos a unos 2390 msnm, forman el conjunto observacional del Observatorio Norte Europeo, que alberga telescopios e instrumentos de unas 60 instituciones pertenecientes a más de veinte países; la mayor colección de instalaciones observaciones ópticas e infrarrojas para astrofísica dentro de la Unión Europea.

La excelente calidad astronómica del cielo de las islas Canarias – caracterizada y protegida por ley – hace de estos observatorios una “reserva astronómica” abierta a la comunidad científica internacional desde la firma del Tratado Internacional de Cooperación en Astrofísica de 1979.

La claridad del cielo de Canarias para

la observación astronómica se debe a la escasa turbulencia y a la sequedad del aire por encima de la casi permanente extraordinaria inversión térmica de subsidencia, que, con una base situada entre 700 y 1500 m, separa la húmeda y fresca capa límite marina por debajo, de una seca y cálida troposfera por encima, donde se sitúan los observatorios. La inversión es consecuencia del calentamiento adiabático que produce el persistente e intenso movimiento descendente de gran escala de aire en esta zona. Además, bajo la inversión, el predominante viento del NE, denominado alisio en las Islas, crea un mar de nubes durante buena parte del año a barlovento que aminora la contaminación luminosa, sitúa a los

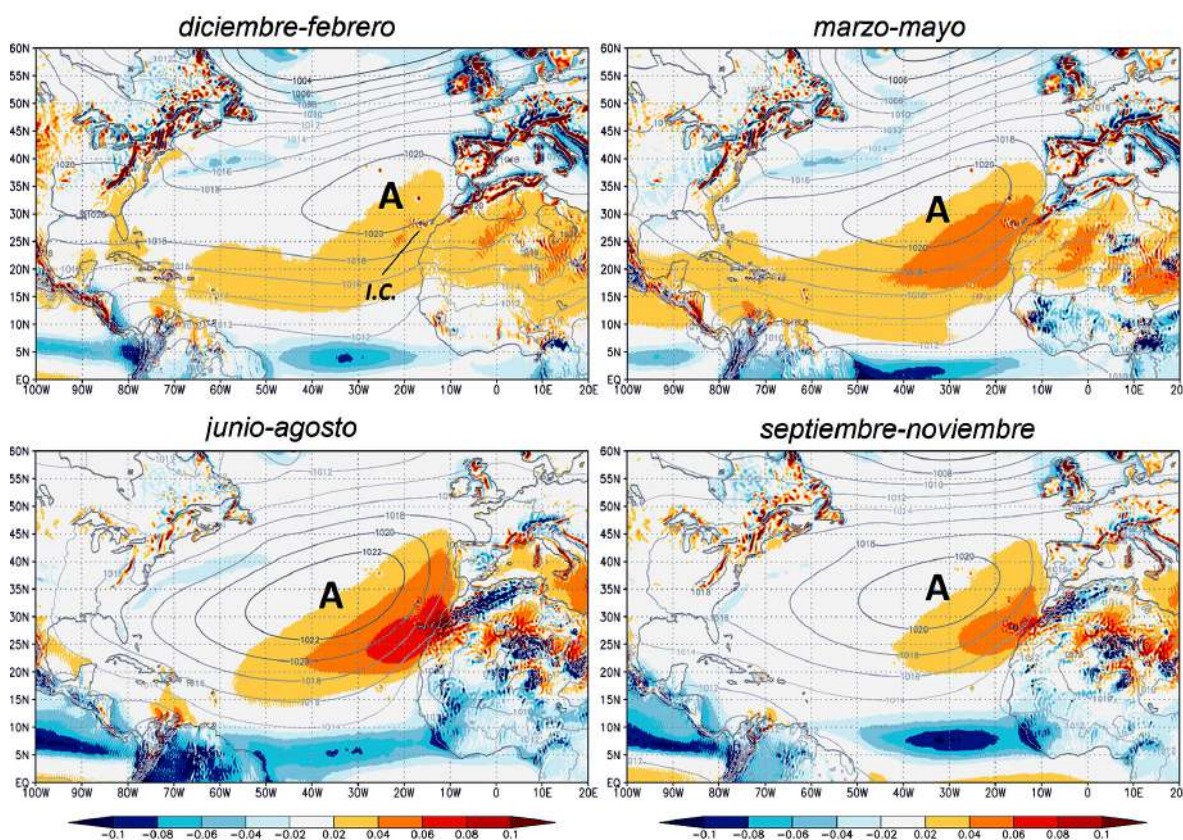


Figura 1. Valor medio estacional de la presión a nivel del mar (isobaras cada 2 hPa) y de la velocidad vertical omega ($\omega = dp/dt$) en 700 hPa; en color según la escala en Pa/s (positiva cuando es descendente) en el periodo 1950-2024. Fuente ERA5, usando la aplicación KNMI Climate Explorer

observatorios canarios entre los mejores enclaves del mundo para estudiar el Universo. Las buenas condiciones para la observación astronómica solo se rompen en verano (julio- septiembre) por alguna intrusión de masa de aire sahariana y por episodios de precipitación, en invierno. Los datos climáticos del observatorio meteorológico de Izaña (a 2400 msnm) son representativos del clima en los observatorios astronómicos: una precipitación anual algo por debajo de los 400 mm, concentrada la mayor parte entre octubre y marzo, y un verano muy seco con precipitaciones casi nulas en junio y julio; una humedad relativa media anual del 44 %, bajando al 25 % en julio, y la insolación más alta de España, con unas 3472 horas de sol al año.

Los movimientos descendentes en el anticiclón de las Azores

El alta de las Azores es uno de los cinco grandes anticiclones subtropicales casi permanentes oceánicos; tres altas sobre los océanos del hemisferio sur y dos sobre los del hemisferio norte (HN). En climatología se considera como subtropicales a bandas zonales comprendidas entre las regiones de clima tropical y las de clima templado en cada hemisferio. Sobre los océanos están determinadas por las altas subtropicales; sus límites hacia el polo se consideran aproximadamente las latitudes 35°N y 35°S, pero varían mucho por la influencia continental, alcanzando latitudes más altas en las costas occidentales de los continentes y se desplazan hacia el ecuador en las costas orientales. La circulación anticiclónica genera vientos divergentes en niveles bajos de la troposfera y por tanto se alimentan de movimientos descendentes a gran escala y con convergencias de viento en los niveles altos de la troposfera. En la figura 1, donde se muestran los campos estacionales de presión a nivel del mar y de omega, $\omega=dp/dt$, se observa que los movimientos descendentes ($\omega>0$) a gran escala no afectan por igual a todo el anticiclón de las Azores, sino fundamentalmente a los subtropicos sobre la parte del anticiclón donde los vientos en niveles bajos tienen componente norte. Esto se

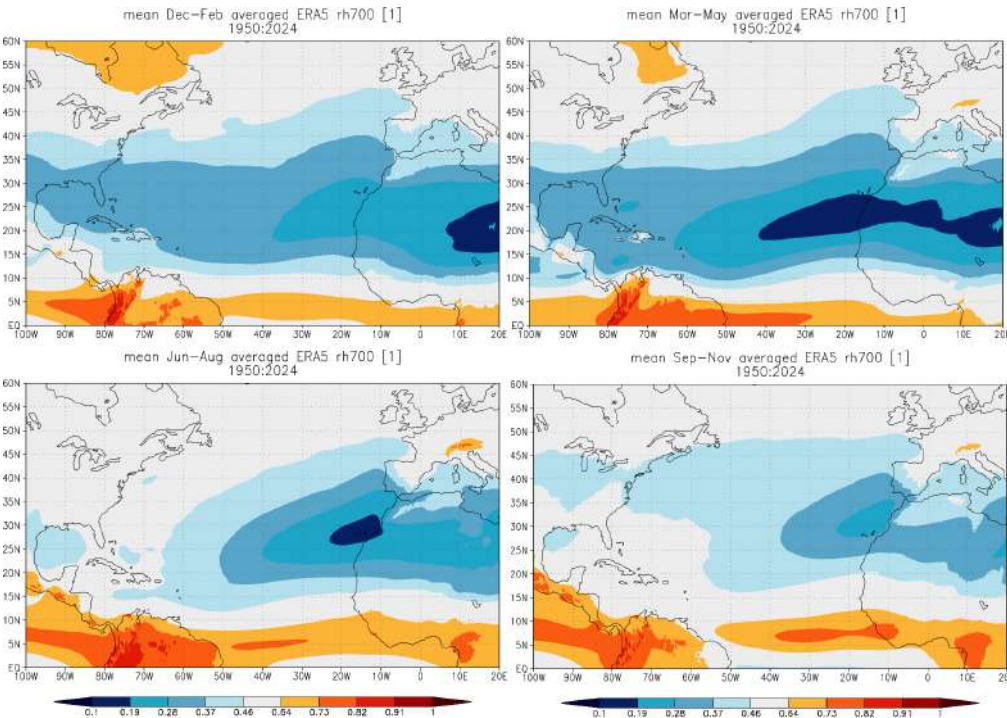


Figura 2. Valor medio estacional de la humedad relativa en 700 hPa en color según la escala en el periodo 1950-2024. Fuente ERA5, usando la aplicación KNMI Climate Explorer

debe a que en los subtropicos, en general, la componente meridional del viento, v , y la velocidad vertical del viento, w , está relacionadas por la relación de Sverdrup: $w \approx -(\beta/f)(\partial v/\partial z)^1$, (1) donde f y β son el parámetro de Coriolis y su gradiente meridional, respectivamente. Lo que implica que donde los movimientos son descendentes en la troposfera media ($w<0$), el viento tiene componente norte en superficie ($v<0$) o existe un gradiente de presión a nivel del mar con componente oeste.

En la figura 1 se observa que los movimientos descendentes en la troposfera media son especialmente intensos en las proximidades de las islas Canarias sobre todo en el verano, que es cuando el alta de las Azores tiene mayor intensidad en relación con su media zonal, y esto coincide con un mínimo anual de humedad relativa (ver figura 2).

La célula de Hadley

Aunque parezca sorprendente, no existe unanimidad sobre los procesos que intervienen en la formación y mantenimiento de los anticiclones subtropicales, especialmente en verano, aunque tradicionalmente se había atribuido el origen de las altas presiones subtropicales a la

rama descendente de la célula de Hadley (figura 3a).

En invierno del HN la rama descendente de la célula de Hadley se sitúa en el flanco ecuatorial del máximo subtropical de viento zonal medio en la troposfera alta, que se explica por la conservación del momento angular en la rama superior de la célula, entre 20° y 25°N (figura 3, a y b), Este rango de latitudes, en el que también ocurre sobre el Atlántico Norte en 700 hPa (figura 1), apoya la hipótesis de la rama descendente como mecanismo de mantenimiento del anticiclón de las Azores en invierno y al mismo tiempo que la claridad de los cielos en Canarias por encima de la inversión de subsidencia.

Pero la célula de Hadley tiene una fuerte variabilidad estacional, de manera que la célula del hemisferio en verano se debilita enormemente, mientras la del hemisferio en invierno se intensifica e invade el otro hemisferio, de forma que se puede considerar que existe una única célula de Hadley solsticial (Dimas & Wallace, 2003), por lo que no puede ser el mecanismo de mantenimiento de los anticiclones subtropicales del hemisferio en verano, en particular los del HN, estación en la que las altas alcanzan su máxima intensidad y extensión (figura 1). El comportamiento

¹ Esta relación es la misma que la relación entre el transporte de Sverdrup en una capa con la velocidad vertical en dicha capa, y se deduce de la ecuación de la vorticidad linealizada para un estado casiestacionario con débil advección de vorticidad (Rodwell y Hoskins, 2001)

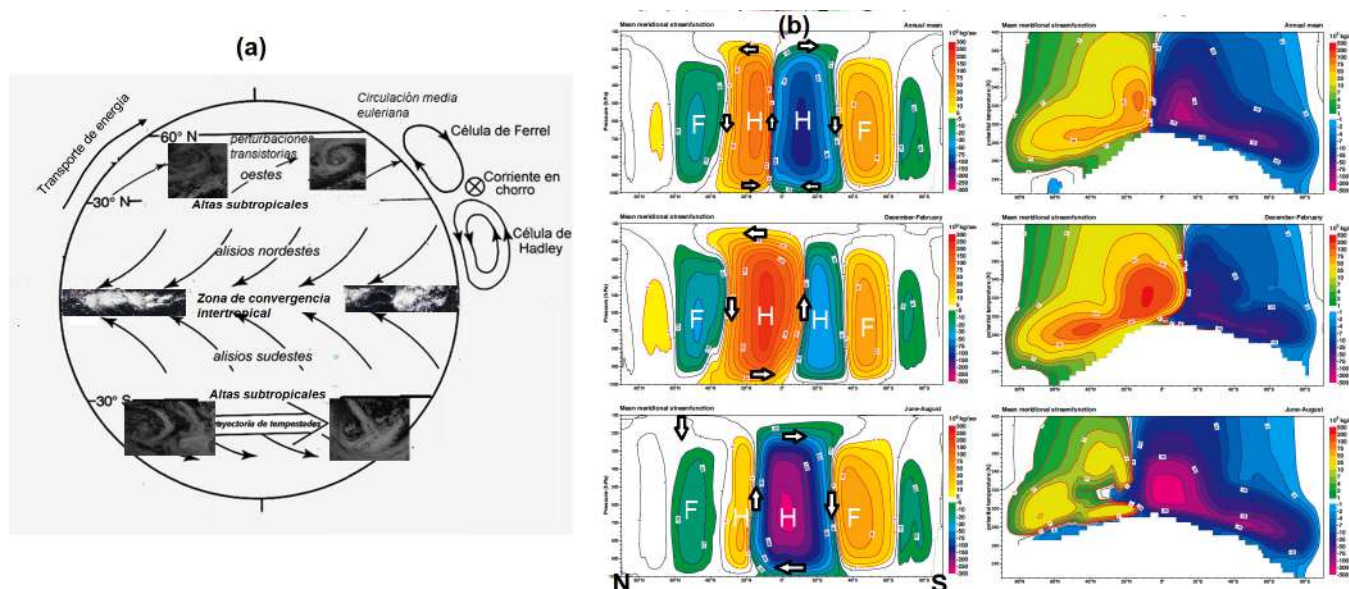


Figura 3. (a) Esquema de la circulación global media; (b) circulación global meridional media euleriana anual, dic-feb y jun-ago por líneas de corriente con altitud como eje vertical (H: Hadley, y F: Ferrel); (c) circulación meridional media lagrangiana, indicada por líneas de corriente con θ como eje vertical. Colores cálidos para circulaciones directas (indirectas) en el HN (HS); colores fríos para circulaciones indirectas (directas) en el HN (HS). Fuentes: (b) y (c) Atlas ERA-40 (Kållberg et al., 2007)

solsticial de la célula de Hadley se debe a que su circulación es impulsada principalmente en los subtrópicos por el enfriamiento causado por las ondas baroclínicas transitorias en la senda de los ciclones de las latitudes medias (Trenberth & Stepaniak, 2003). Este impulso se pone de manifiesto cuando se contempla la circulación general meridional desde el punto de vista lagrangiano, como en la figura 3c en la que se presenta las líneas de corriente considerando la temperatura potencial, θ , como coordenada vertical, que revela desaparición de la célula indirecta de Ferrel y la existencia de una circulación vertical unicelular en cada hemisferio que

da una idea clara del transporte de calor sin costuras hacia los polos engranando la circulación isentrópica (θ constante) de latitudes medias con la rama descendente de la célula de Hadley en los subtrópicos.

El monzón de verano

Como muestra la figura 1, los movimientos descendentes en verano se hacen más intensos y se concentran en el flanco sudoriental del anticiclón. Rodwell & Hoskins (1996) imputan este descenso y, en general los intensos descensos que ocurren en la parte oriental de los anticiclones subtropicales en verano, a las on-

das de Rossby de gran escala que provocan el calentamiento diabático asociados a los monzones al este de los continentes subtropicales. Así, los descensos en la parte oriental del anticiclón de las Azores estarían asociados al monzón asiático de verano, y los descensos sobre la parte oriental del anticiclón del Pacífico Norte al monzón de América del Norte.

El monzón asiático de verano produce una anomalía cálida en todos los niveles de la troposfera en una zona que se extiende desde la región monzónica hacia el oeste a través del Oriente Próximo, afectando al norte de África y al Mediterráneo, que se refleja en las bajas presiones en superficie (B en la figura 4a). El flujo de oestes en latitudes medias a niveles altos y medios interacciona con ésta anomalía cálida dirigiéndose hacia el ecuador y descendiendo (cruzando isobaras en una superficie isentrópica: figura 5a) hasta niveles bajos, donde no lo impide la cordillera del Atlas, sobre el norte de África. Además, Rodwell & Hoskins (2001) mostraron que el calentamiento asociado al descenso adiabático tendría un efecto de enfriamiento neto al inhibir la liberación de calor latente y aumentar el enfriamiento radiativo (figura 5b), reforzando por tanto la subsidencia por esta retroalimentación (*feedback*) positiva. Resumiendo, el anticiclón de las Azores y los cielos claros en Canarias, estarían asociados a los ascensos y las intensas lluvias del remoto monzón asiático.

Otros estudios atribuyen el máximo

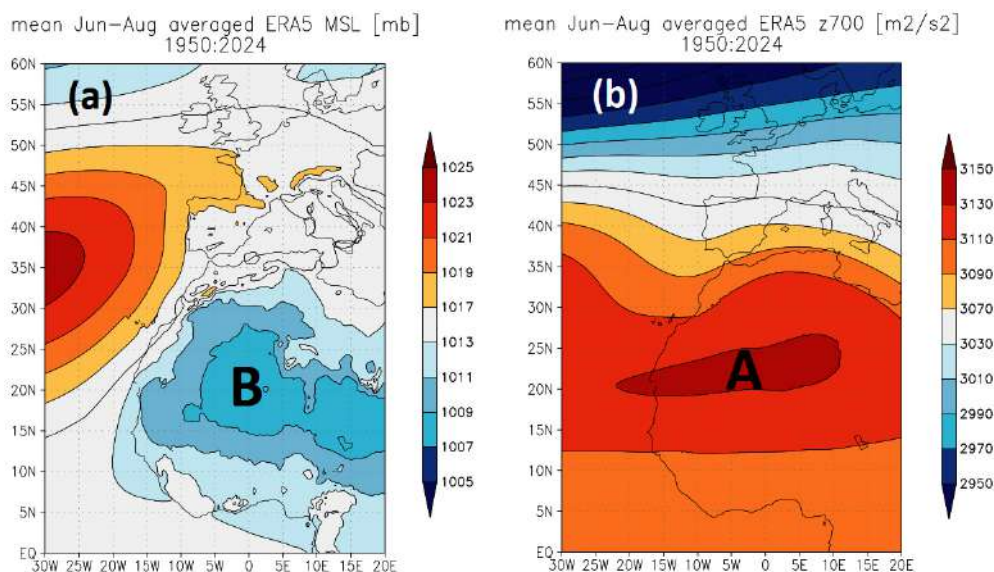


Figura 4. (a) presión a nivel del mar en hPa y (b) altura del geopotencial en 700 en mgs, para el verano (JJA). Fuente ERA5, usando la aplicación KNMI Climate Explorer

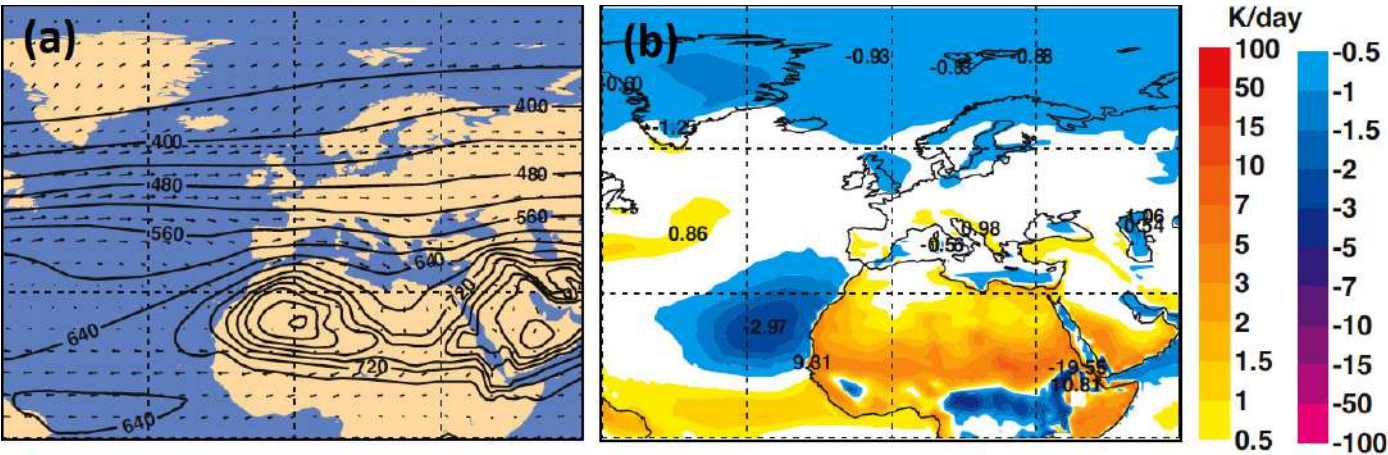


Figura 5. (a) Viento y presión (en hPa) en la superficie isentrópica de 315 K; (b) flujo a través de la superficie isentrópica de 330 K (en K/día). Fuente: Atlas ERA-40 (Kållberg et al, 2007)

estival de los anticiclones del HN a otras causas más inmediatas, que tendrían efectos mayores que el monzón. Miyasaka & Nakamura (2005), Wu & Liu (2003) sugieren que la mayor parte de la intensidad de los anticiclones subtropicales en verano en los dos hemisferios está forzada directamente por el contraste calentamiento-enfriamiento diabático local en la baja troposfera, entre tierra y océano, en el este de los océanos subtropicales. Durante el verano, con el calentamiento de los continentes, se desarrolla una notable diferencia de presión tierra-mar que lleva a la formación de vientos que se dirigen hacia el ecuador, a lo largo de las costas occidentales de los continentes, impulsando los movimientos subsidentes. Estos vientos aumentan la evaporación sobre el océano, y dispara el afloramiento de aguas frías en la superficie. Estas aguas frías ayudan a estabilizar la baja atmósfera, favoreciendo el desarro-

llo de nubes estratiformes de gran reflectividad, que enfrían la atmósfera inferior, y generan altas presiones en superficie (figura 6). Las altas subtropicales de verano, por tanto, formarían parte de un retroalimentación local que envuelve nubes bajas y las superficies continentales y oceánicas, jugando los monzones un papel secundario.

La cordillera del Atlas en verano

Para explicar la respuesta de la circulación a un forzamiento térmico externo en los subtrópicos Wu & Liu (2003) propusieron el concepto de “sobreimpulso”. Por encima del nivel de calentamiento diabático sensible, el sobreimpulso ascendente de las burbujas de aire, inducido por la inercia del ascenso desde la superficie, crea una capa con temperatura potencial constante que induce una circulación anticiclónica fría por encima de

la circulación ciclónica de la baja térmica en niveles bajos. Como los movimientos verticales están asociados a la variación vertical de la componente meridional del viento, según la relación de Sverdrup (1), se producirían ascensos al este de la zona de calentamiento y descensos en el oeste. Este patrón de movimiento verticales idealizado también se aplica a los sistemas montañosos de los subtrópicos, que con frecuencia son fuentes de calor en verano y sumideros de calor en invierno con una circulación convergente en superficie y divergente por encima de la capa de calentamiento sensible, respectivamente.

En verano, como consecuencia de los movimientos ascendentes, sobre la cordillera del Atlas se desarrolla un importante bombeo de calor a la troposfera; por encima de 500 hPa es por liberación de calor latente, como indica el mapa de calentamiento de la capa 250-500

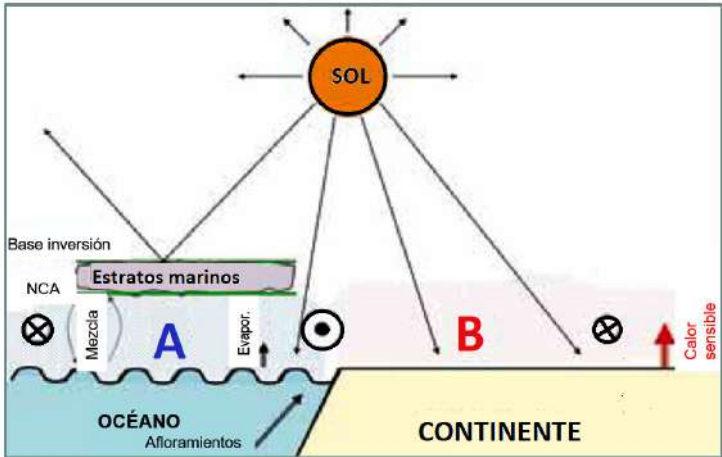
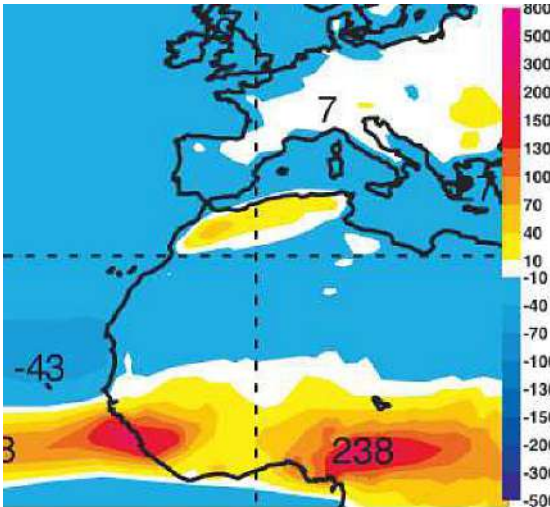


Figura 6. Retroefectos atmósfera-océano en el HN, que explican la formación de los anticiclones subtropicales oceánicos (A) en verano según Miyasaka y Nakamura (2005). El círculo con punto interior indica viento norte, y los círculos con cruz vientos del sur.

Figura 7. Calentamiento de la capa 250-500 hPa en verano (JJA) en W/m². Fuente: Atlas ERA-40 (Kållberg et al, 2007)



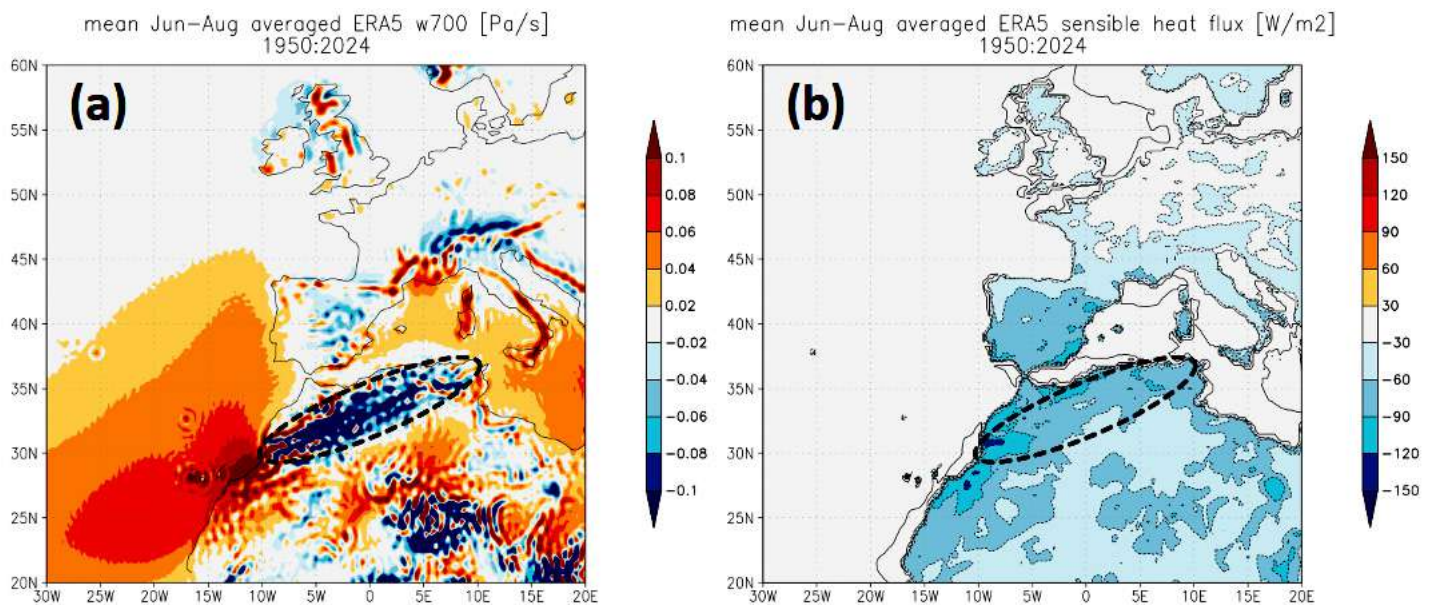


Figura 8: (a) velocidad vertical omega (dp/dt) en 700 hPa, en Pa/s, valores positivos descendencias; (b) flujo de calor sensible en superficie, en W/m², valores negativos hacia arriba. La elipse a trazos muestra la posición del Atlas. Fuente ERA5, usando la aplicación KNMI Climate Explorer

hPa (figura 7), y en la capa próxima a la superficie es por calentamiento sensible (figura 8b). Ambas capas están separadas por una capa intermedia, aproximadamente de 500 a 700 hPa, afectada por temperaturas relativamente frías por el gradiente adiabático vertical producido por el sobreimpulso. Como consecuencia, a lo largo del Atlas tiende a producirse en los niveles bajos una baja térmica y en los niveles medios una presión alta, que quedan englobados como vaguada inversa y dorsal prolongaciones de la baja térmica y del alta del noroeste de África (figura 4). Estas circulaciones inducen un máximo de gradiente vertical positivo de u (componente meridional del viento) sobre el Atlántico inmediato al extremo occidental del Atlas (cordillera Anti-Atlas) que está relacionado por la relación de Sverdrup (1) con el máximo de movimiento descendente que se extiende desde la costa africana hasta las islas Canarias (figura 8a). La intensidad de este descenso estaría relacionada con el máximo de flujo de calor sensible en el Anti-Atlas (figura 8b) que produciría un sobreimpulso más fuerte y por tanto circulaciones ciclónicas y anticiclónicas más intensas.

Sobre el Mediterráneo, junto al extremo oriental del Atlas, no se observa el correspondiente ascenso asociado a un mínimo de gradiente vertical de u , que se explica porque sobre el mar Mediterráneo central hay en promedio una importante advección fría en verano que hace no aplicable en esta zona la relación de

Sverdrup (Rodwell & Hoskins, 1996).

Por tanto en verano en los movimientos descendentes en Canarias son producto de la suma del forzamiento térmico a escala continental en esta estación que genera movimientos descendentes en el este del Atlántico Norte subtropical y del forzamiento térmico sobre el Atlas que produce un descenso de dimensión mesoscalar sobre el Atlántico entre Canarias y el extremo occidental del Atlas.

Conclusiones

Los cielos límpidos, habituales en las Islas Canarias por encima de la inversión de subsidencia, están ligados a los movimientos descendentes del aire que mantienen el alta de las Azores. El anticiclón de las Azores es absolutamente necesario durante todo el año entre los oeste de latitudes medias y los vientos del este de la zona intertropical, pero el mecanismo por el que se genera y mantiene varía a lo largo del año, estando ligado en invierno a la célula de Hadley (mecanismo meridional) y en verano al contraste de temperatura en los subtrópicos entre el Atlántico y África en la estela occidental del calentamiento originado por el monzón de Asia de verano (mecanismo zonal). Los descensos se concentran y se hacen más intensos en el ala oriental del anticiclón en verano, y especialmente en la zona de Canarias, en parte por efecto del sistema montañoso del Atlas, lo que hace que sus cielos tengan en esta estación una calidad extrema para la observación astronómica.

Referencias:

- Dima, I. M., & J. M. Wallace, 2003: On the Seasonality of the Hadley Cell. *J. Atmos. Sci.*, 60, 1522–1527, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2003\)060<1522:OTSOTH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2003)060<1522:OTSOTH>2.0.CO;2).
- Kållberg, P., Simmons, A., Uppala, S. & Fuentes, M., 2007: ERA-40 Atlas, ERA-40 Project Report Series, 19, Reading, U. K. <https://www.ecmwf.int/node/10595>
- Miyasaka T. & H. Nakamura, 2005: Structure and formation mechanisms of the northern hemisphere summertime subtropical highs. *J. Climate*, 18, 5046–5065
- Ory Ajamil, F. & Palomares Calderón, M. (2005): The atmospheric observation in Tenerife Island during the last four centuries and the Mountain Observatory in Izaña: a short history of the Observatorio de Izaña, Tenerife. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/7365>
- Rodwell & Hoskins, B.J., 1996: Monsoons and the dynamics of deserts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122: 1385–1404.
- Rodwell & Hoskins, B.J., 2001: Subtropical Anticyclones and Summer Monsoons. *Journal of Climate*, 14:3192–3211. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014%3C3192:SAASM%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014%3C3192:SAASM%3E2.0.CO;2)
- Wu, G., Duan, A., et al., 2015: Tibetan Plateau climate dynamics: Recent research progress and outlook. *National Science Review*, 2(1), 100–116.
- Wu, G. & Y. Liu, 2003: Summertime quadruplet heating pattern in the subtropics and the associated atmospheric circulation. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1201

Medio siglo del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF)

Parte 1: Del impulso político hasta el inicio de las operaciones

E. RODRIGUEZ CAMINO, AME

El impulso político inicial

Aunque una cooperación europea más estrecha en el campo de la investigación meteorológica y su aplicación práctica en la predicción del tiempo habían sido de interés desde hace mucho tiempo, no fue hasta 1963, cuando en una recomendación a su Consejo, la Comunidad Económica Europea (CEE) –que en aquel momento sólo incluía a seis países– llamó la atención sobre la importancia de la investigación científica y técnica. En el seno del Comité de Estrategia Económica a Plazo Medio de la CEE se creó un grupo de trabajo sobre “Estrategia en el Campo de la Investigación Científica y Técnica” para definir aquellas áreas en las que los esfuerzos en el campo de la investigación aplicada, especialmente en comparación con los esfuerzos de otros países, habían sido evidentemente insuficientes, y aquellas áreas desarrolladas en las que las fuerzas dinámicas dependían estrecha y directamente del desarrollo de la investigación científica y técnica. En 1967, se reconoció que los países europeos individuales no podían desarrollar e implementar sus propias políticas en el campo de la tecnología y que debían unir sus fuerzas y aspirar a una organización común. Los fructíferos ejemplos de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN, por sus siglas en francés), para la investigación en física de partículas, de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EUROATOM), el Observatorio Europeo Austral (ESO, por sus siglas en inglés) para la observación astronómica, etc. mostraban claramente el camino a seguir en la cooperación europea en el campo de la ciencia y la tecnología. En octubre de 1967, el Consejo de ministros de la CEE solicitó al grupo de trabajo que examinara las oportunidades de cooperación en seis campos, uno de los cuales fue la meteorología. Se crearon grupos de expertos para cada una de estas áreas. En los informes se debían tomar en consideración las posibilidades de cooperación con estados europeos no pertenecientes a la CEE (Woods 2005).

El largo camino hacia el Convenio

El grupo de expertos en Meteorología recabó la opinión de los servicios meteorológicos nacionales de los seis países de la CEE sobre la cooperación europea en el campo de la predicción del tiempo. En la larga lista de temas suscitados por los servicios meteorológicos en noviembre de 1967 aparece por primera vez una mención a “la investigación y la predicción del tiempo con mayores alcances utilizando una gran instalación europea de computación”. En el informe presentado por el grupo de expertos en abril de 1969 se propusieron seis temas principales de colaboración, siendo dos de ellos los que obtuvieron la aprobación de los representantes gubernamentales: i) operaciones importantes en meteorología moderna y ii) proyectos de equipos meteorológicos.

Mientras tanto, los propios servicios meteorológicos europeos comenzaron a interesarse directamente por las conclusiones del grupo y para ello lo “colonizaron” con representantes suyos. De hecho, el presidente del grupo, E. Süssenger, era también el director del Deutscher Wetterdienst, el servicio meteorológico alemán.

El grupo también examinó el desarrollo y funcionamiento de los satélites meteorológicos. Además, el grupo recomendó la conveniencia de invitar a participar a estados no miembros de la CEE. Esto era especialmente importante en el caso del Reino Unido que contaba con una importante experiencia en predicción numérica y tenía unos muy ambiciosos planes para modernizar y reequipar la Met Office. Finalmente, el grupo de expertos dio prioridad a la propuesta de establecer un “Centro Europeo de Computación Meteorológica para Investigación y Operaciones” enfocado en la predicción a medio plazo. Esto último se debió a la visión de los miembros más desarrollados del futuro centro que consideraban que de la predicción a corto plazo podían encargarse los propios miembros y no hacía falta un centro común que debía

dedicarse a plazo medio sólo. Esta cuestión unida a la de otros aspectos como el uso de los análisis del nuevo centro constituiría una discusión recurrente en el futuro.

En mayo de 1970 el todavía no creado centro se rebautizó como “Centro Europeo de Computación Meteorológica” (EMCC, por sus siglas en inglés). El 10 de junio de 1970, un nuevo grupo de expertos sugirió a los ministros, entre otras cosas, que confirmaran el interés demostrado por todas las delegaciones en la creación del EMCC –cuyo objeto sería proporcionar servicios públicos, realizar investigaciones encaminadas a mejorar estos servicios, principalmente en el campo de la predicción meteorológica a medio y largo plazo, y formar al personal científico de los centros meteorológicos nacionales– y que manifestaran su acuerdo en participar en un estudio detallado del proyecto.

Por esa misma época, en 1971, a partir de una iniciativa para promover la investigación europea más allá del marco de la CEE, se creó formalmente la denominada “Cooperación Europea en Investigación Científica y Técnica” (o simplemente COST) que incluía a 19 estados que prácticamente abarcaban todos los de Europa occidental. De hecho, la acción COST número 70 que se desarrolló entre el 1 de enero de 1970 y el 31 de diciembre de 1973 permitió dar los primeros pasos que cristalizarían en la creación años más tarde del ECMWF (Woods 2005). Significativamente, también en ese mismo año de 1971, los servicios meteorológicos nacionales (SMN) europeos reforzaron su cooperación que hasta entonces se reducía a la representación de sus países en la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Con vistas a influenciar y encauzar de forma coordinada decisiones como la de instaurar el ECMWF, se creó una “Conferencia informal de directores de SMN de Europa occidental (ICWED por sus siglas en inglés) que se reunió por primera vez en Lisboa en 1971, poco después de la reunión del comité de la Acción COST 70,

Medio siglo del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF)

Parte 1: Del impulso político hasta el inicio de las operaciones



Participantes en la reunión GARP que se celebró en la primavera de 1971 en el Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), Princeton, New Jersey, EE. UU.: 1 Joseph Smagorinsky; 2 Frederick G. Shuman; 3 Syukuro Manabe; 4 Kikuro Miyakoda; 5 Akira Kasahara; 6 Yale Mintz; 7 Norman Phillips; 8 Ian Rutherford; 9 David Williamson (para simplificar, sólo aparecen identificados los participantes mencionados en el texto y que tuvieron relación estrecha con el futuro ECMWF. Fuente: Wikipedia)

también en la capital portuguesa.

En Estados Unidos ya se habían alcanzado resultados muy prometedores en las predicciones a medio plazo. El Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) realizó un análisis de 12 predicciones en enero entre 1964 y 1969 utilizando un modelo hemisférico con una resolución horizontal de 270 km en latitudes medias y nueve niveles verticales donde se mostraba que la correlación entre las predicciones y las observaciones del geopotencial en 500 mb se mantenía positiva hasta el día 10, al igual que la pericia de la predicción de las ondas de Rossby de números de onda entre 3 y 5, si bien la pericia de las ondas más largas (número de onda 1 y 2) era menor. No obstante, se observaron problemas con la temperatura en la estratósfera polar, que era más baja de lo observado, y con la excesiva intensidad del chorro subtropical. Además, la energía cinética de los vórtices de escala intermedia se subestimaba en un 25 % y el límite artificial en el ecuador del modelo hemisférico distorsionaba los patrones después del día 8. Para mejorar los resultados de estas integraciones a medio plazo se sugirió aumentar la resolución horizontal y vertical, mejorar la representación de la transferencia de momento en la atmósfera superior y desarrollar modelos

globales en lugar de hemisféricos. Este estudio proporcionó una evaluación clave de los límites de predictibilidad de modelos numéricos desarrollados en los años 60 y 70, y sentó las bases para futuras mejoras en la predicción meteorológica a medio y largo plazo (Miyakoda et al. 1972).

Mientras que el éxito de los modelos de corto plazo dependía principalmente de su capacidad para redistribuir la energía cinética y la energía potencial disponible dentro de la atmósfera, los modelos de circulación general de medio plazo tendrían que ser capaces de describir la producción y disipación de energía, tendrían que incluir el ciclo hidrológico y permitir la formación, el desarrollo y la disipación de los ciclones extratropicales. Además, las interacciones con los fenómenos tropicales implicaban que había que tener en cuenta la circulación del hemisferio sur para realizar pronósticos del hemisferio norte para períodos superiores a una semana aproximadamente. También se preveía que sería necesario abordar las interacciones entre las circulaciones atmosférica y oceánica para obtener predicciones de buena calidad a medio plazo. A diferencia de lo que ocurría en el caso de las predicciones a medio plazo, en aquel momento no existía ningún método prometedor para realizar predicciones a largo

plazo para un período de un mes o una estación mediante métodos dinámicos. Por lo tanto, se tomó la decisión lógica de concentrar las capacidades de investigación y desarrollo en la construcción de modelos atmosféricos adecuados para predicciones dinámicas a medio plazo de calidad creciente, ampliando así la gama de predicciones deterministas útiles en la medida de lo posible. Las predicciones mensuales y estacionales recibieron menor prioridad en la labor inicial del futuro Centro.

Era evidente que el desarrollo y la aplicación rutinaria de modelos atmosféricos para la previsión a medio plazo requerían una enorme capacidad de cálculo. Ni siquiera los ordenadores más rápidos que funcionaban en ese momento serían suficientes. Por lo tanto, se estimó que el establecimiento de un centro de computación meteorológica dedicado en gran medida al desarrollo de la previsión rutinaria a medio plazo sería un proyecto costoso y constituiría un enorme desafío. Probablemente estaría más allá de los recursos financieros y las capacidades de investigación de la mayoría de los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMN) europeos y se requeriría un esfuerzo combinado. Esta conclusión fue apoyada por la previsión de que para aumentar la calidad de la infor-

mación meteorológica el desarrollo futuro de la predicción a corto plazo, en el que se centrarían los SMN europeos, se precisaría de una resolución más fina alcanzable con modelos de área limitada–con el consiguiente esfuerzo computacional– y de una mejora de la predicción cuantitativa de la precipitación.

Aunque la preparación de predicciones rutinarias a medio plazo, junto con las actividades de investigación asociadas, constituyó el principal argumento en favor del proyecto de EMCC, era claramente razonable esperar que este Centro proporcionara formación avanzada en Predicción Numérica del Tiempo (PNT) y disciplinas afines. Se previó que el Centro pondría además sus instalaciones de cálculo avanzado para las actividades de los SMN que lo requiriesen. El Centro también debería servir como banco europeo de datos meteorológicos.

El nuevo Centro se diseñó, desarrolló y creció durante la década de 1970 y principios de la de 1980 en estrecha colaboración con la labor científica y técnica del Programa de Investigación Atmosférica Global (GARP, de sus siglas en inglés), creado en 1967 por la OMM, con la colaboración del Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU, de sus siglas en inglés). El GARP, que duró 15 años, fue quizás la iniciativa científica más ambiciosa en la historia de la meteorología, y quizás incluso en todo el campo de la geofísica. El GARP tenía como objetivo revelar nada menos que los detalles de la dinámica de la atmósfera del planeta. Sus experimentos de campo propiciaron un progreso espectacular en la predicción meteorológica. Uno de ellos, el Experimento Tropical Atlántico del GARP (GATE), que tuvo lugar de junio a septiembre de 1974, no tuvo precedentes en cuanto a su escala y éxito. Unos 70 países participaron en el GATE. Se desplegó un enorme sistema de observación, que incluía más de 40 buques de investigación oceánica y varias aeronaves meteorológicas, así como globos y satélites meteorológicos. Los singulares resultados fueron fundamentales para comprender los sistemas meteorológicos a gran escala de los trópicos. El logro más importante del GARP fue, sin duda, el Primer Experimento Global del GARP (FGGE), planificado primero para 1977, luego para 1978 y culminado en 1979. Los Servicios Meteorológicos Nacionales de 170 países, así como agencias espaciales e institutos de investigación, participaron en FGGE. FGGE recopiló las observaciones más detalladas jamás realizadas de la atmósfera

global con los siguientes cuatro objetivos principales: 1) mejorar la comprensión de los movimientos atmosféricos para el desarrollo de modelos más realistas para la predicción extendida, los estudios de la circulación general y el clima; 2) evaluar el límite máximo de predictibilidad de los sistemas meteorológicos; 3) desarrollar métodos más potentes para la asimilación de observaciones meteorológicas, en particular para la atmósfera tropical y para el uso de datos no síncronos; y 4) diseñar un sistema óptimo de observación meteorológica compuesta para inicializar los modelos usados en PNT. Gracias a la labor de FGGE, contamos con la vasta red de observación de la Vigilancia Meteorológica Mundial de la OMM, que mide y sondea constantemente la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre. FGGE sentó las bases del sistema global de satélites geoestacionarios y de órbita polar. Además de las mejoras en la asimilación de datos, FGGE contribuyó a importantes mejoras en los modelos de predicción.

En noviembre de 1970 se crearon varios de los denominados grupos de estudio formados con expertos de un amplio número de países para analizar diferentes aspectos del futuro Centro como: i) programa del proyecto, en especial el coste del mismo; ii) modelo de predicción y potencia de cálculo necesaria; iii) requisitos y producción de datos del Centro; iv) calendario para la implementación. Uno de los grupos de estudio – el presidido por Heinz Reiser, que más tarde sustituiría a Süssenger como presidente del Deutscher Wetterdienst– recibió el mandato de preparar el informe “Estudio del proyecto del Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Plazo Medio”. Este importante informe de 130 páginas con anexos fue presentado en agosto de 1971 y abarcaba todos los aspectos relevantes para la creación del Centro, incluyendo la organización, implementación y funcionamiento del mismo. La descripción del centro en este informe guarda un enorme parecido con el ECMWF en la actualidad. Se destacaba en él la necesidad de un centro que complementara las actividades de los centros nacionales sin duplicarlas, y que utilizara los ordenadores más potentes disponibles para la predicción meteorológica a medio plazo. El estudio recomendaba que el Centro tuviera un grupo de investigación independiente del grupo operativo, con una clara separación organizativa para proteger las actividades de investigación del aumento de las de-

mandas operativas. También sugería que el Centro proporcionara formación avanzada en PNT y disciplinas relacionadas.

Para estimar los requisitos informáticos, se consideró que en una predicción operativa una relación práctica entre el tiempo de cálculo y el tiempo real debía ser aproximadamente de 1 a 20, lo que corresponde a aproximadamente una hora de tiempo de cálculo para un pronóstico de un día o medio día para una predicción de diez días. Cuando se combinaba esta estimación con las siguientes características del modelo: 200 000 puntos de rejilla, 3 000 operaciones por punto de rejilla y por paso de tiempo, y un paso de tiempo de 5 minutos, se obtenía que un total de 600×10^6 operaciones por paso de tiempo deberían ejecutarse en 15 segundos. Esto significaba una velocidad de cálculo requerida de 40×10^6 instrucciones por segundo o una computadora central de 40 millones de instrucciones por segundo (MIPS). Las suposiciones para el cálculo del modelo representaban una estimación bastante conservadora basada en una experiencia experimental limitada. Por lo tanto, se consideró apropiada una velocidad de aproximadamente 50 MIPS; se previeron mejoras sustanciales adicionales en el modelo que requerirían velocidades de 100 MIPS o incluso superiores. Si se disponía de un ordenador que pudiera actualizarse a por lo menos 50 MIPS sin necesidad de una reprogramación importante, se consideró que sería económico equipar al Centro al principio con un sistema informático de 10 a 20 MIPS. Sin embargo, la fase plenamente operativa no podría comenzar antes de que se dispusiera de una velocidad de cálculo de unos 50 MIPS.

Con respecto al personal, se vio que el Centro necesitaría un director y un Departamento de Investigación con seis científicos senior. Estos tendrían experiencia en PNT y modelización atmosférica y cualificaciones especiales en cada uno de los siguientes campos: **i)** física atmosférica; **ii)** física de la capa límite; **iii)** fenómenos a pequeña escala; **iv)** procedimientos de inicialización; **v)** métodos numéricos; **vi)** diagnósticos estadísticos. Dos científicos jóvenes, capaces de realizar investigaciones originales, ayudarían a cada uno de estos seis científicos senior, programando código del modelo y llevando a cabo actividades de investigación y desarrollo relacionadas bajo la supervisión de los científicos senior. Se consideró que serían necesarios ocho asistentes dentro del personal inves-

Medio siglo del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF)

Parte 1: Del impulso político hasta el inicio de las operaciones



Alberto Ullastres, embajador de España ante las Comunidades Europeas, firmando el Convenio del ECMWF (fuente: ECMWF)

tigador para trabajos auxiliares, como, por ejemplo, programación de nivel inferior. El trabajo de investigación sería coordinado e inspirado por su director adjunto. Además de este personal de investigación permanente, se previó la provisión financiera de al menos cinco puestos adicionales reservados para científicos visitantes de otros grupos de investigación. Estos puestos no sólo reforzarían el potencial del Centro, sino que también ofrecerían excelentes oportunidades para que los científicos europeos trabajaran en problemas especiales en PNT y campos afines.

Un Departamento de Operaciones, bajo la dirección de un director adjunto, se subdividiría en dos secciones. Una sería responsable de las operaciones del sistema informático –y su tamaño dependería de los requisitos de la futura instalación informática– mientras que la otra sección estaría más orientada a lo científico y se encargaría de los aspectos meteorológicos de las aplicaciones rutinarias y de los contactos con los SMN y la OMM. Bajo la supervisión de un director informático, habría cinco científicos y cinco analistas de sistemas. Además, habría cinco programadores y siete asistentes, así como treinta y dos operadores y ocho auxiliares adicionales. Esto significaría una plantilla de 64 personas en el Departamento de Operaciones. Junto con un segundo director adjunto, 26 personas en el Departamento de Investigación y otras 21 en el Departamento de Administración bajo la supervisión de un tercer director adjunto, se estimaba una plantilla total de unas

110 personas, de éstas unas 40 tendrían educación universitaria o cualificaciones equivalentes.

Firma del convenio de creación del ECMWF

El Convenio del ECMWF fue firmado el 11 de octubre de 1973 por los 15 estados miembros europeos iniciales, que fueron Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Países Bajos, Portugal, España, Suecia, Suiza, Reino Unido y Yugoslavia. El Convenio entró en vigor el 1 de noviembre de 1975, marcando el inicio oficial del ECMWF (véase el texto original en (ECMWF 1975)). Este acuerdo estableció el marco legal y organizativo para el funcionamiento del Centro, permitiendo la cooperación internacional en meteorología y el desarrollo de predicciones meteorológicas a plazo medio. El Convenio del ECMWF que solo ha sido enmendado en una ocasión, el año 2005, aunque la enmienda entró en vigor en 2010 y fue ratificada por España en 2011, analiza el marco jurídico, organizativo y operativo que dio origen al Centro (**Disposición 2750 del BOE núm. 38 2011**). Como puede verse allí, la denominación oficial en español, “Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio”, es algo diferente de las que se usan de forma cotidiana en nuestro país.

El Convenio del ECMWF establece y describe que el Centro fue creado con el objetivo de establecer un centro internacional independiente que pudiera mejorar las predicciones meteorológicas a medio

plazo. Esto se lograría mediante: i) cooperación internacional, reuniendo recursos científicos y tecnológicos de los estados miembros para avanzar en la meteorología; ii) investigación y desarrollo, promoviendo el desarrollo de modelos y técnicas avanzadas para extender el rango de las predicciones más allá de los límites existentes en ese momento; iii) uso de tecnología avanzada, aprovechando los supercomputadores y las tecnologías más modernas para procesar datos meteorológicos de manera eficiente; iv) beneficio global, proporcionando predicciones útiles para actividades comerciales, planificación de desastres naturales, y otros sectores clave.

El Convenio define una estructura organizativa clara para garantizar el funcionamiento eficiente del ECMWF. Se compone de los siguientes órganos: **i)** el Consejo, que es el órgano máximo de gobierno, compuesto por representantes de los estados miembros, y se encarga de tomar decisiones estratégicas y supervisar las operaciones del centro; **ii)** el director general, que actúa como el jefe ejecutivo del ECMWF, responsable de implementar las decisiones del Consejo y dirigir las actividades del Centro; **iii)** los comités asesores, que incluyen varios comités especializados, como el Comité Asesor Científico, el Comité de Finanzas, y el Comité Asesor Técnico, que proporcionan recomendaciones al Consejo sobre aspectos específicos como ciencia, finanzas y operaciones técnicas; **iv)** el personal técnico y científico, que incluye un equipo de expertos en meteorología, informática y otras áreas relevantes para llevar a cabo su misión. Posteriormente, en el año 2004, se crearía un nuevo Comité Asesor de Estrategia

El tema de los idiomas oficiales y de trabajo fue un punto crítico en las discusiones en las que España intentó incluir el idioma español en caso de que se aprobaran varios, aunque no fue insistente en esa reclamación. Finalmente, se adoptaron cinco lenguas oficiales (inglés, francés, alemán, italiano y neerlandés) y tres lenguas de trabajo (inglés, francés y alemán). Esto implicaba que había traducción simultánea a y desde las cinco lenguas oficiales en el Consejo, y que algunos documentos serían traducidos a estas cinco lenguas. Dependiendo de los comités, se utilizarían las tres lenguas de trabajo o solamente el idioma inglés. El tema de los idiomas oficiales tendría todavía nuevas discusiones y fue

retomado posteriormente con motivo de nuevas enmiendas al texto del Convenio en 2005. Finalmente, se optó por considerar como oficiales todas las lenguas oficiales de los estados miembros y mantener como lenguas de trabajo las tres inicialmente indicadas. En la actualidad, el inglés es la única lengua utilizada en la práctica.

También fue muy crítico, y dio lugar a muchas discusiones, el tema de admisión de nuevos estados miembros. Algunos países como Noruega rechazaron, por mal calculadas razones científicas, la incorporación al Centro desde el principio de su creación, aunque posteriormente se incorporó. Otros países procedentes de la denominada entonces Europa del Este y con posterioridad a la terminación de la Guerra Fría tuvieron que pasar por la categoría de Estados Cooperantes hasta que se introdujeron las modificaciones en el Convenio para facilitar su incorporación como estados miembros de pleno derecho. Todos los pormenores relacionados con este tema y el de las lenguas, así como el resto de aspectos jurídicos y organizativos, incluida la elección de la sede del ECMWF en el Reino Unido, están perfectamente relatados por Woods (2005).

La implicación de España y el SMN

España fue uno de los estados europeos invitados a formar parte del nuevo Centro y las negociaciones se iniciaron ya en 1970. A pesar de su régimen político autoritario y su escasa influencia en otros campos científicos, en meteorología era un miembro bien conocido de la comunidad, sobre todo a través de la notable actividad internacional del jefe del Servicio Meteorológico Nacional, el coronel Luis de Azcárraga, quien fue durante muchos años miembro del Consejo Ejecutivo de la OMM y su vicepresidente 1º entre 1959 y 1967. A través sobre todo de él, se obtuvo un respaldo político

muy decidido para que España firmara el Convenio de creación del ECMWF. Por una parte, se veía el proyecto como la forma de poder disponer de los mejores productos de predicción numérica, una materia en la que el Servicio apenas disponía de recursos y tenía una experiencia muy modesta, y por otra parte la participación de España en un proyecto internacional siempre servía para disminuir el aislamiento en el que todavía se encontraba el régimen. El asunto se discutió a alto nivel y el Ministerio del Aire, del que dependía el Servicio, ofreció un apoyo entusiasta que propició el que España fuera uno de los 15 signatarios iniciales. Los representantes españoles acudieron con asiduidad a las reuniones preparatorias. A las del Comité de Finanzas solían hacerlo oficiales de intendencia del Ejército del Aire y a las primeras reuniones del Consejo, que --a falta del edificio que se construiría en Reading, a 60 km de la capital británica-- estuvo reuniéndose en Londres, los meteorólogos Pedro Rodríguez Franco y Miguel Ballester. Una alumna de este último en la Universidad de Barcelona, Evangelina Oriol, fue la primera persona de nacionalidad española entre el personal del Centro.

Desarrollo de un modelo propio y comienzo de las operaciones

El primer director del ECMWF, el profesor danés Aksel Wiin-Nielsen, que había desarrollado parte de su carrera en EE. UU. y conocía muy bien los avances que allí se habían hecho en modelización atmosférica, contactó con el grupo de la Universidad de California-Los Angeles (UCLA) dirigido por los profesores Yale H. Minz y Akio Arakawa y con el grupo del Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) dirigido por Joseph Smagorinsky y que contaba con Syukuro Manabe y con Kikuro Miyakoda. El modelo del GFDL era heredero del primitivo desarrollado por Norman Phillips. Am-

bos grupos se mostraron muy generosos y colaborativos al proporcionar el software de sus respectivos modelos para que los científicos del incipiente ECMWF pudiesen estudiar, analizar y evaluar sus características de cara al desarrollo de un modelo propio del Centro. En el caso del GFDL quizás esta generosidad hacia el ECMWF, como apunta Woods (2005), procede de la frustración por parte de Smagorinsky de intentar convencer al director del National Meteorological Center (NMC) de EE. UU., Frederick G. Shuman, para que aprovecharse los resultados obtenidos por Miyakoda en el GFDL y que iniciase en el NMC un programa de predicción operativa a medio plazo. Finalmente, tras años sin lograr convencer al NMC de que se involucrara en la predicción a medio plazo, Smagorinsky se volcó en ayudar al naciente centro europeo, dirigido por respetados colegas y amigos y encargado de la implementación operativa de una de las iniciativas más importantes del GFDL. Este movimiento estratégico de apoyarse en los avances hechos por los centros de investigación norteamericanos colocó a Europa por delante de EE. UU. en la predicción numérica operativa para el plazo medio y así se ha mantenido hasta nuestros días.

Para esta familiarización y transferencia de los códigos de los modelos de UCLA y GFDL al ECMWF, R. Sadourny y A. Hollingsworth realizaron unas estancias en Los Ángeles y Princeton, respectivamente, y al final se trajeron copias de ambos códigos para su implementación en la máquina CDC 6600 instalada en Bracknell donde el personal del recién creado Centro estuvo provisionalmente hasta que se finalizaron e inauguraron en 1979 las nuevas instalaciones en Shinfield Park, Reading. De hecho, el primer informe técnico del ECMWF (Arpe et al. 1976) trata de la comparación de una única predicción a 10 días realizada con tres modelos (el modelo de UCLA y dos ver-

Aksel Wiin-Nielsen, Joseph Smagorinsky y Yale Mintz artífices de la estrecha colaboración inicial entre ECMWF, GFDL y UCLA para la construcción del primer modelo del ECMWF (fuentes: ECMWF, Wikipedia y AMS)



Medio siglo del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF)

Parte 1: Del impulso político hasta el inicio de las operaciones

siones del modelo del GFDL con diferentes resoluciones). La influencia de los modelos de UCLA y GFDL en el modelo inicial del ECMWF aparece reconocida por Edwards (2010) que muestra el árbol genealógico de los principales modelos atmosféricos de circulación general hasta mediados de los años 1980. La influencia mutua de los distintos grupos que han trabajado y trabajan en este campo tuvo lugar desde el principio del desarrollo de los modelos. El intercambio de conceptos, técnicas matemáticas y códigos informáticos era completamente habitual en la modelización del tiempo y del clima desde mediados de la década de 1960. En lugar de empezar desde cero, prácticamente todos los nuevos grupos de modelización partían de alguna versión del modelo de otro grupo. La disponibilidad de los códigos en el lenguaje informático científico FORTRAN (abreviatura de FORMulaTRANslation) que estaba bien estandarizado y era ampliamente compartido facilitó sustancialmente estos intercambios, al igual que la cultura internacionalista de la ciencia meteorológica. De hecho, en un reciente estudio centrado en la componente atmosférica de la genealogía de 167 modelos atmosféricos, modelos de circulación general y modelos del sistema Tierra (de los cuales 114 han participado en los proyectos CMIP3, CMIP5 y CMIP6) resulta que diferentes versiones del modelo de ECMWF forman parte o han contribuido esencialmente en 23 modelos participantes en algunos de los proyectos CMIP (Kuma et al. 2023).

D. Burridge, J. Haseler y R. Gibson codificaron entre 1976 y 1977 la parte adiabática del modelo utilizando un esquema en diferencias finitas en el que se basaría la primera versión operativa del modelo del ECMWF hasta su sustitución años después por una versión espectral del modelo. Esta versión, para mantener un paso de tiempo razonable de cara a las operaciones, incluía un esquema de discretización temporal semi-implícito (Burridge y Haseler, 1977).

Respecto a las parametrizaciones físicas, se manejaron dos posibles alternativas: la física del modelo del GFDL y la física desarrollada por el propio equipo del ECMWF formado por A. Hollingsworth, M. Tiedtke,

J.F. Geleyn y J.F. Louis. La física del GFDL había sido bien evaluada y era robusta, aunque ya tenía 15 años de antigüedad e incluía una representación bastante simplificada de los procesos físicos a parametrizar. Por el contrario, el paquete físico desarrollado en el ECMWF era más complejo, con más retroalimentaciones, incluía formulaciones más actualizadas de los procesos físicos, aunque todavía presentaba comportamientos no suficientemente conocidos (Tiedtke et al. 1979). Como ambas físicas dieron resultados similares, en términos de calidad de las predicciones, cuando se compararon siete predicciones

para asegurar que las observaciones vecinas fuesen consistentes entre sí. El equipo formado por A. Lorenc, I. Rutherford y G. Larsen codificó este análisis basado en interpolación óptima tridimensional (Lorenc et al. 1977). De esta forma, desde el principio el Centro tuvo control total sobre todo su sistema de asimilación de datos y predicción.

Los análisis basados en interpolación óptima no están completamente equilibrados, los campos de masa y viento no son totalmente consistentes. Por consiguiente, si las predicciones se ejecutan directamente a partir de los análisis, se producen ajustes en los campos de masa, temperatura y viento, que generan oscilaciones de ondas de gravedad de gran amplitud en las primeras horas de predicción. Un proceso llamado "inicialización" elimina estas oscilaciones sin destruir las estructuras meteorológicamente significativas. En el modelo se implementó por C. Temperton y D. Williamson (1979) entre el análisis y la predicción la denominada "Inicialización No Lineal por Modos Normales" con la ayuda de su creador B. Machenhauer.

La primera predicción a medio plazo en tiempo real del Centro se realizó justo a tiempo para la inauguración oficial del edificio en Shinfield Park, Reading, el 15 de junio de 1979, siendo el 1 de



El director del ECMWF, Axel Wiin-Nielsen, (izda.) acompañando al Príncipe Carlos (centro) en la inauguración de la sede del ECMWF en Reading el 15 de junio de 1979 (fuente:ECMWF)

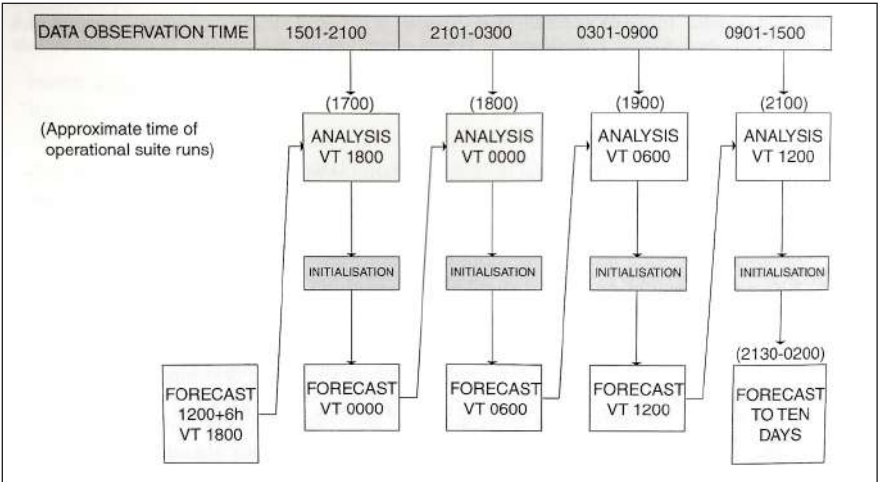
correspondientes a situaciones en febrero de 1976 realizadas con las dos alternativas de parametrizaciones físicas (Hollingsworth et al. 1978), se optó por elegir la formulación más compleja y actualizada desarrollada en el propio Centro y que poseía un mayor potencial de mejora en el futuro.

La selección de un buen sistema de asimilación de datos era crucial. L. Bengtsson, en aquel momento jefe de Investigación poseía una experiencia muy relevante gracias a su trabajo en la preparación del FGGE. De hecho, esta experiencia permitió tomar decisiones estratégicas importantes como usar un modelo global –y no un sistema hemisférico o regional– y desarrollar un análisis basado en la interpolación óptima tridimensional que usaba las estadísticas de observaciones pasadas de temperatura, viento, humedad, etc., para asegurar el mejor uso de las observaciones actuales y

agosto de 1979 la fecha de inicio de las operaciones con predicciones hasta 10 días, pero solo cinco días por semana. Las predicciones para los siete días de la semana empezaron el 1 de agosto de 1980. El primer modelo operativo del Centro era un modelo global en diferencias finitas con un tamaño de la rejilla horizontal de 1.875 grados en latitud y longitud y 15 niveles en la vertical. Cada ciclo de asimilación de las observaciones del sistema de predicción abarcaba 6 horas y en esta ventana temporal todas las observaciones eran consideradas simultáneas.

La *Technical Newsletter* N° 5 del ECMWF describe así el primer día de operaciones:

"El 1 de agosto de 1979 fue un día muy tenso para el personal del Centro. Después de muchos meses de trabajo, preparación y pruebas, había llegado el día de la primera predic-



Ciclo de asimilación de 6 horas utilizado en el primer sistema de predicción del ECMWF. Los números entre paréntesis sobre las cajas de los análisis indican la hora real en la que se realizan los correspondientes análisis (fuente: ECMWF).

ción operativa a plazo medio que se realizaría en el Centro y se enviaría en tiempo real a los servicios meteorológicos nacionales de los estados miembros. El pronóstico se basaría en un estado inicial para las 12:00 Z del 1 de agosto y los resultados de hasta 7 días se pondrían a disposición de los estados miembros. Todo empezó sin problemas. Hasta que el sistema de telecomunicaciones estuviera completamente operativo, el Centro recibía sus datos de observación de entrada en formato GTS sin procesar, copiados en cinta magnética por la Met Office del Reino Unido y trasladados en coche al Centro. Las cintas, que contenían los datos ... lle-

garon a tiempo y los datos que contenían fueron decodificados y se controló su calidad. [...] Los análisis de las 06:00 y de las 12:00 del 1 de agosto comenzaron, pero luego, inevitablemente quizás durante estas “primeras noches”, surgieron problemas en el sistema informático que interfirieron con el progreso de la predicción. Para las 02:00, sólo se había completado el primer día de predicción, cuando para entonces debería haberse alcanzado hasta el séptimo día. El personal de turno comenzaba a preocuparse de que se perdiera este primer pronóstico operativo del Centro. Se tomó la decisión

de reiniciar el CRAY-1 con una versión diferente del sistema operativo CRAY, y los problemas desaparecieron. La predicción se reinició y, para alivio y satisfacción de todos, se ejecutó sin más problemas. De esta manera se produjeron los primeros resultados operativos del Centro, con unas cuatro horas de retraso, pero, aun así, la predicción se hizo, según lo previsto.”

Desde esta primera e histórica predicción del 1 de agosto de 1979 hasta la actualidad el ECMWF ha recorrido un largo camino de éxito mejorando el modelo y la asimilación de datos, introduciendo la predicción por conjuntos, extendiendo el alcance de las predicciones, ampliando su actividad con los servicios Copernicus de monitorización de la atmósfera y de cambio climático y desarrollando nuevas líneas relacionadas con la utilización de inteligencia artificial y construcción de gemelos digitales. Todo este recorrido será objeto de la segunda parte de esta contribución.

Reconocimientos

Para escribir esta breve nota de conmemoración de los 50 años de existencia del ECMWF he utilizado exhaustivamente el libro de Austin Woods que describe la historia del Centro hasta sus primeros 30 años de existencia. Agradezco también a Manolo Palomares sus sugerencias de incluir alguna información adicional que ayuda a comprender mejor el contexto en el que se creó el ECMWF

Referencias

● Arpe, K., Bengtsson, L., Hollingsworth, A., Janjic, Z.I. (1976). A case study of a ten day forecast. ECMWF Technical Report No. 1. Disponible en <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/73501-case-study-ten-day-forecast>

● Burridge, D.M., Haseler, J. (1977). A model for medium range weather forecasts - adiabatic formulation. ECMWF Technical Report No. 1. Disponible en <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/73863-model-medium-range-weather-forecasts-adiabatic-formulation>

● ECMWF (1975). Convención original y protocolo sobre privilegios e inmunidades. Disponible en https://www.ecmwf.int/sites/default/files/convention_protocol_privileges_original_sp.pdf

● ECMWF (1979). ECMWF Technical Newsletter No. 5. Disponible en https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/101979/19024-technical-newsletter-no-5-october-1979_1.pdf

● ECMWF (2011). ECMWF Background and History. Available at http://www.ecmwf.int/about/corporate_brochure/leaflets/Background-History-2012.pdf

● Edwards, P.N. (2010). A Vast Machine: Computer Models, Climate Data, and the Politics of Global Warming. Cambridge, MA: MIT Press.

● Hollingsworth, A., Arpe, K., Tiedtke, M., Capaldo, M., Sävijärvi, H., Åkesson, O., Woods, J.A. (1978). Comparison of medium range forecasts made with two parameterisation schemes. ECMWF Technical Report No. 13. Disponible en <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/74856-comparison-medium-range-forecasts-made-two-parameterisation-schemes>

● Kuma, P., Bender, F.A.-M., Jönsson, A.R. (2023). Climate model code genealogy and its relation to climate feedbacks and sensitivity. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 15, e2022MS003588. <https://doi.org/10.1029/2022MS003588>

● Lorenc, A., Rutherford, I., Larsen, G. (1977). The ECMWF analysis and data assimilation scheme: Analysis of mass and wind field. ECMWF Technical Report No.7. Disponible en <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/1977/10812-ecmwf-analysis-and-data-assimilation-scheme-analysis-mass-and-wind-field.pdf>

● Miyakoda, K., Hembree, G.D., Strickler, R.F., and Shulman, I. (1972) Cumulative results of extended forecast experiments. Monthly Weather Review 100: 836-855, [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0836:CROEFE>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0836:CROEFE>2.3.CO;2)

● Temperton, C., Williamson, D.L. (1979) Normal mode initialization for a multi-level grid-point model. ECMWF Technical Report No. 11. Disponible en <https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/1979/12646-normal-mode-initialization-multi-level-grid-point-model.pdf>

● Tiedtke, M., Geleyn, J.-F., Hollingsworth, A., Louis, J.-F. (1979). ECMWF model parameterisation of sub-grid scale processes. ECMWF Technical Report No. 10. Available at <https://www.ecmwf.int/en/elibrary/76699-ecmwf-model-parameterisation-sub-grid-scale-processes>

● Woods, A. (2005). Medium-Range Weather Prediction: The European Approach. The Story of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. Springer, 286 pag., ISBN-10:1441920919, ISBN-13: 978-1441920911

Descripción del invierno a escala global en el Hemisferio Norte

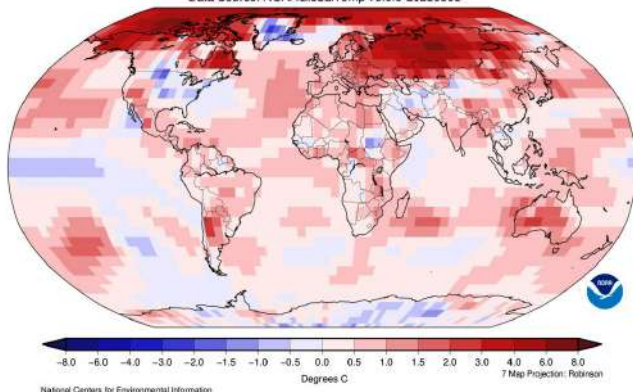
TEMPERATURA

La temperatura global de la superficie entre diciembre de 2024 y febrero de 2025 fue la segunda más cálida en los 176 años de registros, 1.29 °C por encima de la media del siglo XX de 12.1°. La temperatura global sobre la tierra fue récord, mientras que sobre los océanos fue la segunda más cálida para el trimestre diciembre -febrero.

En los continentes las temperaturas fueron muy superiores a la media en la mayor parte de Sudamérica, Europa y gran parte de Asia, así como en Australia. En el continente africano, las temperaturas fueron entre cálidas y muy superiores a la media. Se registraron temperaturas récord en zonas como el Ártico occidental, el centro de Rusia, el este de Mongolia, zonas del centro y este de África, el noroeste de Argentina y el suroeste de Australia, pero en general las temperaturas récord fueron inferiores a las registradas entre diciembre de 2023 y febrero de 2024. Australia registró el segundo verano más cálido de su historia. Las temperaturas en gran parte de la franja septentrional de Norteamérica, el Ártico y gran parte de Rusia central superaron la media en más de 4.0 °C, con algunas grandes extensiones por encima de la media en más de 8.0 °C. El Ártico en su conjunto vivió el invierno más cálido jamás registrado.

Land & Ocean Temperature Departure from Average Dec 2024-Feb 2025
(with respect to a 1991-2020 base period)

Data Source: NOAA GlobalTemp v6.0.0-20250306



Anomalías de temperatura (°C) del trimestre diciembre 2024 - febrero de 2025 respecto de las normales de 1991-2020.

Fuente: NCEI/NOAA.

En contraste con el calor anómalo y las condiciones de calor récord, en Norteamérica se registró una amplia zona con temperaturas cercanas a la media en diciembre-febrero, desde el centro-sur de Canadá hasta el este del país, pasando por el centro de Estados Unidos. Las temperaturas estacionales por debajo de la media también afectaron a gran parte de Groenlandia, amplias zonas de la Antártida y un área que se extendía desde Sudán hacia el noreste a través del suroeste de Asia hasta el noroeste de China.

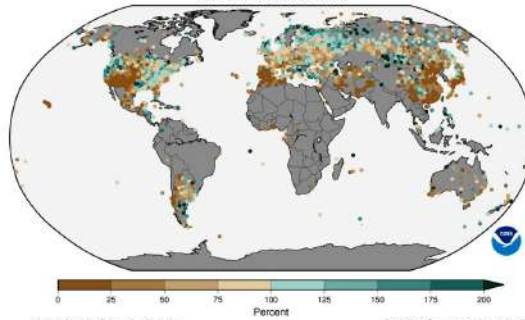
PRECIPITACIÓN

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.

En diciembre de 2024 y febrero de 2025 predominaron las anomalías secas en el continente europeo. Por el contrario en enero de 2025 hubo grandes extensiones en el norte de Europa y Asia donde las anomalías húmedas fueron destacadas. En el continente norteamericano y América Central en general predominaron anomalías secas de precipitación.

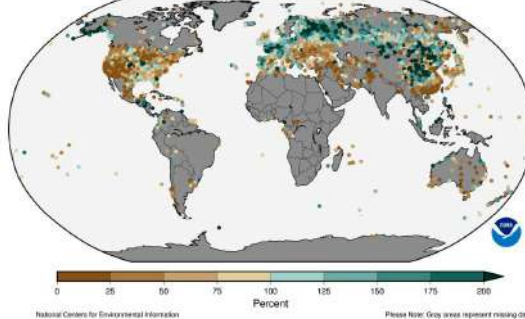
Land-Only Percent of Normal Precipitation Dec 2024
(with respect to a 1961-1990 base period)

Data Source: GHCN-M version 4



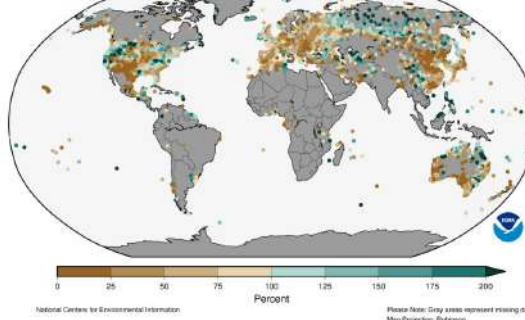
Land-Only Percent of Normal Precipitation Jan 2025
(with respect to a 1961-1990 base period)

Data Source: GHCN-M version 4



Land-Only Percent of Normal Precipitation Feb 2025
(with respect to a 1961-1990 base period)

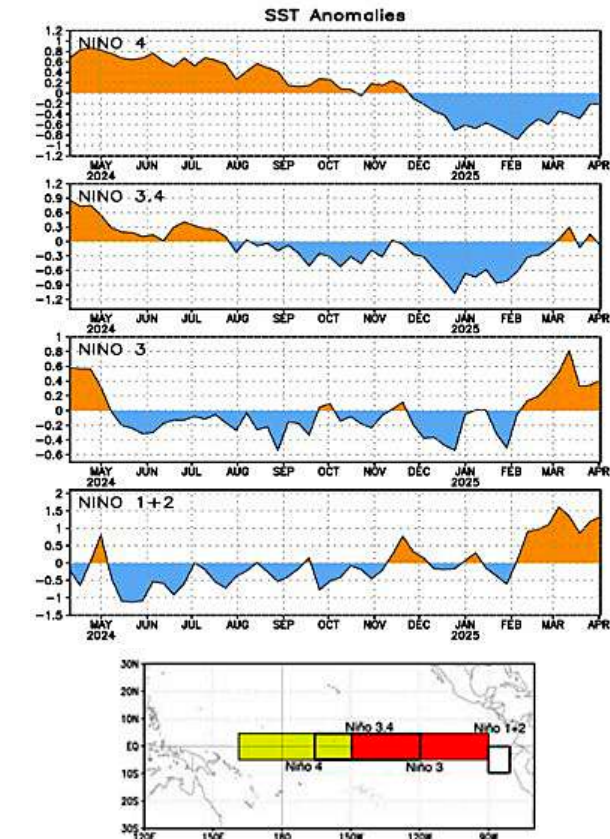
Data Source: GHCN-M version 4



Tanto por ciento de la precipitación de junio-julio-agosto de 2024 respecto de la normal de 1961-90. Fuente: NCEI/NOAA.

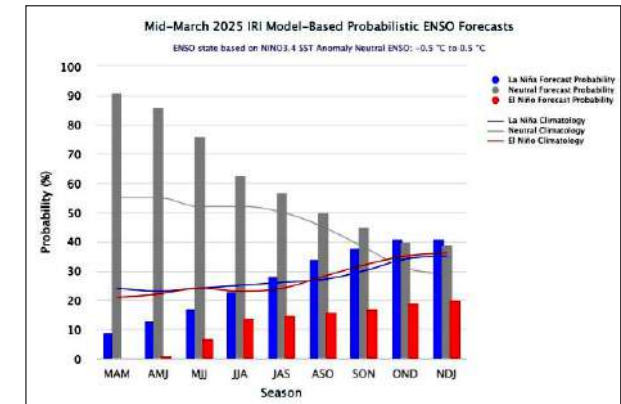
EL NIÑO

A lo largo del invierno boreal ha habido un periodo de condiciones La Niña pero de intensidad débil. En el trimestre comprendido entre diciembre de 2024 y febrero de 2025 las observaciones semanales de las SST (temperaturas de la superficie del agua del mar) estuvieron por debajo del promedio en todas las regiones Niño salvo en la región 1+2 donde alternaron los valores de los índices por encima y por debajo de cero.



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 1991-2020 y gráfico con las regiones de El Niño. Fuente: NOAA.

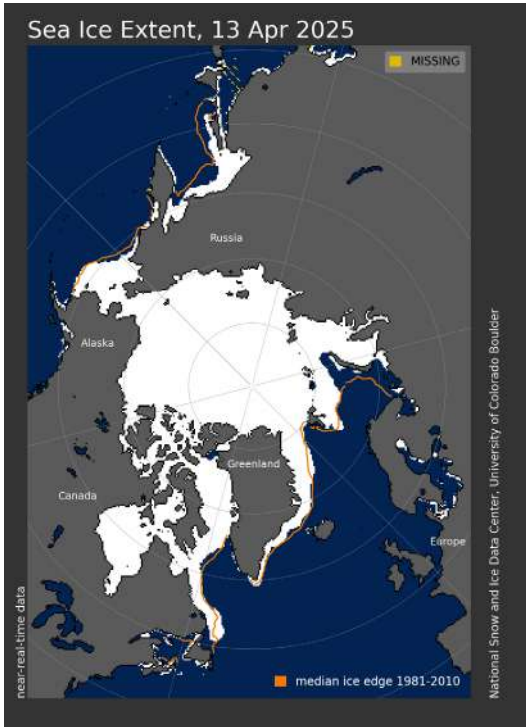
Los modelos de predicción para los siguientes meses indican con una probabilidad muy alta que predominarán las condiciones ENSO neutral.



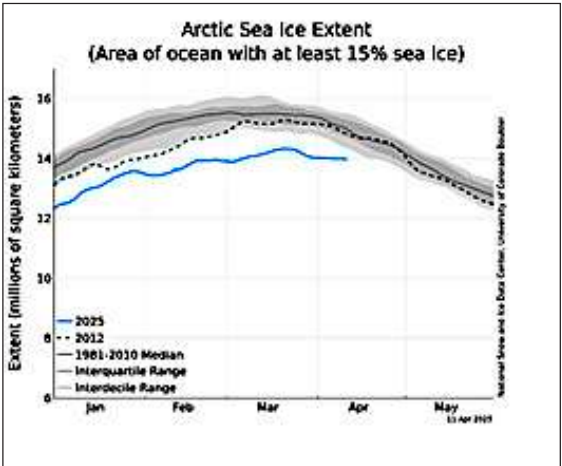
Probabilidad estimada de que se den condiciones de ENSO neutral (gris), El Niño (rojo) o La Niña (azul) durante los próximos trimestres. Se espera que durante los próximos meses predominen las condiciones ENSO Neutral. Fuente: IRI/CPC

EXTENSIÓN DEL HIELO MARINO EN EL OCÉANO GLACIAL ÁRTICO

Según el Centro Nacional de Datos de Hielo y Nieve (NSIDC) en el océano Glacial Ártico la extensión media del hielo marino en marzo de 2025 fue de 14.14 millones de kilómetros cuadrados. Esta extensión ha sido la más baja en el registro satelital de 47 años y 150.000 kilómetros cuadrados por debajo del récord mínimo anterior de marzo establecido en 2017. Después de un estancamiento en el crecimiento del hielo a finales de febrero que persistió hasta principios de marzo, la extensión del hielo aumentó a un ritmo cercano a la media hasta alcanzar una extensión máxima anual récord de 14.33 millones de kilómetros cuadrados. Durante este periodo de crecimiento del hielo, el borde del hielo se expandió hacia el sur en el mar de Bering, el mar de Ojotsk, el mar de Barents y la parte septentrional del mar de Groenlandia oriental. El borde de hielo también se expandió a lo largo del borde meridional del mar de Labrador, mientras retrocedía.



Extensión de hielo marino en el océano Glacial Ártico en abril de 2025. La línea naranja representa la mediana correspondiente al periodo de referencia 1981-2010. Fuente: NSIDC



Extensión del hielo marino del océano Glacial Ártico del 11 de abril de 2025, junto con los datos de extensión de hielo diario correspondientes a los tres meses anteriores de 2025 y a los datos de extensión de hielo correspondientes al año 2012. El promedio del periodo 1981-2010 aparece en gris oscuro. El área gris clara, alrededor de la mediana muestra los rangos intercuantiles e interdeciles de los datos. Fuente: NSIDC

Descripción del invierno en España

TEMPERATURA

El invierno 2024-25 (periodo comprendido entre el 1 de diciembre de 2024 y el 28 de febrero de 2025) ha tenido un carácter muy cálido, con una temperatura media sobre la España peninsular de 7.8 °C, valor que queda 1.2 °C por encima de la media de esta estación (periodo de referencia 1991-2020). Ha sido el sexto invierno más cálido desde el comienzo de la serie en 1961 y el quinto más cálido del siglo XXI.

El invierno tuvo un carácter cálido o muy cálido en prácticamente toda la España peninsular y en Baleares. En Canarias tuvo un carácter variable de unas zonas a otras, resultando en conjunto muy cálido.

Las anomalías térmicas se situaron en torno a +1 °C en la mayor parte de la España peninsular, salvo en algunos puntos del Cantábrico oriental y del sistema Ibérico, en los que alcanzaron valores cercanos a +2 °C, y en puntos aislados de ambas mesetas, de Extremadura, de Aragón y de Andalucía, en los que se situaron cerca de 0 °C. En Baleares, las anomalías estuvieron próximas a +1 °C, mientras que en Canarias tomaron valores comprendidos entre 0 °C y +1 °C.

Las temperaturas máximas diarias

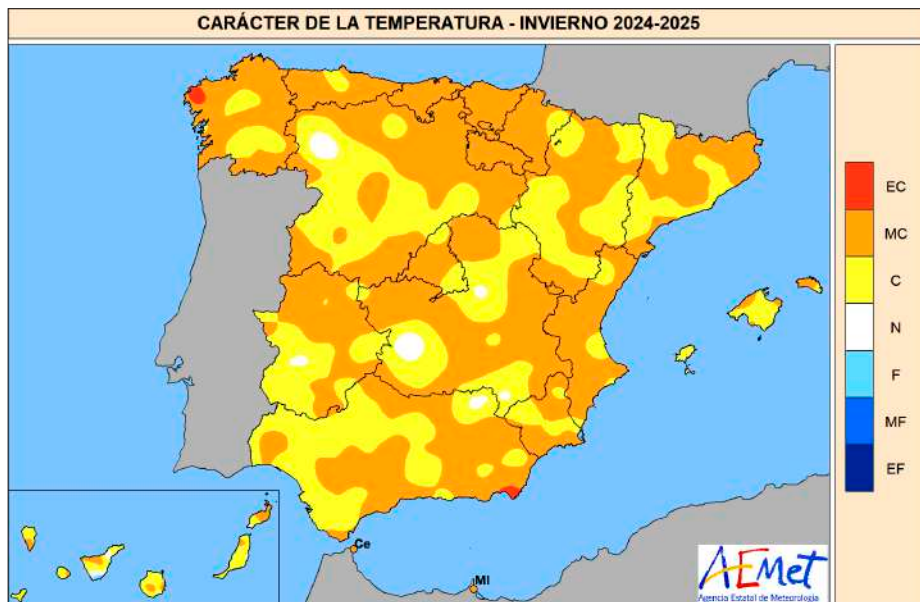
quedaron en promedio 1.5 °C por encima del valor normal, mientras que las mínimas se situaron 0.9 °C por encima de la media, resultando una oscilación térmica diaria 0.6 °C superior a la normal del trimestre. El invierno comenzó con un mes de diciembre cálido, con una temperatura media en la España peninsular que se situó 0.7 °C por encima de la media del mes. Enero y febrero fueron ambos muy cálidos, con una temperatura 1.4 °C y 1.5 °C por encima de la media, respectivamente.

Diciembre fue cálido o muy cálido en la mayor parte de las regiones mediterráneas y de los sistemas montañosos de la España peninsular, mientras que tuvo un carácter normal o frío en amplias zonas del interior de Galicia, ambas mesetas y valles del Ebro, Guadiana y Guadalquivir. En Baleares fue frío o normal, mientras que en Canarias tuvo un carácter variable de unas zonas a otras, resultando en conjunto muy cálido. Las anomalías térmicas se situaron alrededor de +1 °C en la cordillera Cantábrica, sistemas Central e Ibérico, y en amplias zonas del sur del País Vasco y de Navarra, norte de Aragón, Cataluña, Comunitat Valenciana, Región de Murcia, norte de Extremadura y centro y este de Andalucía. En el

resto de la España peninsular las anomalías tomaron valores en torno a 0 °C, llegando a observarse anomalías negativas, cercanas a -1 °C, en puntos de la meseta norte y del valle del Guadiana. En Baleares, las anomalías se situaron alrededor de 0 °C, mientras que en Canarias tomaron valores mayoritariamente comprendidos entre 0 y +1 °C.

Enero fue muy cálido en la mayor parte del tercio occidental y del tercio sur de la península ibérica, así como en las regiones mediterráneas, llegando a resultar extremadamente cálido en algunos puntos de Galicia y de Andalucía, mientras que tuvo un carácter cálido o normal en algunas zonas del noreste y del centro peninsular. En Baleares fue muy cálido o extremadamente cálido, mientras que en Canarias tuvo un carácter variable de unas zonas a otras, resultando en conjunto muy cálido. Las anomalías térmicas se situaron alrededor de +2 °C en amplias zonas de Castilla y León y de la Comunitat Valenciana y en puntos de Galicia, del Cantábrico y del noreste de Cataluña. En el resto de la España peninsular las anomalías tomaron valores en torno a +1 °C salvo en el norte de Aragón, noroeste de Cataluña y en algunos puntos de ambas mesetas, donde estuvieron alrededor de 0 °C. En Baleares, las anomalías se situaron en torno a +2 °C, mientras que en Canarias tomaron valores comprendidos entre 0 y +2 °C en la mayoría de las zonas.

Febrero fue muy cálido en amplias zonas de Galicia, del Cantábrico y del centro peninsular, mientras que resultó cálido en el resto de la España peninsular. En Baleares fue cálido en la mayoría de las zonas, y en Canarias tuvo un carácter cálido o normal. Las anomalías térmicas se situaron alrededor de +3 °C en el norte del País Vasco y de Navarra, y en torno a +2 °C en el norte de Galicia, Asturias, Cantabria, sur del País Vasco, La Rioja, centro y sur de Navarra, sur y noreste de Castilla y León, el Pirineo aragonés, sur de Aragón y en zonas de Extremadura, Comunidad de Madrid, Castilla-La Mancha e interior de Andalucía. En el resto de la España peninsular



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

las anomalías tomaron valores alrededor de +1 °C. En Baleares, las anomalías se situaron en torno a +1 °C, mientras que en Canarias tomaron valores comprendidos entre 0 y +1 °C en la mayoría de las zonas.

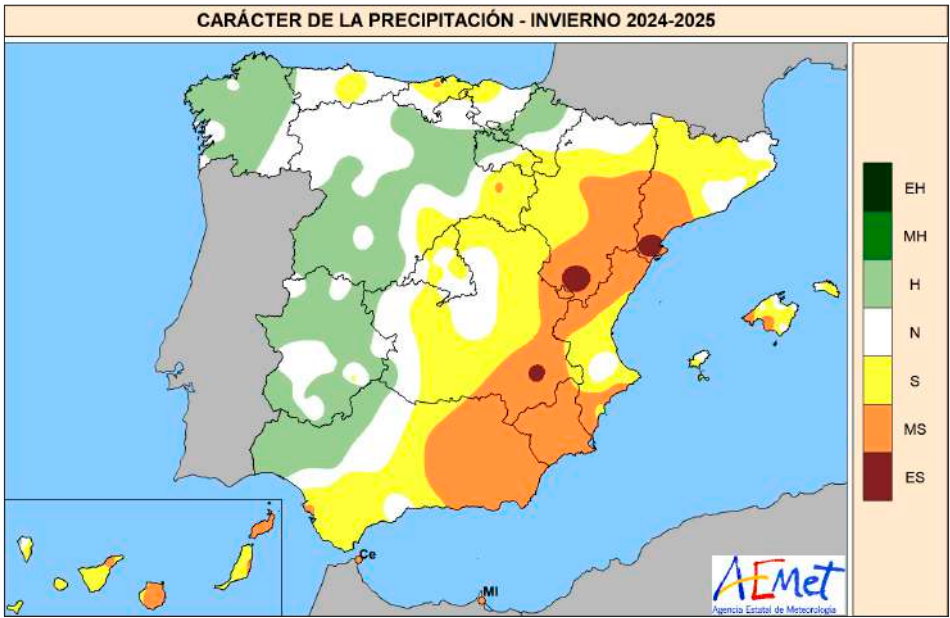
EPISODIOS MÁS DESTACADOS

Durante el invierno fueron frecuentes los episodios cálidos. Destacaron, por su intensidad y duración, los episodios cálidos de los días 1-7 de diciembre, 8-12 de enero, 21-27 de enero, y el extenso episodio de los días 9-22 de febrero, en los que tanto las temperaturas máximas como las mínimas tomaron valores muy por encima de los habituales para la época del año.

Las temperaturas más altas del invierno entre estaciones principales correspondieron a La Palma/aeropuerto, donde se registraron 28.8 °C el 15 de diciembre, Santa Cruz de Tenerife, con 28.6 °C el 1 de diciembre, Fuerteventura/aeropuerto, con 28.3 °C el 1 de diciembre, y Murcia, donde se midieron 28.1 °C el 27 de enero.

En cuanto a bajas temperaturas, hubo varios episodios fríos con temperaturas por debajo de las normales, si bien ninguno de ellos puede considerarse como ola de frío. En diciembre destacó el episodio frío de los días 8-16, con máximas y mínimas por debajo de las habituales para la época del año, y el episodio que se extendió entre el 29 de diciembre y el 2 de enero. En enero destacó el episodio frío de los días 13-19, durante el cual se alcanzaron las temperaturas más bajas del invierno, registrándose intensas heladas nocturnas en muchas zonas del interior peninsular, si bien las máximas se situaron alrededor de los valores medios. En febrero no hubo ningún episodio frío significativo.

Destacaron entre estaciones principales los 11.2 °C de Molina de Aragón observados el 14 de enero, los -9.7 °C de Salamanca/aeropuerto el 14 de enero, los -9.6 °C de Teruel medidos también el 14 de enero, y los -8.7 °C de Burgos/aeropuerto, registrados el 15 de enero. En cinco estaciones principales (Jaén, El Hierro/aeropuerto, La Palma/aeropuerto, Santa Cruz de Tenerife y Tenerife/Los Rodeos), la mayoría de ellas localizadas en Canarias, se registró



Carácter de la precipitación acumulada en invierno respecto a los quintiles del periodo de referencia 1991-2020

la temperatura mínima diaria más alta en un invierno desde el comienzo de las observaciones.

PRECIPITACIÓN

El invierno ha sido en su conjunto seco en cuanto a precipitaciones, con un valor de precipitación media sobre España peninsular de 145.9 mm, valor que representa el 77 % del valor normal del trimestre en el periodo de referencia 1991-2020. Se ha tratado del décimo sexto invierno más seco desde el comienzo de la serie en 1961, y el séptimo del siglo XXI.

El invierno ha tenido carácter entre normal y húmedo en la mitad oeste de la Península, con excepción de puntos de Asturias, de Cantabria y de País Vasco donde ha mostrado carácter seco. En contraste, ha sido entre seco y muy seco en la mitad este peninsular y ambos archipiélagos, llegando a extremadamente seco en pequeñas zonas del sur de Cataluña, sur de Aragón y del suroeste de Castilla-La Mancha.

El invierno comenzó con un mes de diciembre muy seco, con un valor de precipitación media sobre la España peninsular de 23.9 mm. Se trató del quinto mes de diciembre más seco de la serie desde 1961, y del segundo del siglo XXI. Por el contrario, enero tuvo carácter húmedo, con un valor de precipitación media sobre la España

peninsular de 87.9 mm. Finalmente, febrero tuvo carácter seco en cuanto a precipitaciones, con un valor de precipitación media sobre la España peninsular de 34.1 mm.

Diciembre de 2024 fue entre seco y muy seco en casi todo el territorio peninsular y el archipiélago balear. Por el contrario, diciembre mostró carácter entre normal y húmedo en gran parte de la cornisa cantábrica, Cataluña, puntos del levante peninsular y la isla de Ibiza. En el archipiélago canario fue mayoritariamente entre normal y seco, salvo en las islas occidentales donde ha mostrado zonas con un carácter húmedo.

Enero de 2025 ha sido entre húmedo y muy húmedo en la mitad oeste del territorio peninsular y sur de las islas Canarias, llegando a extremadamente húmedo en puntos costeros de Galicia. Por el contrario, enero ha mostrado carácter entre normal y seco en la mitad este peninsular y la cornisa cantábrica, así como el archipiélago balear y norte de las islas canarias orientales.

Febrero ha sido entre normal y seco en casi toda la Península y las islas Canarias, llegando a muy seco en el sur de Tenerife y Gran Canaria y en algunos puntos Cantabria, País Vasco, sur de Aragón y del interior de la Comunitat Valenciana. Por el contrario, febrero ha mostrado carácter húmedo en la costa ➡

Descripción del invierno en España

→ gallega y asturiana, en Castilla y León, este de La Rioja, gran parte de Cataluña y norte de Mallorca e Ibiza.

EPISODIOS MÁS DESTACADOS

En diciembre, las mayores precipitaciones diarias registradas en observatorios principales se dieron el día 8 en Pamplona/aeropuerto donde se registraron 56.1 mm, valor que constituye el más alto de su serie desde 1975 y en Foronda-Txokiza con 43.6 mm, el día 12 en Málaga/aeropuerto con 52.9 mm, el día 18 en Santiago de Compostela/aeropuerto con 49.1 mm y en Vigo/Aeropuerto con 45.8 mm, y el día 24 en Donostia/San Sebastián/Igeldo con 43.3 mm. En cuanto a la precipitación total

del mes entre las estaciones principales, destacan los 225.9 mm de Hondarribia/Malkarroa, los 197.8 mm de Donostia/San Sebastián/Igeldo, los 159.5 mm de Bilbao/aeropuerto y los 146.5 mm de Santander/aeropuerto.

En enero, las mayores precipitaciones diarias registradas en observatorios principales se dieron el día 26 en A Coruña/aeropuerto donde se registraron 96.7 mm, en Albacete con 58.8 mm y en Alicante-Elche/aeropuerto con 47.6 mm, y el día 8 en Santiago de Compostela/aeropuerto con 75.7 mm. En cuanto a la precipitación total del mes, entre las estaciones principales, destacan los 473.7 mm de Santiago de Compostela/aeropuerto, los 468.4

mm de A Coruña/aeropuerto, los 344.6 mm de Alicante-Elche/aeropuerto y los 259.8 mm de Foronda-Txokiza.

Finalmente, en febrero las mayores precipitaciones diarias registradas en los observatorios principales se dieron el día 24 en A Coruña donde se registraron 68.2 mm, y en Santiago de Compostela/aeropuerto con 38.9 mm, el día 28 en Málaga/aeropuerto con 39.3 mm, y el día 21 en Vigo/aeropuerto y Pontevedra que registraron 38.4 mm y 35.8 mm, respectivamente. En cuanto a la precipitación total del mes entre las estaciones principales, destacan los 146 mm de A Coruña, los 143 mm de Pontevedra, los 130 mm de Vigo/aeropuerto y los 120 mm de Gijón/Puerto.

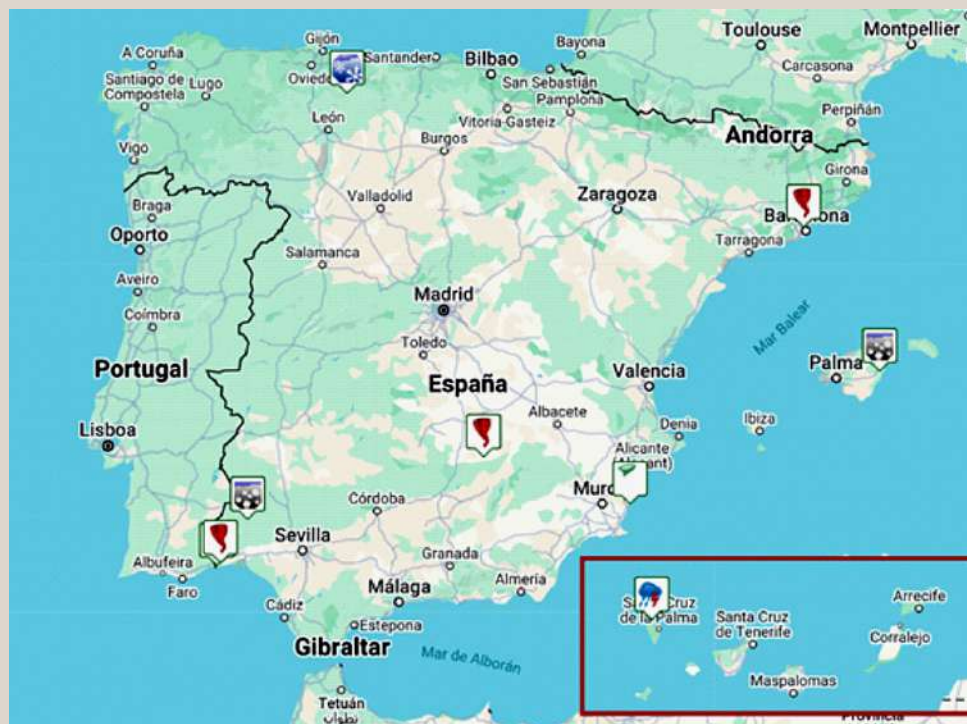
Fenómenos meteorológicos singulares en SINOBAS diciembre (2024) y enero y febrero de 2025

Entre los meses de diciembre de 2024 y febrero de 2025 se introdujeron 9 reportes en SINOBAS. Es una cantidad pequeña debido principalmente a la escasa convección registrada durante la estación.

De los 9 reportes registrados, 7 corresponden a la Península, 1 a Baleares y 1 a Canarias y fueron validados con fiabilidad alta. 5 correspondieron al mes de diciembre, 3 al mes de enero y 1 a febrero.

Por fenómenos, se distribuyeron de la siguiente manera:

- 4 tornados/trombas marinas (un tornado en Torre de Juan Abad -Ciudad Real- el 27 de enero, otro tornado en Ayamonte -Huelva- el 11 de febrero, una tromba marina en Barcelona el 9 de diciembre, y otra tromba marina en Pozo del Camino -Huelva- el 22 de enero).
- 1 tuba (en Torrevieja -Alicante- el 28 de diciembre)
- 2 granizadas singulares (en Mallorca el 9 de diciembre y en Valdelamusa -Huelva- el 22 de enero)
- 1 nevada singular (en Puebla de Lillo -León- el 9 de diciembre)
- 1 precipitación súbita torrencial (en Santa Cruz de Tenerife el 24 de diciembre)



Distribución espacial de los 9 reportes introducidos en SINOBAS entre diciembre de 2024 y febrero de 2025

De los tornados/trombas marinas y tuba registrados, destaca el tornado del 11 de febrero en Pozo del Camino (Huelva), pedanía de Ayamonte e Isla Cristina muy próxima a ésta última. La situación meteorológica, estudiada en

la sección "La imagen del invierno" de este número de TyC, era propicia para ello, con un vórtice en altura en el suroeste peninsular y en superficie un frente entrando por el suroeste peninsular asociado a un sistema de bajas

presiones al oeste de Lisboa. El tornado fue de muy corta duración, pero dejó daños importantes en varias viviendas e infraestructuras del lugar.

También destaca el tornado EF1 en la escala mejorada de Fujita que afectó a Torre de Juan Abad (Ciudad Real) el 27 de enero de 2025. Estuvo asociado a la borrasca Herminia, en un entorno de vientos fuertes del oeste donde se desarrolló una tormenta que se desplazó a unos 80 km/h (según el radar). Los daños fueron muy destacados, como olivos arrancados y graves desperfectos en negocios y viviendas.

La masa de aire de origen ártico que hizo descender las temperaturas y la cota de nieve el 9 de diciembre de 2024 dio lugar a una nevada singular en la cordillera Cantábrica en León. La cota de nieve se situó en torno a 800 metros, pero se observaron desplomes de la cota hasta los 400-600 metros en zonas locales de valle. Los espesores de nieve en la zona más septentrional estuvieron entre 40 cm a 1100 metros y 70 cm a 1300 metros. La intensidad fue moderada, sobre todo en la madrugada y primeras horas de la mañana del día 9 de diciembre. El reporte introducido por Noromet se refiere a Puebla de Lillo (León), donde a 1170 metros de altitud se acumularon 50 cm de nieve durante las 18 horas que estuvo nevando.

Por último, hubo un episodio de precipitación súbita torrencial el día 24 de diciembre en Santa Cruz de Tenerife. Se produjo en una situación de núcleo frío aislado en altura, con -24 °C en 500 hPa sobre el archipiélago. En el seno de una línea de inestabilidad en aire frío, poco organizada, se desarrollaron núcleos convectivos que provocaron tormentas y chubascos de intensidad torrencial, con abundancia de granizo, que alcanzó espesores de entre 20 y 30 cm.

Finalizamos agradeciendo la inclusión de reportes durante el invierno a los usuarios *Alfons*, *Jprodriguezg*, *Proyecto-Mastral*, *Noromet*, *Ricardo_sanz*, *Egarciat*, *Jdsoriano* y *Lbanonp*. Os animamos a todos a la inclusión de reportes en nuestra página web y a seguirnos en X, donde contamos con más de 50 500 seguidores. ¡Vuestra ayuda hace posible que SINOBAS siga adelante!

Fotografía de la nevada de la cordillera Cantábrica en León el 9 de diciembre de 2024 aportada por Noromet



Trayectoria y fotografías asociadas al tornado de Ayamonte, cuyo reporte fue introducido por jdsoriano



Imágenes asociadas al tornado de Torre de Juan Abad (Ciudad Real), reportado en SINOBAS por el usuario lbanonp



Se muestran, por orden de puntuación, las doce primeras fotografías clasificadas en el premio “La Foto del Concurso”

1º PUESTO (176 puntos):

“Arco de aurora boreal en Stokksnes”

Autor: David Pérez Fernández
Islandia, 27 de octubre de 2024

Arco de aurora boreal en Stokksnes, Islandia. La playa de arena negra fetiche para muchos fotógrafos, de noche se convierte en un espejo espectacular reflejando la aurora boreal.



2

2º PUESTO (174 puntos):

“Irrealidad vertical de pilares boreales”

Autor: José Miguel García García
Islandia, 8 de octubre de 2024

Explosión de subtormenta solar en Islandia. Pilares supernumerarios con colores y formas que parecen irreales. Imagen que parece diseñada por alguna IA de ordenador, pixelando el mismo cielo. Donde la velocidad, intensidad de los pilares, su verticalidad o el desafío de tonos y colores bajo el negro lienzo de las estrellas, hacen de la foto un muro y frontera de la realidad. Hablar de este país de fantasía y maravillas, es recordar esas amplitudes de escenario que se miden en inmensidades. Ese contraste tan abrupto y brutal de paisajes. Y de noche trasmutaban bajo las luces del norte.



3

3º PUESTO (168 puntos):

“4 rayos”

Autor: Alberto Lunas Arias
Torrelodones (Madrid),
13 de junio de 2023

Siempre es un espectáculo ver como una tormenta nocturna va descargando su furia eléctrica en forma de rayos, como estos cuatro procedentes de una misma descarga eléctrica sobre el este de Madrid.



4º PUESTO (166 puntos): "Amanecer entre lenticulares"

Autor: Imanol Zuaznabar García
Tenerife, 5 de junio de 2023

Uno de los momentos más especiales que he vivido en Tenerife desde que vivo aquí hace ya más de cuatro años, fue este amanecer con un precioso lenticular sobre el Parque Nacional del Teide y con la luna llena cayendo ya hacia el horizonte. Todo un momento inolvidable.



4



6º PUESTO (163 puntos):

"Fotografiando lenticular y aurora sobre Stokksnes"

Autor: Roberto Porto Mata
Islandia, 11 de noviembre de 2024

No solo tuvimos la suerte de fotografiar de nuevo la aurora sobre la mítica montaña de Stokksnes, sino que, además, una lenticular se formó sobre su cima, completando la imagen.



7

7º PUESTO (161 puntos): "Cascada de colores"

Autor: David Mancebo Atienza
Islandia, 10 de octubre de 2024

Como si del cielo cayese una auténtica paleta de colores. Alucinando nos quedamos con las mejores auroras en años en Islandia. Un color rojizo y amarillo fácilmente visible a simple vista. Un auténtico regalo divino.

5º PUESTO (164 puntos):

"Presa Atlántica"

Autor: Benjamin Porée
Jard Sur Mer, Vendée, (Francia), 31 de agosto de 2024

Situación clásica en el Atlántico con un sistema lineal a finales de verano que sube hasta la costa francesa.



7

7º PUESTO (161 puntos):

"Aurora Balearis"

Autor: David Esteban Liljedahl
Puerto de Sóller (Mallorca), 10 de mayo de 2024

Algunos expertos hablan de que realmente lo que se divisó en latitudes más bajas, como en España, podría tratarse de un arco SAR (stable auroral red arc) que es energía térmica que se escapa a la atmósfera superior (~ 400 km de altura) desde la corriente anular de la magnetosfera de la Tierra. (Vía <https://twitter.com/estelsiplanetes/status/1789172637412790505> y <https://www.tiempo.com/ram/una-forma-inusual-de-aurora-sar.html>). A simple vista en zona oscura se divisó una luz tenue roja.

7º PUESTO (161 puntos):

"Mammatus crepusculares"

Autor: Enric Navarrete Bachs

Lliçà de Vall (Barcelona), 24 de mayo de 2024

Atardecer espectacular con la aparición de unos mammatus gigantes que colgaban de una supercélula que estaba en la comarca vecina del Bages, dejando a su paso, un caos de agua en las carreteras. Al ir escondiéndose el Sol en el horizonte, proyectaba unos rayos crepusculares que aumentaban aún más la belleza de esas protuberancias bajo la base de la nube.



7

10º PUESTO (157 puntos):

"En construcción"

Autor: Carlos Castillejo Balsera

Barcelona 1 de junio de 2024

La construcción de la basílica de la Sagrada Familia, está prevista que acabe durante el 2026, coincidiendo con el centenario de la muerte de su diseñador, Antonio Gaudí. Entonces, se convertirá en el templo de mayor altura del planeta, con 172 metros de altura. Actualmente ronda los 150 metros. En esta foto un potente rayo cae por detrás del edificio. Un templo en construcción...una foto en construcción.



10

11º PUESTO (153 puntos):

"Festival de rayos"

Autor: Andrés Fornés Llodrá

Dénia (Alicante), 2 de septiembre de 2023

Esa noche viví el mayor despliegue de rayos que recuerdo desde que me aficioné a la fotografía. Por la tarde hubo dos tormentas que, como estaba previsto, avanzaron de suroeste a noreste, desde Albacete hacia el golfo de Valencia, ideales para cazar a cierta distancia desde Dénia, sin temor -a priori- de que me alcanzaran. La imagen pertenece a la segunda tormenta, los rayos se dieron en el prelitoral de la Safor y los últimos ya impactaron directamente en el mar, cada vez más cercanos a mi posición. Esta tormenta viró en el último momento hacia Dénia obligándome a abandonar apresuradamente la playa.

11



12

12º PUESTO (152 puntos):

"Destello"

Autora: Nagore Lizundia Crespo
Alaitza (Araba), 18 de diciembre de 2023

En diciembre de 2023, a falta de cielos interesantes, no me quedó más remedio que tirar de niebla. Las dos primeras fotos son del mismo día. Fue un día muy bonito, la niebla aparecía y desaparecía a su libre albedrío dejando estampas muy bonitas.



LAS FOTOS DEL INVIERNO

DICIEMBRE

Título: "Dos trombas marinas"

Autor: Alfons Puertas Castro

Cámara: Nikon D610

Lugar: Observatori Fabra de Barcelona

Fecha: 22 de diciembre de 2024

Comentario del autor: A mediodía decrecieron grandes cúmulos mar adentro frente a la costa de Barcelona. Durante unos minutos aparecen varias tubas, dos de las cuales se convierten en trombas marinas al tocar la superficie del mar. Más tarde incluso se simultanearon con dos tubas más que no desarrollaron tromba. Este hecho es muy poco frecuente en el mes de diciembre.



ENERO

Título: "Aurora en Stokksnes"

Autor: Imanol Zuaznabar García

Cámara: ILCE-7RM3

Lugar: Islandia

Fecha: 28 de enero de 2025

Comentario del autor: Son ya diez mis viajes a Islandia, y cientos de imágenes de auroras en mis tarjetas, pero esta sin duda es especial, un doble arco simétrico en una de las playas más espectaculares del mundo, frente al Vestrahorn, con una orilla en su punto para conseguir el reflejo, y unas condiciones inigualables. Fue un momento muy especial para mí.

FEBRERO

Título: "Entre nubes anda el juego"

Autor: Juan José Guidonet Suárez-Gómez

Cámara: Nikon D5600

Lugar: Tenerife

Fecha: 11 de febrero de 2025

Comentario del autor: Un precioso atardecer que tuve la suerte de disfrutar y fotografiar en uno de mis lugares favoritos de la isla. Como no podía ser de otra manera, el Parque Nacional del Teide.



11 de febrero de 2025

Tornado en el litoral de Huelva

CARLOS MANUEL JIMÉNEZ-CAVERO

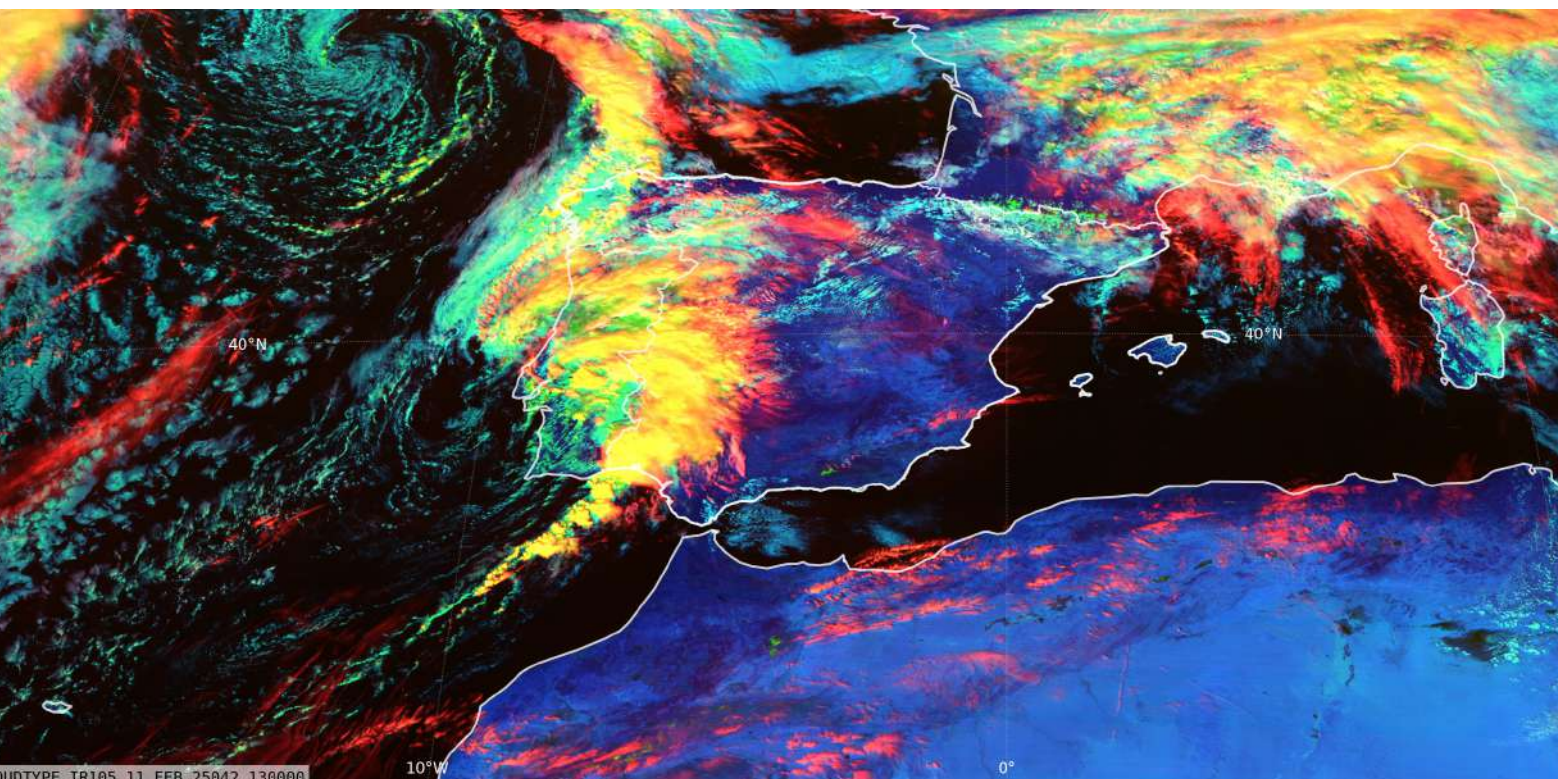


Figura 1. Imagen RGB Cloudtype del MTG (EUMETSAT) del 11 de febrero de 2025 a las 13:00 UTC. Fuente: AEMET

1. Imagen

Se presenta como imagen del invierno una imagen RGB *cloudtype*, o tipo de nubes, obtenida a partir de los datos del Meteosat de Tercera Generación, MTG, del 11 de febrero de 2025 a las 13:00 UTC. Corresponde a una situación meteorológica cuyo mayor impacto se dio en el litoral onubense, con precipitaciones puntualmente fuertes (28 mm en 1 hora en la estación de Ayamonte de AEMET) y con la ocurrencia de un tornado en el entorno de Pozo del Camino, pedanía de Ayamonte e Isla Cristina, muy próxima a ésta última. Existe bastante documentación gráfica distribuida en redes sociales y medios de comunicación, donde se aprecian las consecuencias del tornado. Entre otros, se produjeron destrozos en carreteras y techos de algunas viviendas, así como derrumbes de muros y árboles. En algunos vídeos se puede observar cómo la intensidad del viento vuelca camiones de grandes dimensiones y arranca puertas de metal y vallas, que aparecen a decenas de metros de su posición original. Los análisis preliminares realizados en

AEMET, basados en estudios de campo de los daños materiales observados, apuntan a que podría calificarse como un tornado IF2 de la escala Fujita Internacional (IF) para la clasificación de tornados (Gutiérrez et al., 2024), con una velocidad máxima estimada de 220 km/h.

En la imagen presentada se pueden apreciar numerosas estructuras nubosas. A modo de resumen, los colores azul turquesa hacen referencia a nubosidad de tipo medio-bajo formada por gotitas de agua. Los colores rojizos revelan cirros finos formados por cristales de hielo. Los colores amarillos se relacionan con nubes espesas, asociadas a desarrollos convectivos con fase hielo en los topos. Por último, tonos verdosos sobre tierra indican la presencia de nieve y hielo en superficie.

Teniendo todo esto en cuenta, la imagen propuesta del 11 de febrero presenta estructuras nubosas de diversa índole, las más llamativas asociadas a dos vórtices de escala sinóptica centrados al oeste de la península ibérica. El primero de ellos, situado al noroeste de Galicia, constituye un centro

de bajas presiones cuyo frente frío se halla sobre la comunidad gallega, con abundante nubosidad baja y algunos desarrollos convectivos embebidos. Por delante y en el sector cálido de la baja, se sitúa el propio frente cálido ya sobre el mar Cantábrico. En el sector frío, sobre el Atlántico, destacan las típicas células convectivas enroscadas sobre el centro de la baja, con algunos cúmulos realzados, revelando fenómenos de tipo mesoescalar característicos de una masa de aire frío posfrontal. El segundo vórtice, sobre el que nos centraremos en el artículo, se sitúa frente a las costas de Portugal. Se trata de un segundo centro de bajas presiones, que no presenta una advección fría tan marcada como el anterior, pero sí dispone de un "cabezón cálido" muy llamativo sobre el oeste peninsular, y una banda frontal que se estira desde Extremadura hasta el golfo de Cádiz. Embebido en la banda nubosa también se aprecian desarrollos convectivos, aunque en este caso son más localizados y puntualmente más intensos, y se hallan presentes a lo largo de toda la banda frontal. En el entorno del

estrecho de Gibraltar se aprecia nubosidad baja hacia el mar de Alborán, que revela la presencia de un flujo de levante en los niveles más bajos; mientras que en el sur de Portugal se puede intuir un flujo del suroeste en superficie con algunas calles de nubes en el sector frío de la baja.

2. Episodios HSLC (*High Shear Low Cape*)

El tornado tuvo lugar en torno a las 14 UTC, coincidiendo de forma aproximada con el paso del frente frío por la provincia de Huelva. El evento puede encuadrarse dentro del tipo de episodios invernales conocidos en la literatura como episodios HSLC, *High Shear Low Cape*, que en ocasiones suelen llevar asociados fenómenos convectivos severos, principalmente vientos rectilíneos muy intensos y/o tornados. Dichos episodios se caracterizan por presentar una fuerte cizalladura en entornos con una inestabilidad bastante limitada (valores reducidos de CAPE). Son típicos de la estación fría, en la que los chorros en altura son más intensos y frecuentes, pero en los que la inestabilidad térmica suele ser marginal. Por otro lado, otro rasgo habitual suele ser la abundante humedad en los niveles más cercanos a la superficie, y, a menudo, en la mayor parte de la troposfera media. Esto posibilita que los niveles de condensación y de convección libre sean muy bajos, próximos a la suelo. Aunque la inestabilidad suele ser limitada (normalmente $CAPE < 500 \text{ J/kg}$) a menudo se halla confinada en los niveles más bajos de la troposfera (0-3 km). Aparte de la fuerte cizalladura vertical del viento, computada en una capa profunda (0-6 km), el flujo y la

cizalladura en niveles bajos (0-3 km) suelen ser muy intensos, y en la mayoría de episodios se halla presente un chorro en niveles bajos (LLJ, *low level jet*) que puede alcanzar valores de hasta 25-30 m/s.

Los episodios meteorológicos caracterizados por condiciones HSLC son bastante frecuentes en los litorales atlánticos de la península ibérica en invierno, donde se da el máximo de actividad tormentosa de la estación fría a nivel peninsular (AEMET, 2019). Habitualmente se relacionan con la llegada de frentes atlánticos muy activos con convección embebida, típicos de las costas de Galicia y de Andalucía occidental, así como de zonas atlánticas de interior como Extremadura. Aunque no siempre se producen fenómenos convectivos severos asociados, de hecho la frecuencia de ocurrencia de tornados es desproporcionadamente menor a la frecuencia de condiciones tipo HSLC durante el invierno, sí que es verdad que todos los inviernos se observan algunos tornados de pequeñas dimensiones en las comunidades mencionadas. Se pueden mencionar como episodios recientes representativos el tornado de Córdoba capital del 9 de marzo de 2024 o el tornado de Badajoz del 17 de enero de 2024 (este último asociado a la borrasca Irene).

3. Análisis meteorológico

A continuación se realiza un breve análisis del episodio del 11 de febrero de 2025, combinando la interpretación de distintos campos del modelo operativo de AEMET Harmonie y de imágenes de teledetección, todos ellos de la franja temporal comprendida entre las 13:00 y

14:00 UTC. Se realiza un análisis del ambiente meteorológico previo, asociado a los mencionados episodios HSLC, y se trata de identificar los principales fenómenos de mesoescala que se dieron y que posibilitaron la formación del tornado.

A nivel sinóptico, el segundo vórtice descrito previamente presenta una marcada intrusión seca en niveles medios, como se puede deducir de la imagen WV6.2 (figura 2). En ella destaca una zona muy oscura, que revela un fuerte forzamiento a escala sinóptica, y que contrasta con varios núcleos blanquecinos muy brillantes situados justo por delante. También es reseñable el forzamiento mesoescalar ejercido por el propio paso del sistema frontal, y que, a tenor de los desarrollos convectivos embebidos, avanza en un entorno “algo” inestable.

En la figura 3 se muestra un sondeo y una hodógrafa previstos por el modelo Harmonie en la localidad onubense de Isla Cristina a las 13 UTC del 11 de febrero de 2025. Se aprecia un estrato totalmente saturado desde superficie hasta 600 hPa. Por encima de este nivel, hay una capa con humedad muy reducida, asociada a la intrusión seca. Tras el diagnóstico realizado con la imagen de WV6.2 y el sondeo mostrado, se puede afirmar que el entorno era potencialmente inestable, con la posibilidad de que se produjesen desarrollos convectivos. Probablemente, la banda frontal constituyese un frente frío en altura, formado por la interacción del *conveyor* seco al sobrevolar el *conveyor* cálido. La línea amarilla del sondeo, que indica el perfil vertical de la temperatura equivalente, presenta un gradiente superadiabático en la intersección de los

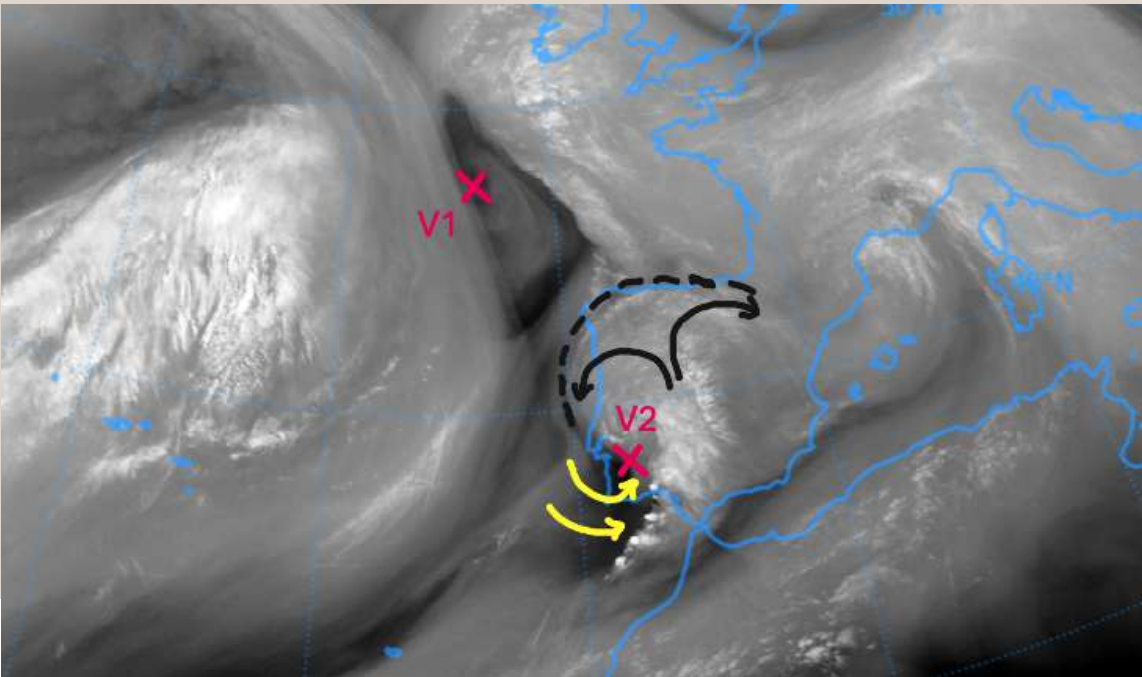


Figura 2. Imagen canal WV 6.2 del 11 de febrero a las 14:00 UTC del MTG (EUMETSAT). Las flechas amarillas hacen referencia a la intrusión seca, mientras que las flechas negras se asocian con el *conveyor* cálido que se eleva en latitud y altitud hasta alcanzar una banda de deformación. Fuente de la imagen: AEMET

estratos húmedo y seco, en torno a 600 hPa. Por debajo de este nivel, el gradiente vertical de la temperatura equivalente es menor, lo que confirma la existencia de un entorno con inestabilidad convectiva (Moran, 1944). En dicho entorno, las columnas de aire se inestabilizan cuando se elevan en conjunto (afectando a capas enteras una escala mayor que la de las burbujas de aire de los Cb) y da el aspecto troceado transversal del *conveyor* cálido.

En el sondeo también se puede apreciar un MUCAPE bastante limitado (333 J/kg), con un nivel de condensación muy cercano a la superficie (NCA 532 m). Sin embargo, lo que más llama la atención es la distribución de vientos en la vertical. En la

Figura 3. Sondeo y hodógrafa previstas por el modelo Harmonie en Isla Cristina (Huelva). Pasada 12 UTC del 11 de febrero de 2025, alcance H+1 (13:00 UTC). La línea amarilla se refiere a la temperatura equivalente y la línea azul a la temperatura del termómetro húmedo. Se aprecia estrato húmedo por debajo de 600 hPa, con una capa muy seca por encima, típico de entornos con inestabilidad convectiva.

Fuente: AEMET

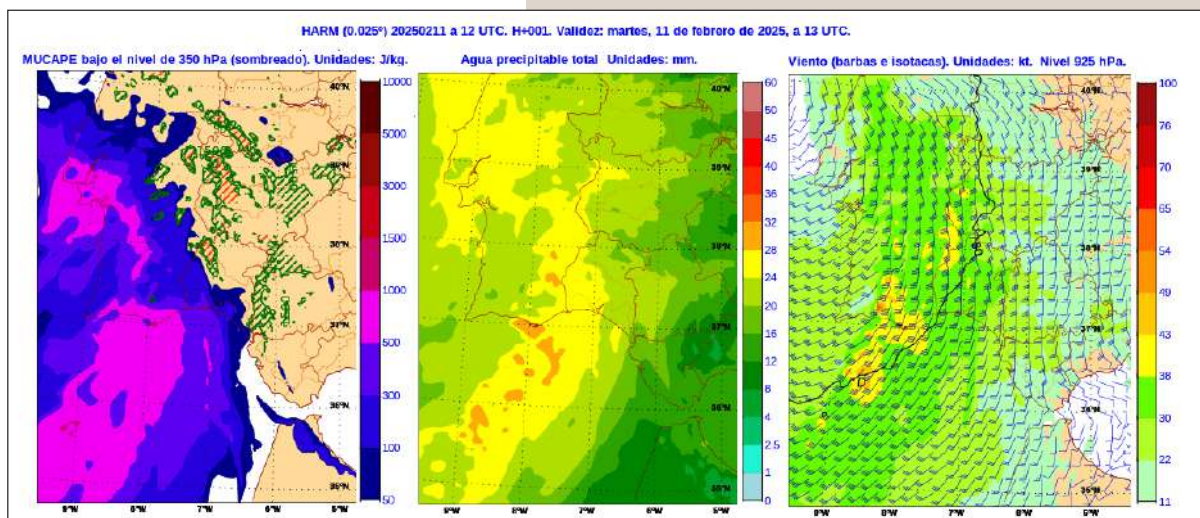
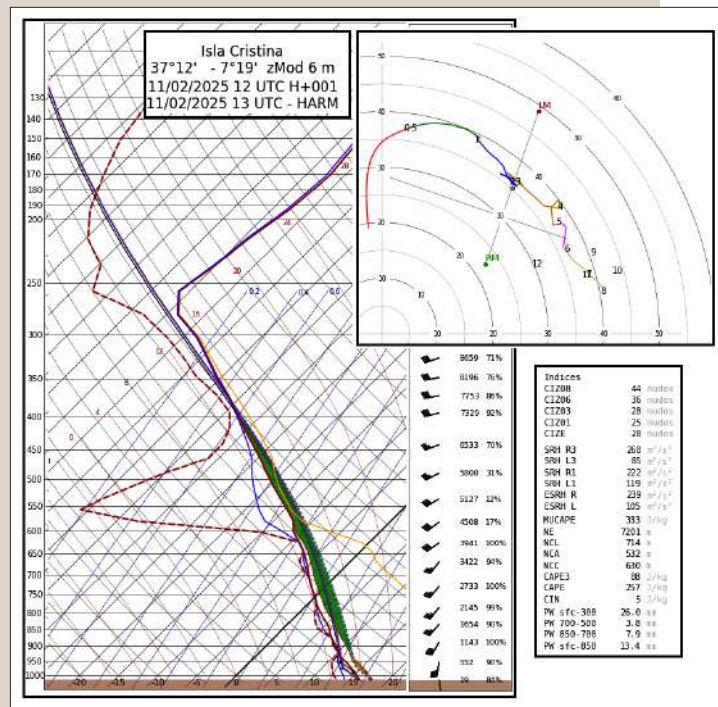


Figura 4. Campos previstos por Harmonie: MUCAPE, agua precipitable y viento en 925 hPa. Pasada 12 UTC del 11 de febrero de 2025, alcance H+1 (13:00 UTC).

Fuente: AEMET

hodógrafa se aprecia un máximo de viento de 40 kt (-20 m/s) en los niveles más bajos (entre 500 m y 1 km de altura) asociado a un LLJ, que aporta gran cantidad de humedad. Además, se aprecia un giro anticiclónico del viento con la altura, muy marcado en los primeros 3 km, que posibilita que los valores de helicidad sean muy elevados (ESRH 239 m²/s²) y que revela una clara advección cálida junto a la superficie.

Vemos, por tanto, que el ambiente convectivo existente en el entorno del litoral onubense el día 11 de febrero de 2025 concuerda con las características típicas de episodios HSLC expuestos anteriormente. El contexto sinóptico, caracterizado por una vaguada en altura de poca amplitud pero con una fuerte intrusión seca, con banda frontal asociada, también es compatible con los mencionados episodios invernales de HSLC, en los que el forzamiento dinámico a escala sinóptico juega un papel relevante (Sherburn K. D. et al. 2016).

En este tipo de episodios invernales, los valores de CAPE, aunque limitados, suelen verse realzados a nivel mesoescalar en bandas estrechas, justo por delante de la posición del frente en superficie (sector cálido) donde se sitúa el chorro en niveles bajos (LLJ) o embebidas en el propio frente. Por tanto, aunque el entorno sinóptico sea de paso de un sistema frontal, el ambiente convectivo en el que se dan las tormentas de tipo HSLC suele presentar rasgos de advección cálida en los niveles más bajos.

En la figura 4 se muestran diferentes campos del modelo Harmonie, plotados a las 13 UTC del 11 de febrero de 2025. Se aprecia una banda relativamente estrecha con valores máximos de agua precipitable y MUCAPE, que coincide con el máximo de viento de suroeste en 925 hPa.

Los impactos asociados a este tipo de episodios HSLC, como puede ser la ocurrencia de tornados, suelen ser de dimensiones espaciales muy reducidas,

de carácter local, por lo que mediante herramientas de teledetección es muy difícil identificarlos de manera unívoca. Por otro lado, son fenómenos confinados en la capa límite, por lo que a nivel radar solo pueden ser distinguibles si ocurren cerca de la posición del propio radar. Por último, los vórtices tornádicos asociados a tormentas HSLC evolucionan rápidamente con transiciones temporales muy bruscas, lo cual constituye otra dificultad añadida para su identificación.

En la figura 5 se muestra una imagen de satélite con realce *Sandwich* del MTG del sur peninsular a las 13:30 UTC. En ella se aprecian células convectivas localizadas, con cierta organización en forma de línea, embebidas a lo largo del frente. Todas ellas se hallan en el mar, excepto las situadas en el extremo septentrional del frente que tocan tierra en el litoral de Huelva. Por otro lado, en la figura 6 se muestran productos del radar de Sevilla:

Figura 5. Imagen del MTG (EUMETSAT) con realce tipo Sandwich del 11 de febrero de 2025 a las 13:30 UTC. Fuente: AEMET

PPI de la elevación más baja (0.5°), *echotop* y viento radial también de la elevación más baja (0.5°). Se aprecian células convectivas con topes de hasta 8 km, compatibles con el sondeo mostrado, pero de dimensiones muy reducidas. En la imagen de viento radial destacan valores de más de 24 m/s en zonas del litoral onubense, asociadas al chorro en niveles medios-bajos del suroeste.

4. Desafíos en predicción operativa

Este tipo de episodios HSLC constituyen un gran desafío para la predicción operativa debido a varias circunstancias (Sherburn K. D. *et al.* 2014). La principal dificultad radica en las dimensiones espaciales tan reducidas que presentan los fenómenos convectivos asociados, como son los tornados. Esto constituye un gran problema en las tareas de vigilancia y *nowcasting*, ya que las estructuras y señales de rotación identificables no pueden ser resueltas por los productos radar, especialmente a distancias no muy cercanas a la posición del radar, debido a que son fenómenos confinados junto a la superficie. Además, estos fenómenos (tornados) asociados a este tipo de episodios son, a menudo, transitorios y evolucionan rápidamente, lo que dificulta disponer de un tiempo de antelación previo suficiente para emitir un aviso de *nowcasting*.

Aunque es bastante frecuente que durante el invierno se den condiciones caracterizadas por una fuerte cizalladura vertical y un CAPE limitado, la ocurrencia

de fenómenos convectivos severos asociados, como son los tornados, tiene lugar durante un periodo de tiempo desproporcionadamente corto. Esto provoca que la predicción operativa de estos fenómenos presente altas tasas de falsas alarmas y una baja probabilidad de detección.

Los parámetros compuestos tradicionales para predecir entornos favorables a la ocurrencia de estos fenómenos, como son el STP (*Significant Tornado Parameter*) o el EHI (*Energy Helicity Index*) se basan en primera instancia en el CAPE. Por lo tanto, estos parámetros tienden a presentar valores muy reducidos en episodios de tipo HSLC. Por último, la predictibilidad de este tipo de episodios por los modelos numéricos es muy baja, ya que los fenómenos asociados tienen lugar en la mesoescala-gamma, o incluso de microescala.

Todo ello hace que este tipo de episodios continúen siendo un gran desafío en la predicción operativa en la actualidad.

5. Bibliografía

- AEMET (2019). *Climatología de descargas eléctricas y días de tormenta en España*. <https://doi.org/10.31978/639-19-007-7>
- Gutiérrez D. *et al.* (2024). *Ventajas de la escala Internacional de Fujita (IF) para calificar los daños por tornados y vientos*. Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española (AME) celebradas en marzo de 2024 en Cádiz. https://jornadas.ame-web.org/wp-content/uploads/2024/04/Compendio-de-resumenes-por-sesiones_corregido.pdf
- 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>
- Sherburn K. D. *et al.* (2016). *Composite Environments of Severe and Nonsevere High-Shear, Low-CAPE Convective Events*. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-16-0086.1>
- Sherburn K. D. *et al.* (2014). *High-shear, low-CAPE environments: What we know and where to go next*. https://ams.confex.com/ams/27SLS/webprogram/Manuscript/Paper254227/sherburn_sls_paper_120314.pdf

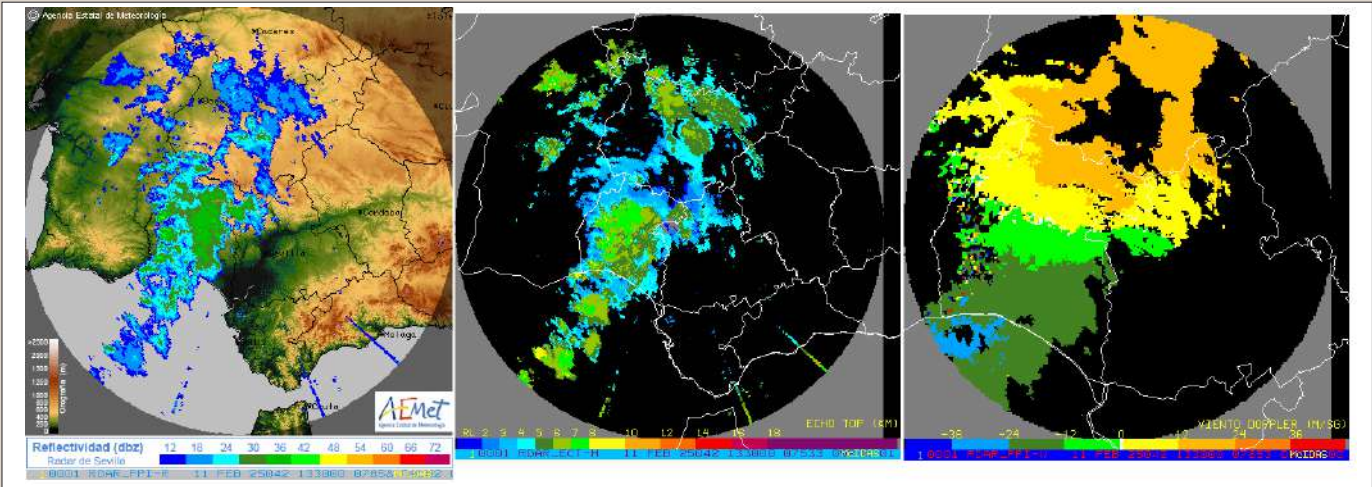
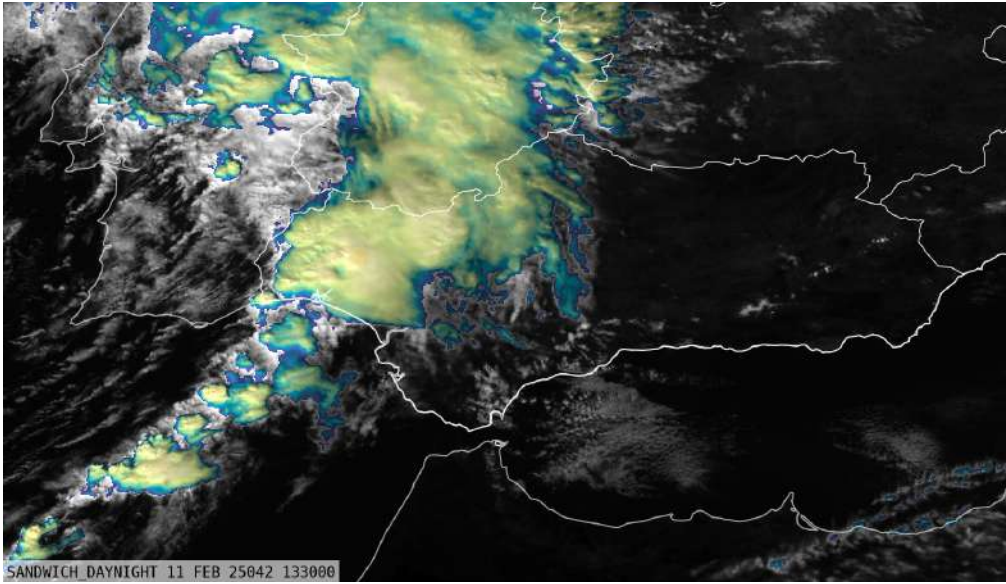


Figura 6. Imágenes de PPI elevación 0.5°, *echotop* y viento radial (elevación 0.5°) del radar de Sevilla a las 13:30 UTC del 11 de febrero de 2025. Fuente: AEMET

Climatología: ¿“patito feo” o “piedra angular”? Series largas sintéticas para la obtención de índices climáticos y calibración de pronósticos

JOSÉ LUIS CAMACHO

Ser meteorólogo se asocia frecuentemente con la predicción del tiempo y la emisión de avisos que permitan a nuestros conciudadanos salvar vidas y haciendas. Sin embargo, para que esas predicciones estén afinadas y expresadas en términos de impactos para ayudar a la toma de decisiones, se necesitan otras ramas de la profesión. La climatología ha sido frecuentemente el “patito feo” junto con la oscura pero fundamental labor de sistemas básicos.

Aquí vamos a contar muy sucintamente como se trabaja con indicadores climáticos, su relación con el sistema de avisos de AEMET y su utilización por sectores, todo ello aplicado a la serie de temperaturas extremas diarias entre 1950 y 2023 de la serie creada por el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) a partir de las observaciones del Turó de l'Home y el Puig Sesolles ambos en la vecindad del punto más alto del macizo de Montseny. Analizaremos el número de días con máximas y mínimas inferiores a cero grados y las consecuencias de la evolución observada a lo largo de 74 años y los relacionaremos con los umbrales del sistema Meteoalerta de AEMET.

Historia de las observaciones en la cumbre del Montseny

La cordillera Costera Catalana tiene sus mayores elevaciones en el macizo del Montseny, a caballo entre las provincias de Barcelona y Girona, a unos 20-30 km en línea recta de la costa del Maresme. El punto más elevado es el Turó de l'Home con 1707 msnm. Desde el macizo, que es reserva de la biosfera, se disfruta de unas vistas privilegiadas de gran parte de las provincias de Barcelona y Girona siendo posible divisar la sierra de Tramuntana de



foto Fernando García de Ca

Figura 1. Arriba: observatorio del Turó de l'Home creado y gestionado por el SMC en los años 30 del siglo XX. Abajo: el observatorio del Turó de l'Home (a 1707 msnm) en el punto más alto de la cordillera Prelitoral Catalana. Imagen de los años 80 con los dos edificios reformados. Probablemente, foto del archivo familiar García de Castro-Messeguer; Fuente: UPC commons.

la isla de Mallorca en días claros.

Con motivo del Segundo Año Polar Internacional, el director del SMC, Dr. Eduard Fontserè consiguió edificar, en 1932, una caseta de madera suficientemente apta para albergar observadores en la cima del Turó de l'Home y logró establecer instrumentos y pautas de trabajo para mantener las observaciones durante el periodo entre 1933 y el final de 1938. La guerra civil dificultó las tareas y finalmente obligó al cierre del observatorio. A principios de la década de los cuarenta, el Servicio Meteorológico Nacional, antecesor de AEMET, envió a observadores para instalar aparatos registradores mecánicos y mantener la edificación pero no fue hasta 1951 en que se destinó al observador Fernando García de Castro, el cual se instaló en precario en la caseta durante los fines de semana para atender a los registradores complementándolos con observaciones manuales, hasta que logró convencer a la superioridad de la época para que mejoraran las instalaciones, construyéndose un nuevo módulo en 1954 y mejorando el antiguo en 1976. La familia García de Castro – Messeguer se hizo cargo de la gestión de observaciones y observatorio hasta 1987 en que se jubiló Fernando. Su hijo Miguel continuó con las observaciones hasta 2001. El SMC actual instaló, en 2010, una estación meteorológica automática (EMA) dentro del recinto que ocupa la cima del Puig Sesolles, a una altitud de 1694 m y a una distancia de unos 350 metros del Turó de l'Home.

Creación de series largas climatológicas

Existen diversas técnicas para crear series de datos completando los huecos y corrigiendo, dentro de ciertos límites, las consecuencias de cambios en instrumentación o en las condiciones de medida en un observatorio. En AEMET, utilizamos el paquete estadístico CLIMATOL, diseñado por el experto José Antonio Guijarro, y aplicado en muchos servicios meteorológicos. Este software permite rellenar las lagunas de datos e identificar los cambios “abruptos” en el comportamiento de una serie: cambio de instrumentación, cambios en el entorno próximo como quema de bosques, urbanización, etc.

En el caso de la serie del Montseny, el SMC ha creado la base de datos CADTEP (Catalan Daily Temperature and Preci-

pitation data set), a partir de los datos originales de AEMET y SMC de las observaciones diarias de temperaturas máxima y mínima y precipitación. Las series comienzan en enero de 1950 y se van poniendo al día progresivamente. En el caso de la cumbre del Montseny, los datos provienen del periodo AEMET (1950-2001) en Turó de l'Home y del periodo SMC (2010-actualidad) en Puig Sesolles. Se ha aplicado un análisis de calidad diario y una homogeneización relativa, con la metodología de ACMANTv5.1, que ha permitido ajustar la serie y hacerla climáticamente útil (Prohom *et al.*, 2023), siendo el período final de análisis 1950-2023. El método también ha rellenado las lagunas existentes, sobre todo en el periodo 2001-2010, y corregido los saltos asociados a cambios de instrumentación, en especial, la medida de las máximas a partir de 1982.

Las series climatológicas son el pilar básico del desarrollo de los Servicios Climáticos. No se pueden calibrar los modelos sin ellas, sobre todo las predicciones extendidas y climáticas, ni se pueden desarrollar aplicaciones sectoriales sin índices climáticos derivados de ellas.

Indicadores climáticos. Días de helada, días de hielo y eventos extremos.

Dentro del Sistema de Información de Servicios Climáticos propuesto por la OMM, el primer elemento son los datos climáticos obtenidos a partir de la elaboración de las series y de su análisis posterior. Este análisis se realiza con la ayuda de índices climáticos de carácter general o sectorial como los generados mediante el software CLIMPACT de la OMM en el que la Universitat Rovira i Virgili de Tarragona tiene una importante participación en su desarrollo. Mediante el cálculo y la evolución posterior de estos índices climáticos, podemos llegar a conocer la variabilidad climática en el entorno de un observatorio, estimar como está cambiando el clima y desarrollar planes de adaptación en los sectores críticos para nuestro ámbito de actuación.

Utilizaremos cinco periodos climáticos de 30 años desde 1951-1980 hasta 1991-2020 escalonados 10 años cada uno. Cuando se habla de referenciar los eventos respecto a un periodo en que se considere que el cambio climático de ori-

gen antropogénico era mucho menos notable, se toman los periodos 1961-1990 o 1971-2000, sin embargo, los avisos por fenómenos extremos se suelen referir al periodo 1991-2020. Según la *Guía para el análisis de extremos en un clima cambiante en apoyo de la toma de decisiones informadas para adaptación* (Klein Tank *et al.*, 2009) de la OMM, se utilizan dos índices principales en temperaturas bajas, siendo el valor de índice el número de días que cumplen las condiciones en el periodo considerado (1 año):

1. FD, frost days o días de helada en los que la temperatura mínima no supera los 0 grados.

2. ID, icing days o días de hielo en los que la temperatura máxima no supera los 0 grados.

Teniendo en cuenta la especificidad de un observatorio situado en lo que antes se consideraba alta montaña, proponemos añadir tres índices más, dos asociados a las temperaturas mínimas y uno a las máximas y utilizarlos para calibrar los umbrales de AEMET en avisos de Meteoaleta

3. SFD, Severe Frost Days, o días de helada severa en los que la temperatura mínima no supera los -8 grados. El límite del nivel naranja de aviso por temperaturas mínimas definido por AEMET en el prelitoral de Barcelona.

4. XFD, Extreme Frost Days, o días de helada extrema en los que la temperatura mínima no supera los -12 grados. El límite del nivel rojo de aviso por temperaturas mínimas definido por AEMET en el prelitoral de Barcelona.

5. SID, Severe Icing Days, o días de hielo severo en los que la temperatura máxima no supera los -4 grados. La temperatura es el nivel superior del nivel amarillo de aviso por temperaturas mínimas definido por AEMET en el prelitoral de Barcelona

Un resumen de posibles impactos esperados para cada índice sean los siguientes:

✓ **FD.** Día de helada puede provocar daños en plantas y animales no habituados a estos climas. La disminución importante del número de heladas abre la puerta a especies invasoras que desplazan a las autóctonas.

✓ **ID.** Los días en los que la temperatura no sube de cero grados implica persistencia de hielo y un fuerte stress para vegetación y fauna. Las superficies

Climatología: ¿“patito feo” o “piedra angular”? Series largas sintéticas para la obtención de índices climáticos y calibración de pronósticos

nevadas o heladas no sufren procesos de hielo-rehielo y el agua no se infiltra en el terreno. Las condiciones de vialidad invernal y movimientos de visitantes deben de ser evaluadas.

✓ **SFD**, días con nivel naranja de aviso por temperaturas mínimas. Es de esperar que especies que no sean autóctonas tengan problemas para sobrevivir. Habría que evaluar el efecto en la colonización de las cumbres por parte de los árboles de niveles inferiores. Las condiciones para el acceso de visitantes a las partes elevadas del Parque Natural deberían de ser evaluadas.

✓ **XFD**, días con nivel rojo de aviso por temperaturas mínimas. Los casos más extremos y poco frecuentes pero de altísimo impacto en vegetación y fauna. Extremar la evaluación de las condiciones de acceso para visitantes.

✓ **SID**, días en los que la temperatura no sube de -4 grados en todo el día. Condiciones propias de la estepa rusa o del alto Pirineo. Las zonas con acumulación de agua poco profunda pueden llegar a helarse completamente con consecuencias para la fauna acuática. Restricciones de acceso a visitantes recomendadas.

Resultados

Los resultados que aquí presentamos forman parte de un trabajo mucho más amplio que se publicará pronto. En la figura 2 presentamos la evolución de los índices FD y ID, y en la figura 3 la evolución de SFD, XFD y SID. Se produce un triple empate en el máximo de días de helada, FD, con 128 casos en 1956, 1972 y 1991. El número de días de hielo, ID, de 1956 fue de 38 días, lejos de los récords de 1963 con 48 y 1991 con 48. Otros dos años fríos fueron 1984 con 124 FD y 33 ID y 1985 con “solo” 110 FD pero 36 ID.

El título honorífico de “año del hielo” podría estar entre 1956, 1963, 1972 o 1991. Si lo definimos solo en función de los máximos de FD e ID sería 1991 pero si tenemos en cuenta los índices de frío extremo SFD, XFD y SID vemos que en 1991 hubo pocos fríos tan extremos como 1956 y 1963. En 1956 se produce el valor de máximo de XFD con el valor récord de 12 días de valores inferiores a -12 grados, incluyendo los -19.5 grados en la serie, y en 1963 el valor máximo de SFD con 24 días de mínimas inferiores a -8 grados, frío no tan extremo pero más

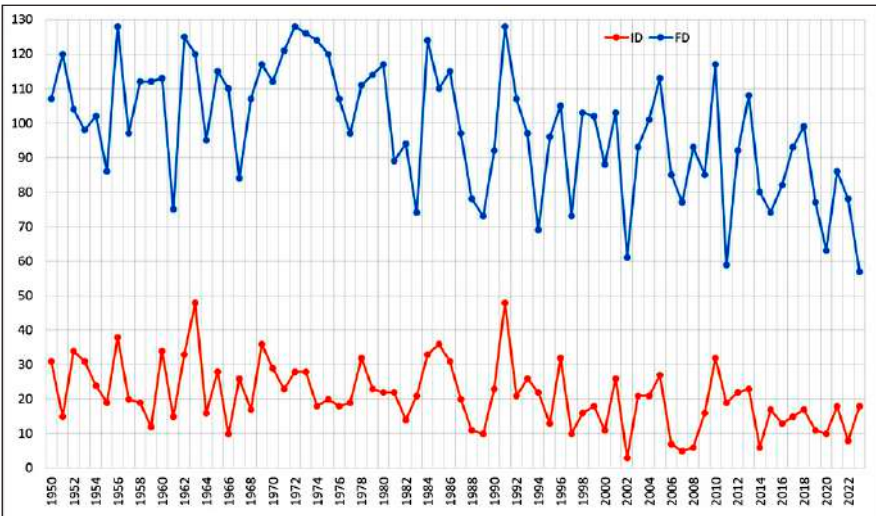


Figura 2. Días de heladas (FD) y días de hielo (ID) para la serie Cim del Montseny entre 1950 y 2023

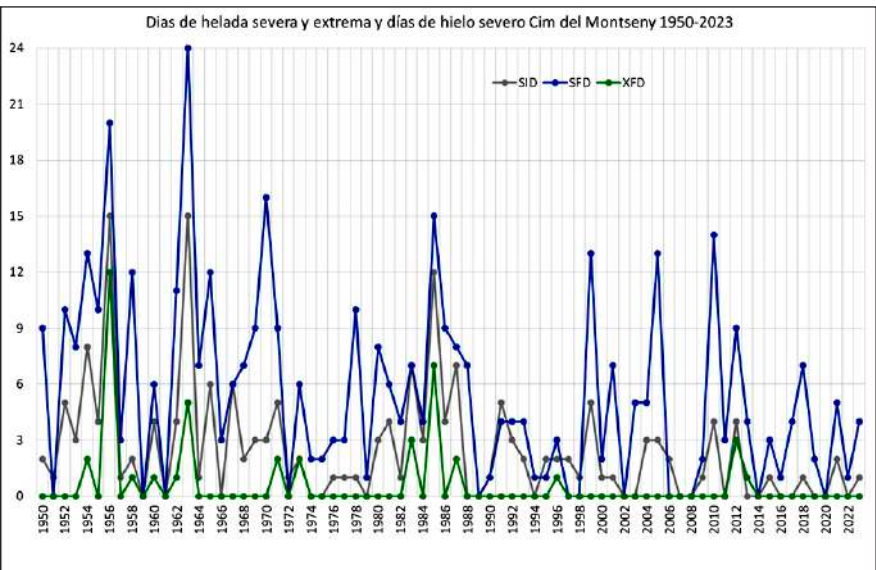


Figura 3. Días de heladas severas (SFD), extremas (XFD) y días de hielo severos (SID) para la serie Cim del Montseny entre 1950 y 2023

amplio en su severidad. El año 1972 es notable por estar asociado a un periodo de cinco años con días de helada iguales o superiores a 120 desde 1970 hasta 1975, en contraste con la fuerte variación entre años que muestran casi todas las épocas, pero caen a cero los días de heladas severas. Y dejo abierto el tema sobre cual año merece el título a la opinión del lector cualificado de esta revista.

Por el otro extremo, menores ocurrencias, destacan en días de helada: 2002 con 61, 2011 con 59 y 2023 con 57 días de helada. El año 1994 fue el que registró menos días de helada en la parte de la serie del siglo XX con 69 días. En cuanto a días de hielo, 2002 marcó el mínimo con 3 eventos, siendo el primer año en que se produjeron menos de 10 casos. En 2006, 2007 y

2008 hubo un mínimo relativo con 7, 5 y 6 casos. En 2022 hubo 8 casos y 18 en 2023. No parecen extinguirse de momento, los días de hielo en la cima del Montseny. Los casos de días de hielo severos han disminuido desde 1985 pero siguen presentes con 2 casos en 2021 y 1 caso en 2023. Los años 1952 y 1963 poseen el máximo de días de hielo severos con 15 casos cada uno. El año 1985 registró 12 casos. La lista de años con valores de SID superior a cinco días incluye además de los citados a 1952, 1965, 1967, 1971, 1983, 1987 y 1991 que fue el último.

La curva azul en la figura 3 nos muestra los casos de días en los que hubiera sido necesario un aviso naranja (umbral -8 grados de temperatura mínima) en la zona prelitoral de Barcelona. Este núme-

ro habría que tomarlo como el número máximo de casos de avisos, ya que está en la zona más sensible y más fría de la unidad geográfica prelitoral central. Notamos que, aunque la frecuencia en el siglo XXI ha disminuido, aún hay enjambres de años en que se produce un número notable de casos: 2003-2005 con 23 días, 2010-2013 con 30 días (entre ellos 3 días con temperaturas mínimas inferiores a -12 en 2012), 2018 con 7 casos, 2021 con 5 y 2023 con 4.

De los 43 días que se registraron mínimas por debajo de -12 grados (nivel rojo de aviso), solo cuatro ocurrieron entre 2001 y 2023 (3 de ellos en 2012). El último caso fue en 2013. De estos 43 casos, 12 se produjeron en 1956, 5 en 1963, y 7 en 1985.

Analizando las ocurrencias de heladas por meses, vemos en la tabla 1 que enero es el mes con mayor frecuencia absoluta. Diciembre, enero, febrero y marzo presentan un importante número de heladas superior a 1000 días en 74 años. La probabilidad de ocurrencia de heladas por meses muestra en que la mayor frecuencia relativa se produce en febrero con casi 69 %. En meses tan tardíos o tan tempranos como los de abril y noviembre, la probabilidad de día de heladas es de alrededor de un tercio.

Tabulando los índices agrupados por periodos climáticos obtenemos los promedios de días de temperatura máxima y de temperatura mínima por debajo de los diferentes umbrales en la tabla 2. Observamos una pequeña disminución en la climatología 1961-1990 respecto a la anterior, que continúa progresando en la de 1971-2000. Sin embargo, en la siguiente climatología 1981-2010 se parecían indicadores de los índices severos SID y SFD a la anterior. La climatología 1991-2020 continúa el proceso de descenso de los índices hasta llegar a sus mínimos: 17.8 días de hielo anuales con 1.4 días de hielo severo, 90.8 días de helada con 5.6 de días de helada severa (nivel naranja) y 0.2 días de helada extrema (nivel rojo).

Un análisis rápido de tendencias mediante el test de Mann-Kendall, utilizando el software Makesens del FMI sobre 74 datos anuales, muestra una disminución estadísticamente significativa tanto en FD: -4.6 días/década (test Z -4.67) como en ID: -1.8 días década (test Z -3.63)

Mes	Recuento	Prob heladas (%)	Mes	Recuento	Prob heladas (%)
Enero	1524	65.5	Junio	5	0.2
Febrero	1461	68.8	Septiembre	2	0.1
Marzo	1283	54.2	Octubre	157	6.5
Abril	852	36.5	Noviembre	751	32.8
Mayo	181	7.2	Diciembre	1280	54.5

Tabla 1. Frecuencias absolutas y relativas de días de heladas en la cumbre del Montseny. Periodo 1950-2023

Climatología	Tmax<0	Tmax<=-4	Tmin<0	Tmin<-8	Tmin<=-12
1951-1980	24.5	3.2	109.9	7.4	0.9
1961-1990	23.7	3.1	105.7	6.7	0.7
1971-2000	22.3	2.5	102.6	4.6	0.6
1981-2010	20.1	2.5	94.7	4.6	0.4
1991-2020	17.8	1.4	90.8	3.7	0.2
1950-2023	21.1	2.5	98.6	5.6	0.6
2021	18	2	86	5	0
2022	8	0	78	1	0
2023	18	1	57	4	0

Tabla 2. Promedios de los indicadores climáticos de temperaturas frías en los periodos de 30 años, de todos los años de la serie, y valores individuales de 2021, 2022 y 2023. Valores en días/año.

Conclusiones

De acuerdo a los valores de los índices climáticos utilizados, podemos concluir que el periodo 1951-1980 era más frío que los últimos 30 años de referencia, en especial con un intervalo de frío sostenido a principios de los años 70. El podio de año con más heladas y heladas severas lo comparte 1956 y 1963. 1984-1985 ocuparían un segundo nivel. El año 1991 tiene rango especial por sus valores extremos o de récord de FD e ID pero se aleja mucho en cuanto a valores extremos de los años mencionados. El año 1972 es notable por el número de días de helada y días de helada pero con casi nula severidad. La frecuencia de heladas es muy elevada entre noviembre y abril, con dos tercios de los días en enero y febrero

Los indicadores climáticos van disminuyendo a lo largo de los cinco periodos considerados. El análisis de tendencia de Mann-Kendall muestra valores significativos para FD e ID de disminución de -4.6 días/década y -1.8 días/década. Sin embargo, en los últimos 10 años continúa habiendo un número importante de heladas y días de hielo en la cima del Montseny.

Esto también es aplicable a los casos de avisos de temperatura nivel naranja con 91 casos en el siglo XXI con cierta tendencia a agruparse en periodos: 26 casos en 2003-2005; 30 en 2010-2013, con 3 días de temperaturas mínimas inferiores a -12 en 2012; 7 casos en 2018; 5 casos en 2021 y 4 en 2023.

Casos que hubieran merecido un aviso por nivel rojo hay pocos en el siglo XXI.

De los 43 casos de XFD, solo cuatro ocurrieron entre 2001 y 2023 (3 de ellos en 2012). El último caso fue en 2013.

La reducción paulatina de los días de heladas y días de hielo abre la puerta a transformaciones en el paisaje en cuanto a la aparición de especies vegetales o animales procedentes de los pisos inferiores o de otras zonas. Sin embargo, aún hay suficientes intervalos fríos para que la transformación no sea inmediata.

Teniendo en cuenta el cambio paulatino en las temperaturas y la disminución en la población de la cultura de adaptación al frío, los casos de frío extremo pueden traer consecuencias negativas importantes para el turismo y los visitantes del parque natural por ser más “inesperados”. Probablemente habría que trabajar en protocolos específicos para la comunicación y la gestión de visitantes en las zonas altas del macizo

Y para responder a la pregunta del título: la climatología básica es el fundamento necesario y previo de cualquier desarrollo de productos o servicios climáticos.

Referencias

● Klein Tank, A.M.G., Zwiers, F.W. & Zhang, X.B. (2009) Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation. World Meteorological Organization-No. 72, 55.

● Prohom et al., (2023). CADTEP: A new daily quality-controlled and homogenized climate database for Catalonia (1950-2021). *International Journal of Climatology*, 43(11), 4771-4789. <https://doi.org/10.1002/joc.8116>

Meteorólogas en la Sombra: Rescatando a las Pioneras Invisibilizadas y su Legado

SABELA SANFIZ

Reescribiendo la ciencia con memoria histórica

En la enseñanza de las ciencias del clima y la meteorología, la perspectiva histórica rara vez está presente. No es una excepción: la mayoría de las disciplinas científicas tienden a omitir sus propios fundamentos históricos.

Desde las ciencias tradicionales, como la física, la química o las matemáticas, pasando por las diferentes ingenierías, hasta los campos más recientes como la informática o ciencia de datos, pocas universidades destinan una asignatura o al menos parte de algún temario a explorar sus orígenes. **Y es evidente que el conocimiento de la historia de una disciplina científica favorece su comprensión entre quienes se especializan en ella.**

Sin embargo, es inevitable que, a medida que los estudiantes de clima y meteorología avanzan en sus estudios y, más adelante, en sus carreras profesionales, comiencen a surgir nombres como Svante Arrhenius, Charles D. Keeling, Jule G. Charney, Edward Lorenz, Jacob Bjerknes o Carl-Gustaf Arvid Rossby; ya que sus apellidos están vinculados a ecuaciones o fenómenos meteorológicos importantes. No obstante, y como también ocurre en otras áreas existe una omisión total de aquellos nombres femeninos que contribuyeron a las ciencias del clima desde su inicio.

Artículos científicos, libros de texto, libros biográficos o referencias en medios de comunicación; todos ellos están plagados de nombres masculinos, relegando las contribuciones femeninas a un segundo plano o incluso, llegando a ser eliminadas.

Si se combinan ambas casuísticas, la de la ausencia de formación histórica y el desconocimiento de referentes femeninos, el resultado es que **los profesionales al servicio de la climatología y meteorología a menudo carecen de conocimiento de aquellas que fueron las pioneras de su disciplina.** Por su

parte, esto conlleva a que, en el imaginario colectivo haya una ausencia casi total de referentes “climáticos” femeninos.

Ya que el enfoque biográfico suele ofrecer una representación realista y coherente de la historia, es clave conocer los logros y contribuciones de aquellas climatólogas y meteorólogas que dieron, y le continúan dando forma a las ciencias del clima, para así completar la narrativa de esta ciencia. **Quizás somos quienes nos dedicamos al clima, los principales interesados en rescatar del olvido a nuestras pioneras, y por tanto, los que debemos asumir esta tarea.**

Nombres desconocidos, historias reales: ¿quiénes fueron ellas?

Eunice Newton Foote

En enero de 2011, el geólogo estadounidense Ray Sorenson publicó en la revista AAGP Search and Discovery un artículo a medio camino entre lo científico y lo histórico sobre un descubrimiento relacionado con la transmisión del calor realizado por una científica en 1856. De esta manera, y sin prever el gran impacto que tendría aquella pequeña publicación, Ray Sorenson rescataba de un ostracismo de casi 150 años a quien hoy se reconoce como una de las pioneras de la climatología: Eunice Newton Foote, o como la denomina la escritora y activista climática estadounidense Dra. Katharine Wilkinson: “la abuela del clima”.

Según contaría años más tarde el propio Sorenson, ese artículo tuvo más impacto que cualquier otro trabajo que hubiera escrito en toda su carrera.

La historia de Newton Foote, es por la naturaleza pionera de su descubrimiento especialmente particular.

En 1856, presentó los resultados de un simple experimento en la convención anual de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia. Por ser una mujer, no le fue permitido presentar su propio trabajo *Circumstances Affecting the Heat of the Sun's Rays*.

En él mostraba los resultados de un experimento cuyo objetivo principal era estudiar la respuesta de varios tipos de gases al ser calentados. Para llevar a cabo este experimento, Newton Foote llenaba recipientes con distintos tipos de gases y los exponía al calentamiento solar.

Sus resultados mostraban que el ácido carbónico, más tarde denominado dióxido de carbono (CO₂), se calentaba más rápido que cualquiera de los otros gases. En su artículo, además de estos resultados – a los que no se tiene constancia que otro científico hubiera llegado antes –, incluso llegaba a especular que, debido a las propiedades de retención de calor del CO₂, si hubiera más de este gas en la atmósfera, la temperatura de la Tierra sería más alta.

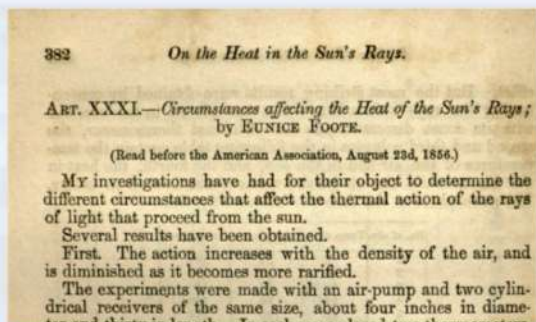
Sus conclusiones bien podrían haber sentado las bases de la teoría actual sobre el efecto invernadero provocado por el incremento de las emisiones de CO₂. Sin embargo, su trabajo permaneció en el anonimato al no ser publicado oficialmente.

A lo largo de la última década, el nombre de Eunice Newton Foote ha ido ganando gradualmente reconocimiento en la comunidad científica del clima. Sobre su persona y su descubrimiento en 1856 han corrido ríos de tinta, desde artículos de carácter científico a textos de opinión. Sus escasas publicaciones científicas han sido analizadas con lupa, así como su vida y su labor como científica y activista por los derechos de las mujeres. De forma paralela se ha abierto un debate: ¿fue Eunice Newton Foote o John Tyndall quien descubrió lo que hoy conocemos como efecto invernadero?

Y es que durante mucho tiempo, fue el científico británico John Tyndall el que se llevó el reconocimiento por haber demostrado la conexión entre el CO₂ y el calentamiento atmosférico. Con menos de tres años de diferencia, Newton Foote y Tyndall, con distintos medios y en lugares diferentes del planeta, llegaron a resultados similares, demostrando el

Eunice Newton Foote

Artículo pionero CO₂



1856

1918

Marie Dietsh

Primera mujer en obtener un doctorado en geofísica

Felisa Martín Bravo

Primera mujer en obtener un doctorado en física en España



1931

1948

Anna Mani

Accede al Departamento de Meteorología de India



1949

Joanne Simpson

Primera mujer en obtener un doctorado en meteorología en EEUU



1951

Edith Elizabeth Farkas

Primera mujer en entrar en el Servicio Meteorológico de Nueva Zelanda



1959

Jean Elizabeth Laby

Primera mujer en obtener un doctorado en física en Australia



Meteorólogas en la Sombra: Rescatando a las Pioneras Invisibilizadas y su Legado

efecto invernadero en ciertos gases, incluido el ácido carbónico.

Sin embargo, en la actualidad se sabe que a pesar de que el experimento de Tyndall fue más extenso y quizás más completo, la primera en demostrar las bases del efecto invernadero fue Newton Foote.

Ante esto es inevitable preguntarse: ¿debería la historia considerarlos a ambos co-descubridores del efecto invernadero, o solo a quién lo demostró primero? Y quizás debemos ir más allá y pensar, si Newton Foote hubiera sido un hombre y su descubrimiento no hubiera permanecido oculto durante más de cien años, ¿estaríamos planteando esta cuestión?

Marie Dietsh

Se considera al físico noruego Vilhelm Bjerknes como el padre de la meteorología moderna, y ese título es indudable, ya que fue él junto con su hijo Jack Bjerknes, los que tras una vida dedicada al estudio de diversas ramas de la física, postularon ciertos teoremas que sentaron las bases de la predicción meteorológica actual.

La vida de Bjerknes padre transcurrió entre finales del siglo XIX y comienzos del XX, en un entorno universitario, trabajando en distintas universidades de Francia y Noruega. En una Europa en la que el conocimiento científico comenzaba a aflorar, el nombre de Bjerknes aparece en la historia entrelazado en numerosas ocasiones con el de otros grandes físicos masculinos: Arrhenius, Max Planck o Lorentz. En ese contexto científico en el que la figura femenina era prácticamente inexistente, es difícil encontrar grandes contribuciones a la física por parte de mujeres, y mucho menos a la meteorología.

Sin embargo, se tiene constancia de algunas mujeres que bajo la supervisión de Bjerknes completaron estudios en meteorología. En 1918 Marie Dietsh, alumna de doctorado de Bjerknes, se convertiría en la primera mujer de la historia en obtener un doctorado en meteorología -en aquella época denominada matemática geofísica-, y un año más tarde Luise Charlotte Lammert presentaba en Leipzig su trabajo de doctorado en climatología.

Cabe preguntarse, **si las mujeres hu-**

bieran tenido pleno acceso a la ciencia, ¿estaríamos hablando hoy en día de Marie Dietsh como las madre de la meteorología, de forma análoga a como lo hacemos de Bjerkness?

Felisa Martín Bravo

Diez años después de la muerte de la pionera Newton Foote, nacía en España una niña que un día se convertiría en la primera mujer en obtener un doctorado en física en el país. Felisa Martín Bravo abrió camino para las mujeres españolas en la física, pero también en la meteorología.

Como muchos otros físicos de su generación, Martín Bravo se presentó a las oposiciones públicas para ingresar en el Cuerpo de Meteorólogos y Auxiliares de Meteorología del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), actual Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). En 1928, habiendo aprobado todas las pruebas de acceso, se convirtió en la primera mujer en acceder a dicho cuerpo. Sin embargo, al no haber plazas disponibles, no obtuvo un puesto de trabajo hasta 1931. Martín Bravo sería la única mujer en el cuerpo, hasta que, en 1935, Antonia Roldán, Mercè Potau Gili, Josefina Ricart Sau, Cristina Gonzálo Pintor y Pilar Martínez Díez-Canedo también accedieron.

Tras haber aprobado la oposición al SMN, Felisa obtuvo una beca para realizar una estancia durante un corto período de tiempo en la Universidad de Cambridge. Allí, tuvo la oportunidad de colaborar con el reconocido científico Charles Thomson Rees Wilson, quién había ganado el premio Nobel de Física por su invención de la cámara de niebla, también conocida como cámara de Wilson. Martín Bravo volvió a España en 1934, y trabajó en el SMN hasta el estallido de la guerra civil española en 1936, cuando la mayoría de funcionarios públicos, incluidos los meteorólogos, tuvieron que suspender su actividad en los diversos ministerios.

La Guerra Civil Española truncó las vidas de los españoles de mil maneras, pero también significó un punto de inflexión en el transcurso de la historia de la ciencia en España, que a pesar de no haber sido pionera en muchos campos científicos, comenzaba a florecer a inicios del siglo XX. Las universidades se vaciaron totalmente de cien-

tíficos y profesores, y para reponer estas grandes pérdidas se necesitaron décadas. Pero la ciencia se vio perjudicada también debido a la ausencia femenina tras la guerra. Las mujeres comenzaban a incorporarse a las universidades y en general a la vida laboral desde finales del siglo anterior y comienzos del XX, de la misma manera que lo estaban comenzando a hacer sus homólogas en el continente europeo. Sin embargo, tras la guerra la gran mayoría de esas mujeres científicas no volvieron a reincorporarse. Martín Bravo fue más afortunada que otras, y su carrera laboral tan solo se interrumpió durante unos pocos años. Tras la contienda militar, el régimen dictatorial impuesto por los vencedores se embarcó en una reforma de los ministerios y la agencias gubernamentales. El SMN también se vio sometido a cambios y fue adherido a las fuerzas armadas españolas, provocando que todos los trabajadores al servicio público se vieran sometidos a un expediente de depuración, para probar su lealtad al nuevo régimen. El no haber demostrado su afinidad al nuevo gobierno suponía la pérdida de su empleo o una sanción de postergación temporal.

En 1973, Martín Bravo se convirtió de nuevo en una pionera, sería la primera mujer presidenta en la Asociación Española de Meteorología (AME).

Jean Elizabeth Laby

Mientras estas mujeres españolas daban forma a las ciencias del clima en España, al otro lado del mundo otra increíble mujer hacía historia.

Su nombre era Jean Elizabeth Laby, y nacía en 1915 en Australia. Laby creció en un entorno científico, ya que su padre era profesor en la Universidad de Melbourne, y ya desde niñas llevaba a sus hijas al laboratorio de la universidad y les enseñaba física. Por ello, no resulta extraño que Laby creciera amando la física y las matemáticas, y decidiera dedicar su vida a ellas.

Laby estudió la carrera de física, y en 1940 comenzaba a trabajar el Departamento de Filosofía natural, más tarde conocido como Departamento de Ciencias Físicas, de la Universidad de Melbourne. Allí desarrollaría una carrera laboral de más de cuarenta años. En 1959, Laby se convertía en la primera mujer en obte-

ner un doctorado en física en Australia. Con el tiempo, Laby se convertiría en una pionera en el estudio de aerosoles atmosféricos, ozono y vapor de agua en la estratosfera.

Anna Mani

Si ya es complejo reconocer y seguir la estela de pioneras en meteorología y ciencias del clima que sean mujeres, resulta aún más difícil encontrar científicas que pertenezcan a minorías raciales.

La historia de la ciencia, y consecuentemente de las ciencias del clima, ha estado marcada por esa ausencia de minorías. La combinación de género y racialización ha funcionado como un doble obstáculo a la hora de acceder al mundo de la ciencia, prácticamente imposibilitando que existan científicas que pertenezcan a ambos colectivos.

Esta falta de diversidad no solo ha revertido en la propia falta de oportunidades para dichas científicas, sino que también ha empobrecido la perspectiva desde la que se investiga el clima y la meteorología.

Y sin embargo, **Anna Mani, una rara avis marcada por los principales obstáculos de su tiempo: género y raza, lograba colarse en las líneas de la historia del clima.**

Mani, nacida en India en 1918, y por tanto contemporánea de las doctoras Laby y Martín Bravo, fue precoz en sus estudios universitarios, y a la temprana edad de 21 años ya había terminado la carrera de física y química, obteniendo espléndidos resultados. Entre 1940 y 1945, con la ayuda de una beca del Instituto de Ciencia Indio, llevó a cabo investigaciones en el campo de la espectroscopía, publicando artículos científicos y comenzando así su carrera científica. En este período Mani trabajó bajo el liderazgo del científico Chandrasekhara Venkata Raman, descubridor del fenómeno que lleva su nombre y por el que fue galardonado con el premio Nobel en Física en 1930, pasando a la historia como el descubridor de la espectroscopía Raman.

En 1945, obtuvo una nueva beca que le permitió viajar al Reino Unido a estudiar - de nuevo - la carrera de física en la universidad Imperial College London, especializándose allí en instrumentos meteorológicos.

Tras haber obtenido este segundo

grado, Mani volvió a su país natal, donde comenzó a trabajar en el Departamento Meteorológico Indio (IMD), actualmente adscrito al Ministerio de Ciencias de la Tierra del Gobierno Indio. En aquellos años, la gran dependencia de India con Inglaterra, también se veía reflejada en todos los instrumentos de observación meteorológica, ya que eran importados desde allí.

Esta situación no era anecdótica: era una muestra más de cómo el colonialismo británico había moldeado la infraestructura científica y tecnológica de la India, manteniéndola subordinada a Reino Unido, incluso cuando India ya era independiente desde 1947.

Mani rompió con este colonialismo cuando, aplicando lo aprendido en su formación en Londres, impulsó un proceso de producción de instrumentos meteorológicos en su país, haciéndolo así autosuficiente en su fabricación e independiente de la corona británica.

A lo largo de las últimas décadas, a medida que las mujeres han alcanzado una plena integración profesional, numerosas meteorólogas y científicas del clima han ganado reconocimiento

En los años sesenta, Mani comenzó a interesarse por el estudio del ozono, un gas de cuya gran importancia se tiene consciencia hoy en día, pero en aquel momento no era objeto de estudio por la comunidad científica.

El ozono se consideraba un gas traza útil para estudiar la circulación atmosférica, pero no se entendía aún como lo que es: un gas que en altas concentraciones puede ser peligroso para el planeta, que cuando se encuentra en altas cantidades en la baja atmósfera, donde no aparece de forma natural sino como resultado de la actividad antropogénica puede tener efectos perjudiciales en los seres vivos y el planeta.

Mani desarrolló la primera sonda de ozono india, y centró su investigación en el gas ozono, publicando un gran número de artículos al respecto. Dedicó toda su vida al estudio de la atmósfera, y su trabajo fue pionero tanto en su país como a nivel mundial.

Edith Elizabeth Farkas

La primera mujer que trabajó en el Servicio Meteorológico de Nueva Zelanda (MetService - Te Ratonga Tirorangi) no era neozelandesa de nacimiento.

Edith Elizabeth Farkas, una refugiada de guerra, sin previo conocimiento del idioma del país, se convirtió en pionera de la meteorología, dejando una huella relevante en la historia de esta disciplina de Nueva Zelanda.

Farkas, nacida en 1921 en Hungría, emprendió un largo periplo, que la llevó desde su país natal, pasando por Austria como refugiada en campos de concentración durante la Segunda Guerra Mundial, a un barco en el que atravesaría medio mundo. Para llegar a su destino final, Nueva Zelanda, el país que la vería convertirse en una de las mejores meteorólogas de la historia, y donde tanto ella como sus padres y hermana fueron acogidos como refugiados.

Farkas, que poseía una titulación

superior universitaria en física y matemática obtenida en su país de origen, a su llegada a Nueva Zelanda como refugiada tuvo que dedicarse a trabajar en las cocinas de un hospital y en una biblioteca. En este país Farkas volvió a la universidad, ya que su titulación de origen no era reconocida en el país de acogida. Lo que es más impresionante es que Farkas tuvo que aprender inglés desde cero, ya que no tenía conocimiento de esta lengua. Y así lo atestiguan las páginas de su diario personal transcrito por uno de sus sobrinos en la obra "The Farkas Files", y que comienza en mayo de 1945 cuando Farkas, sus padres y su hermana se encontraban en un campo de refugiados en Austria.

A pesar de la desventaja del idioma, Farkas logró obtener un título de máster pocos años después de haber llegado a Nueva Zelanda. Y en 1951 comenzaba su carrera profesional como meteoróloga en el MetService, donde trabajaría

Meteorólogas en la Sombra: Rescatando a las Pioneras Invisibilizadas y su Legado

durante más de treinta y cinco años, hasta su jubilación.

Al igual que su contemporánea Anna Mani, Farkas centró su investigación en el estudio del ozono atmosférico. Durante más de tres décadas llevó a cabo investigaciones pioneras en el monitoreo del ozono a nivel mundial. En los años sesenta, su trabajo se centró en la medición del ozono total, particularmente con el espectro-fotómetro de ozono Dobson.

En 1975, Farkas pisaba el suelo antártico, convirtiéndose en la primera mujer húngara y en la primera mujer del Met-Service en hacerlo. Fue también una de las primeras mujeres en estudiar la Antártida. Al jubilarse, recibió el premio Henry Hill del MetService, convirtiéndose en la primera mujer en recibirlo.

Joanne Simpson

“¿Se recordará a Joanne Simpson como una pionera por ser una científica femenina, o como la mejor experta en meteorología tropical de su generación?” Esta pregunta es planteada por James Rodger en la única biografía que existe de la meteoróloga.

La respuesta no es sencilla pues los dos son fieles descripciones de la persona que fue Joanne Simpson. Lo que sí está claro es que la doctora Simpson fue una luchadora incansable que superó numerosos obstáculos a lo largo de su vida: la negativa a concederle becas, la hostilidad de muchos de sus colegas hombres y la creencia generalizada de que su tema de doctorado no constituía una investigación científica seria. O, como diría el meteorólogo Carl-Gustav Arvid Rossby: “Las nubes son un buen tema para que lo estudie una niña”.

A pesar de todas las trabas, Joanne Simpson se convirtió en la primera mujer en Estados Unidos en obtener un doctorado en meteorología. A lo largo de su trayectoria, publicó más de 190 artículos científicos revisados por pares, lideró numerosos proyectos de investigación y fue nombrada profesora titular en la Universidad de California, Los Ángeles, en 1960. Además de su carrera académica, trabajó durante muchos años en la agencia meteorológica estadounidense (NOAA) y pasó más de dos décadas en la NASA, donde llegó a ocupar el cargo de científica jefe en me-



teorología. La doctora Simpson recibió numerosos reconocimientos, entre ellos el prestigioso Premio Organización Meteorológica Internacional, que otorga la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en 2002, siendo la primera mujer en recibir esta distinción.

Visibilidad y legado: hacia una futuro inclusivo

Al inicio de esta investigación, se hizo evidente que no iba a ser sencillo recopilar información sobre meteorólogas y climatólogas de épocas anteriores. Los que se han citado representan unos pocos nombres de todas las que un día fueron pioneras en el campo de la meteorología.

Fue más sencillo encontrar a aquellas con grandes contribuciones a la meteorología, pero en la caso de muchas otras, cuyos aportes fueron más modestos, resulta casi imposible encontrar información sobre quiénes fueron y cómo contribuyeron a la ciencia.

Pero, independientemente de la magnitud de sus hallazgos, existe mucha menos información sobre ellas que sobre sus colegas varones. Esto se debe a que, **en una comunidad científica históricamente dominada**

por hombres, las contribuciones de las mujeres han sido invisibilizadas en los libros de historia, subordinadas a los logros de sus colegas o directamente relegadas al olvido.

A lo largo de las últimas décadas, a medida que las mujeres han alcanzado una plena integración profesional, numerosas meteorólogas y científicas del clima han ganado reconocimiento.

Entre ellas destacan nombres de proyección internacional como: Celeste Saulo, primera mujer y primera persona sudamericana en ocupar el cargo de **Secretaria General de la OMM**; Susan Solomon, experta en química atmosférica del Massachusetts Institute of Technology (MIT), pionera en explicar el papel de los CFC en la destrucción del ozono antártico; Sylvia Alice Earle, oceanógrafa y exploradora del fondo marino; Florence Rabier, meteoróloga francesa y actual directora general del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF); Marta Estrada Miyares, oceanógrafa española; Sonia Seneviratne, Katharine Hayhoe, Friederike Otto, y muchas otras que siguen construyendo las ciencias del clima y la meteorología día a día, unos campos donde la presencia femenina continúa siendo minoritaria.

NOTICIAS

SECCIÓN COORDINADA POR MANUEL PALOMARES CALDERÓN

El informe ESOTC. Publicado por segunda vez conjuntamente por la OMM y el Servicio de Cambio Climático de Copernicus, C3S

Fuentes: C3S de Copernicus, OMM y *Tiempo y Clima*

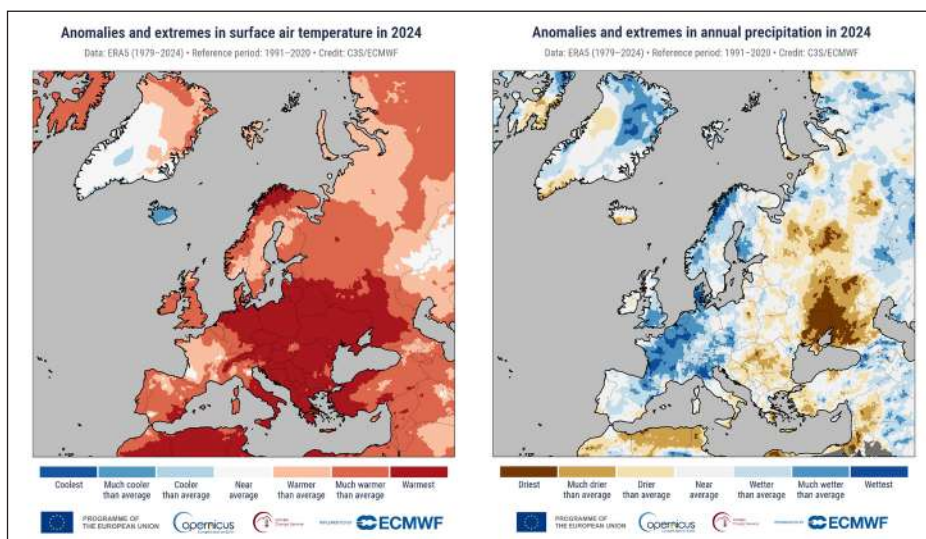
El reciente 15 de abril se ha publicado por segunda vez el Informe Anual sobre Estado del Clima Europeo (**ESOTC** por sus siglas en inglés) preparado de forma conjunta por la Organización Meteorológica Mundial (**OMM**) y el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (**C3S** por "Copernicus Climate Change Service") que es un servicio del programa Copernicus financiado por la Comisión Europea (el gobierno de la Unión) y encomendado al Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Plazo Medio (ECMWF por sus siglas inglesas). El C3S está dirigido por Carlo Buontempo, recientemente entrevistado por *Tiempo y Clima*.

Entre otras ventajas, la producción conjunta del informe por los dos organismos incluye una versión oficial en español ya que el C3S solo publica sus informes en inglés, pero en cambio, el español es lengua oficial de la OMM con lo cual se ha tenido que publicar el informe ESOTC en su versión en español.

De acuerdo al informe, Europa es el continente que más rápido se calienta y las repercusiones del cambio climático aquí son evidentes. El año 2024 fue el más cálido registrado en Europa, con temperaturas récord en las regiones central, oriental y sur-oriental. A menudo, las borrascas produjeron gravísimas inundaciones, cobrándose al menos 335 vidas y afectando a unas 413 000 personas. A lo largo del año, las condiciones climáticas contrastaron notablemente entre el este y el oeste: en el este se dieron condiciones extremadamente secas, a menudo con temperaturas récord, y en el oeste las temperaturas fueron cálidas y las condiciones húmedas.

Datos clave del informe ESOTC 2024

- ✓ **Temperaturas:** el año 2024 fue el más cálido en Europa, con temperaturas anuales récord en casi la mitad del continente.
- ✓ **Temperatura de la superficie del mar (TSM):** en el conjunto del año, la TSM de la región europea fue la más alta desde que hay registros y se situó 0.7 °C por encima de la media, y también fue la más alta registrada en el mar Mediterráneo, ya que



Anomalías y extremos anuales de la temperatura del aire en superficie y de la precipitación en 2024. Las categorías extremas se basan en valores de 1979-2024. Las otras cinco categorías comparan temperaturas y precipitaciones con los percentiles 0.9, 0.66, 0.33 y 0.1 de sus distribuciones durante el período de referencia 1991-2020. Datos: ERA5.

Crédito: C3S/ECMWF.

se situó 1.2 °C por encima de la media.

- ✓ **Precipitaciones:** hubo un marcado contraste entre el este y el oeste en las precipitaciones. Europa occidental registró uno de los diez años más lluviosos del periodo analizado desde 1950.

- ✓ **Inundaciones:** Europa no había sufrido inundaciones tan generalizadas desde 2013. Casi un tercio de la red fluvial sufrió inundaciones que superaron, al menos, el umbral de inundación «alta». Se calcula que las borrascas e inundaciones afectaron a 413 000 personas en Europa y que al menos 335 personas perdieron la vida.

- ✓ **Estrés térmico:** el número de días con estrés térmico «fuerte», «muy fuerte» y «extremo» fue el segundo más alto jamás registrado. El 60 % de Europa registró más días que la media con, al menos, «fuerte estrés térmico».

- ✓ **Energía renovable:** la proporción de electricidad generada con energías renovables en Europa alcanzó un máximo histórico en 2024, con un 45 %.

- ✓ **Extremos de frío:** la superficie de suelo europeo que experimentó menos de tres meses (90 días) de días con heladas fue la mayor registrada (alrededor del 69 %, situándose la media en el 50 %).

- ✓ **Estrés por frío:** se registró un mínimo récord de días con al menos «fuerte estrés por frío».

- ✓ **Glaciares:** todas las regiones europeas experimentaron pérdida de hielo; los glaciares de Escandinavia y Svalbard perdieron las mayores superficies desde que hay registros.

- ✓ **Incendios forestales:** en septiembre, los incendios en Portugal quemaron unas 110 000 hectáreas (1100 km²) en una semana, lo que representa aproximadamente una cuarta parte de la superficie quemada anual en Europa. Se calcula que 42 000 personas se vieron afectadas por los incendios forestales en Europa.

El informe ESOTC de 2024 cuenta con la participación de un centenar de científicos que aportan una visión holística pero concisa del clima en Europa, a través de recursos como una nueva galería gráfica con 130 gráficos e infografías.

Puede accederse al comunicado de prensa completo en: [Estado del Clima Europeo: llamativo contraste entre el este y el oeste del Viejo Continente e inundaciones generalizadas en el año más cálido en Europa | Organización Meteorológica Mundial](#).

La inteligencia artificial se hace operativa en el ECMWF

Fuente: <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2025/ecmwfs-ai-forecasts-become-operational>

Por su alto interés y trascendencia mundial, *Tiempo y Clima* reproduce, íntegramente y traducida, la nota informativa del Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Plazo Medio (ECMWF) que éste publicó el pasado 25 febrero de 2025.

El ECMWF ha puesto en funcionamiento el Sistema de Predicción basado en Inteligencia Artificial (AIFS) hoy, 25 de febrero de 2025, para que funcione en paralelo con su Sistema Integrado de Predicción tradicional (IFS), basado en la física, y así avanzar en la predicción numérica del tiempo.

El AIFS supera a los modelos basados en física de vanguardia en numerosos índices incluyendo la trayectoria de ciclones tropicales, con mejoras de hasta un 20 %. Este modelo de alta precisión complementa nuestra cartera de modelos basados en la física al aprovechar las oportunidades que ofrecen el aprendizaje automático (ML) y la inteligencia artificial (IA), en particular una mayor velocidad y una reducción de aproximadamente mil veces el consumo de energía para realizar una predicción.

Primer modelo abierto de IA operativo

El AIFS es el primer modelo abierto de predicción meteorológica totalmente operativo que utiliza aprendizaje automático con la más amplia gama de parámetros. Incluye campos vitales para los usuarios, como el viento y la temperatura, y detalles

sobre los tipos de precipitación, desde nieve hasta lluvia. El AIFS tiene actualmente una resolución de malla de 28 km.

El AIFS se ha diseñado pensando en la utilidad para todos los usuarios. Por ejemplo, en el sector de las energías renovables, facilitará la predicción de magnitudes como los niveles de radiación solar superficial o la velocidad del viento a nivel de las turbinas, para optimizar las operaciones.

La disponibilidad del AIFS, junto con nuestros otros servicios, influirá positivamente en la capacidad de los servicios meteorológicos nacionales de nuestros 35 estados miembros y estados cooperantes, y los de otros países, para realizar sus predicciones. Podría ser potencialmente de gran ayuda para sectores en los que las predicciones a medio plazo pueden influir en la toma de decisiones, como el sector energético para la previsión de

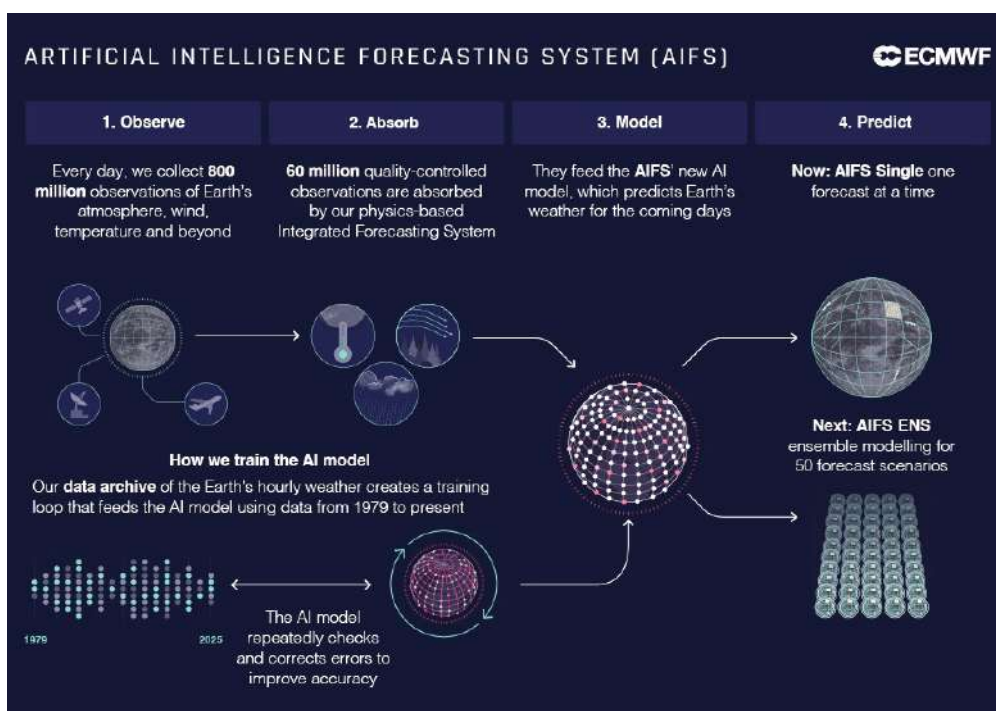
precios, así como los sectores de seguros, seguridad y transporte marítimo.

La directora general del ECMWF, Florence Rabier, ha afirmado que: «Este hito transformará la ciencia meteorológica y las predicciones. Demuestra nuestra dedicación a la creación de un modelo de predicción basado en aprendizaje automático que supera los límites de la eficiencia y la precisión, y subraya nuestro compromiso de aprovechar el potencial del aprendizaje automático para la comunidad de la predicción del tiempo. No solo somos nosotros quienes innovamos, sino que es importante recordar que, junto con el ECMWF, 35 países están trabajando juntos para impulsar la meteorología y mejorar las predicciones globales. Se trata de ayudara las agencias meteorológicas nacionales en su labor de contribuir a una sociedad segura y próspera».

¿Cómo funciona el modelo?

El AIFS utiliza las mismas condiciones iniciales para sus predicciones que el IFS. Estas se basan en la combinación de un pronóstico a corto plazo previo con alrededor de 60 millones de observaciones satelitales con control de calidad, así como de muchas otras fuentes, como aviones, barcos, boyas marinas y estaciones de medición terrestres. Cada seis horas, estas condiciones iniciales se incorporan al AIFS. El modelo de aprendizaje automático, entrenado con la evolución del tiempo atmosférico en el pasado, evalúa cómo influirán las condiciones iniciales en el tiempo de los próximos días. En cambio, el IFS utiliza capacidades basadas en la física para obtener un pronóstico con una malla de 9 km en todo el mundo, integrando las leyes de la física en su código informático.

La primera versión operativa se denomina *AIFS Single*. Ejecuta una sola predicción cada vez, conocido como predicción



Esquema del Sistema de Predicción de Inteligencia Artificial (AIFS) del Centro Europeo

determinista. Sin embargo, el ECMWF está utilizando este modelo para crear una colección de 50 predicciones diferentes con ligeras variaciones en las condiciones iniciales en cualquier momento dado para proporcionar la gama completa de escenarios posibles. Esto se conoce como modelización *Ensemble* (en español se suele llamar “predicción por conjuntos”), una técnica desarrollada e implementada por el ECMWF hace más de treinta años.

Planes futuros

El lanzamiento de AIFS Single como servicio operativo es solo el comienzo. Los próximos pasos serán **la disponibilidad de predicciones ensemble** y la introducción de **predicciones subestacionales (de plazo ampliado) experimentales**, basadas en datos.

La posibilidad de hibridar predicciones basadas en datos y con base física será también un campo de investigación en los próximos años. El director de Predicción y Servicios del ECMWF, Florian Pappenberger, añadió que: «Consideramos que AIFS e IFS son complementarios y parte de la oferta de una gama de productos para nuestra comunidad de usuarios, quienes decidirán qué se adapta mejor a sus necesidades».

«El AIFS del ECMWF fue un modelo experimental durante algunos meses, mientras mejorábamos sus capacidades interactuando con nuestros estados miembros y usuarios para perfeccionarlo. Poner este sistema en funcionamiento operativo significa que estará disponible abiertamente y contará con soporte continuo (24/7) para nuestra comunidad meteorológica. Como siempre, debemos optimizar este servicio hasta su plena madurez, y esperamos colaborar directamente con nuestros usuarios para garantizar que se cubran todas sus necesidades en la medida de lo posible».

Más información

Se puede acceder a más información sobre la operacionalización del AIFS en **implementation of the AIFS operational model**. El modelo se presenta también en un seminario web en **webinar**. Además se puede acceder a una serie de entradas del blog del AIFS en **AIFS blog posts**, y los mapas de predicción del *AIFS Single* están disponibles en **our charts page**.

El Consorcio de Compensación de Seguros estima el coste de la siniestralidad por las inundaciones extraordinarias de octubre pasado en alrededor de 4500 millones de euros. Se trata de la cifra más alta de compensaciones por una misma catástrofe natural desde la creación del Consorcio

En su decimoséptima nota informativa de fecha 15 de abril de 2025, dedicada a las trágicas inundaciones del 29 de octubre de 2024 en la Comunidad Valenciana y otras zonas del este y el sur de la península, el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) informa que:

A las 8 h del 15 de abril de 2025, el CCS había recibido y registrado un total de 246 305 solicitudes de indemnización, 3719 de ellas por pérdida de beneficios y 254 por daños personales. Las 242 332 solicitudes restantes son por daños en los bienes, que se desglosan de la siguiente manera según clase de riesgo:

- Viviendas y comunidades de propietarios: 78 801 solicitudes.
- Vehículos automóviles: 143 172 solicitudes.
- Comercios, almacenes y otros riesgos:

4667 solicitudes.

- Oficinas: 992 solicitudes.
- Riesgos industriales: 4623 solicitudes
- Obras civiles: 77 solicitudes

235 979 de estas solicitudes (el 95.4 % del total) se localizan en la provincia de Valencia. 116 localidades presentaron más un centenar de solicitudes con un máximo de 23 646 en Paiporta. De la cercana Catarroja se han recibido 22 270 solicitudes. El CCS estima, en estos momentos, un coste total de esta siniestralidad de alrededor de 4500 millones de euros y seguirá actualizando estas notas informativas con el avance en la gestión de la siniestralidad.

Sin contar el valor incalculable de la pérdida de 230 vidas, esas cifras del Consorcio ilustran sobre el enorme coste del fenómeno atmosférico unido a la ausencia o deficiencia de planes y medidas para mitigar sus efectos.



Paiporta, el epicentro de la tragedia fuente: prensa

XIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología

Del 22 al 24 de enero se celebró en El Escorial, Madrid, y organizado por CSIC, AEMET y la UCM, el XIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología. Titulado “Cambio Climático y Sociedad: de la Ciencia Básica a los Servicios Climáticos” que enfatiza la importancia de la ciencia para aportar soluciones realistas que permitan identificar y anticipar fenómenos climáticos y atmosféricos extremos claves para la sociedad. El congreso tuvo una asistencia masiva con casi 400 trabajos que han reunido a 367 participantes y estuvo organizado en 18 sesiones temáticas: **1)** observaciones instrumentales; **2)** paleoclima y paleoambiente; **3)** mecanismos de variabilidad climática atmosférica; **4)** mecanismos de variabilidad climática oceánica; **5)** climas polares y de montaña: criosfera; **6)** extremos y riesgos climáticos; **7)** predicción estacional y decadal; **8)** proyecciones climáticas; **9)** desarrollo de servicios climáticos. Aspectos prácticos; **10)** efectos urbanos y sistemas de circulación local; **11)** sistema energético, y energías renovables y mitigación; **12)** paisaje e incendios forestales; **13)** salud y bienestar; **14)** ecosistemas y biodiversidad; **15)** turismo en la era del cambio climático; **16)** cambio climático, economía y sistemas productivos; **17)** cambio climático y (geo) política; **18)** cambio climático y sociedad.

El cambio climático antropogénico fue el elemento central de muchas de las ponencias. Entre ellas, la evaluación de las inundaciones del 29 de octubre de 2024 en Valencia y su atribución al cambio climático. Muchas otras abordaban impactos de relevancia,



como los incendios forestales, analizando su riesgo de ocurrencia, resiliencia de los diferentes ecosistemas, la evaluación de las áreas quemadas, y caracterizando los impactos socioeconómicos de los grandes incendios forestales.

Hubo además tres conferencias invitadas impartidas por F.J. Doblas Reyes (BSC), M.J. Sanz Sánchez (BC3) y M. Sánchez Bajo (OECC) que versaron respectivamente sobre “CMIP, Destination-Earth y la operacionalización de las proyecciones climáticas”, “Cambio climático superficie terrestre” y “Políticas públicas para hacer frente al cambio climático”. También tuvo lugar una mesa redonda que trató sobre el tema “De la ciencia a la sociedad”.

El día previo al congreso tuvo lugar un “coloquio de doctorandos” cuyo objetivo era compartir e intercambiar ideas entre los propios doctorandos sobre las temáticas y los enfoques metodológicos que se utilizan para abordarlas. También se celebró un taller sobre “el arte de la comunicación climática: estrategias efectivas para comunicar el cambio climático”.

Nuestras felicitaciones a los organizadores y participantes por el éxito de este congreso que incluyó como novedad sesiones especiales dedicadas a los aspectos sociales, económicos y (geo) políticos del clima y del cambio climático.

ERNESTO RODRÍGUEZ CAMINO

MAYO – DICIEMBRE 2025

27 abril - 2 mayo, Viena, AUSTRIA

- Asamblea de la Unión Europea de Geociencias (EGU 2025)
- <https://www.egu25.eu/>

20 mayo, París, FRANCIA

- International Symposium on Cities and Climate Change
- <https://forumeteoclimat.com/en/international-symposium-2025/>

27 de mayo - 31 de julio, Lisboa, PORTUGAL

- Exposición del Instituto Português de Meteorologia 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/>

boundary-layers-and-turbulence/

7 - 11 julio, Rotterdam, PAÍSES BAJOS - 12th International Conference on Urban Climate ICUC12

- ICUC12 - Home

8 - 10 julio, CABO VERDE

- V Simposio Ibero-Afro-Americano de Riesgos 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/>

7 - 12 septiembre, Lubiana, ESLOVANIA

- Reunión anual de la Sociedad Meteorológica Europea 2025 con el lema: “Growing use of AI/ML in atmospheric sciences and meteorological applications”
- <https://ems2025.eu/>

15 - 19 septiembre, Lyon, FRANCIA

- Conferencia de satélites meteorológicos

de EUMETSAT 2025

- <https://www.eumetsat.int/eumetsat-meteorological-satellite-conference-2025>

29 septiembre - 1 octubre, Nicosia, CHIPRE

- International Conference on Meteorology, Climatology, and Atmospheric Physics (COMCAP2025)
- <https://comecap2025.com/>

30 septiembre - 3 de octubre, La Plata, ARGENTINA

- Congreso Argentino de Meteorología CONGREMET
- <https://cenamet.org.ar/congremet/>

29 octubre - 3 noviembre, Poreč, CROACIA y online

- 37th International Conference on Alpine Meteorology (ICAM)
- <https://icam2025.hr/>

17 - 21 noviembre, Utrecht, PAÍSES BAJOS

- 12th European Conference on Severe Storms
- ECSS2025 | European Severe Storms Laboratory

LIBROS

Weather Prediction (Predicción del tiempo)

ROBERTO BUIZZA, 2023, OXFORD UNIVERSITY PRESS, (COLECCIÓN: WHAT EVERYONE NEEDS TO KNOW), 304 PÁGINAS, PRECIO: 28,15 €, ISBN-10: 0197652123, ISBN-13: 978-0197652121

El autor, Roberto Buizza, es actualmente catedrático de Física en la Scuola Superiore Sant'Anna (Pisa, Italia) e investigador honorario del Grantham Institute para Cambio Climático y Medio Ambiente del Imperial College (Londres, Reino Unido). Entre 1991 y 2018 trabajó en el Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (ECMWF, por sus siglas en inglés) como científico principal y posteriormente como jefe de la División de Predictibilidad contribuyendo en el desarrollo de sus sistemas de predicción. Desde su experiencia de 27 años en el desarrollo del sistema de predicción por conjuntos del ECMWF, que permite estimar las incertidumbres de las predicciones y realizar predicciones probabilísticas, conoce de primera mano la materia sobre la que trata este libro.

Aunque el título del libro puede inducir a creer que trata sobre el pronóstico del tiempo en general, este libro describe básicamente los principios de la predicción numérica del tiempo (PNT). Esta confusión proviene del diferente sentido que tienen en inglés los términos *prediction* y *forecast*. El primero (*weather prediction*) se refiere al proceso numérico involucrado en la estimación de las condiciones meteorológicas futuras y que abarca el uso de modelos matemáticos y algoritmos para simular el comportamiento de la atmósfera a lo largo del tiempo. El segundo (*weather forecast*), por otro lado, es el proceso general que incluye métodos automatizados y manuales para predecir el tiempo futuro. También incluye la interpretación de estas predicciones por parte de los meteorólogos. Puede incorporar información adicional, incluidos datos meteorológicos históricos, observaciones actuales y la experiencia de los predictores, para refinar y comunicar las predicciones al público y a usuarios específicos.

El autor ha hecho un gran esfuerzo para hacer comprensible la ciencia y la práctica de la PNT, a pesar de la complejidad del tema, a un público muy amplio. El libro pertenece a una colección (llamada en el original en inglés *what everyone needs to*

know) de monografías de Oxford University Press que presenta un tema seleccionado de forma muy sencilla, directa y organizada. El actual libro está muy bien estructurado en 10 capítulos que tratan los aspectos básicos de la ciencia que hay tras la predicción numérica del tiempo incluyendo su relación



con la modelización climática. Entre estos capítulos, los hay dedicados a cuestiones básicas generales (p. ej., tiempo y clima, el sistema Tierra, observando el sistema Tierra), cuestiones específicas de PNT (p. ej., modelizando el sistema Tierra, predicción numérica del tiempo, caos y predicción del tiempo, incertidumbres y la predicción probabilística, horizonte de la pericia de la predicción), cuestiones sobre el cambio cli-

mático (p. ej., cambio climático y PNT) y un capítulo final sobre la posible evolución futura de la PNT. Por otra parte, cada capítulo está organizado en subcapítulos en forma de preguntas (aproximadamente 10) y respuestas no muy extensas (aproximadamente 2-3 páginas). Además, cada capítulo tiene un subcapítulo final con los puntos clave desarrollados en las preguntas y respuestas del correspondiente capítulo.

Aunque el libro está dirigido a legos en la materia, los especialistas y profesionales de la meteorología también pueden obtener información valiosa sobre ciertos aspectos no suficientemente conocidos de la PNT. Con esta estructura del libro en forma de preguntas y respuestas, el autor plantea cuestiones tan fundamentales como, por ejemplo, alguna de las siguientes: ¿cómo comunicamos la incertidumbre en las predicciones?, ¿cómo tomamos decisiones utilizando predicciones probabilísticas?, ¿cuál es la mínima resolución espacial que los modelos pueden simular de forma realista?, ¿cómo se puede extender la predictibilidad?, ¿cómo afecta el cambio climático a la predicción del tiempo?, ¿qué aspectos del cambio climático somos capaces de predecir?, ¿puede la inteligencia artificial mejorar las predicciones del tiempo?, ¿a medida que aumenta la resolución de los modelos globales necesitaremos todavía los modelos de área limitada?, etc.

El libro de Buizza deja muy claro el papel central e insustituible que actualmente tienen los modelos numéricos en la predicción del tiempo en los diferentes ámbitos bien sea por parte de los servicios meteorológicos que normalmente desarrollan y operan los modelos numéricos o por los

¿puede la inteligencia artificial mejorar las predicciones del tiempo? ¿a medida que aumenta la resolución de los modelos globales necesitaremos todavía los modelos de área limitada?

→ profesionales que trabajan en los diferentes medios y canales de comunicación que habitualmente traducen, interpretan y explican los resultados que proporcionan los modelos a un público general. Para esta labor de comunicación, utilizando bien sea un lenguaje fácilmente comprensible o la ayuda de medios gráficos, es esencial que los profesionales involucrados conozcan perfectamente los principios, el funcionamiento, las limitaciones y las capacidades de los modelos numéricos de predicción del tiempo. Este libro es para este fin una herramienta muy valiosa. Tal y como explica Buizza, la predicción numérica operativa

incorporará seguramente en los próximos años, en parte ya lo ha hecho, algoritmos basados en aprendizaje automático (*machine learning*), utilización de asimilación y predicción basados en conjuntos (*ensembles*) con ciclos de asimilación y predicción cada vez más cortos –casi de manera continua– para el corto plazo (hasta 3 días), dos veces al día para el medio plazo (de 3 a 15 días), una vez al día para las predicciones mensuales y una vez a la semana para la predicción estacional. También augura que a medida que mejoren los modelos de predicción del tiempo habrá una transición operativa hacia modelos de predicción am-

biental capaces de monitorizar y predecir la evolución de especies químicas y aerosoles.

En conclusión, el libro de Buizza es una obra muy recomendable tanto para público general como para estudiantes universitarios e incluso para profesionales de la meteorología no especializados en modelos, ya que ofrece una panorámica muy general de los modelos numéricos para la predicción del tiempo. Cualquier usuario de las predicciones generadas con modelos debería al menos poseer los conocimientos sobre las capacidades y limitaciones de los mismos tal y como se explican en este texto.

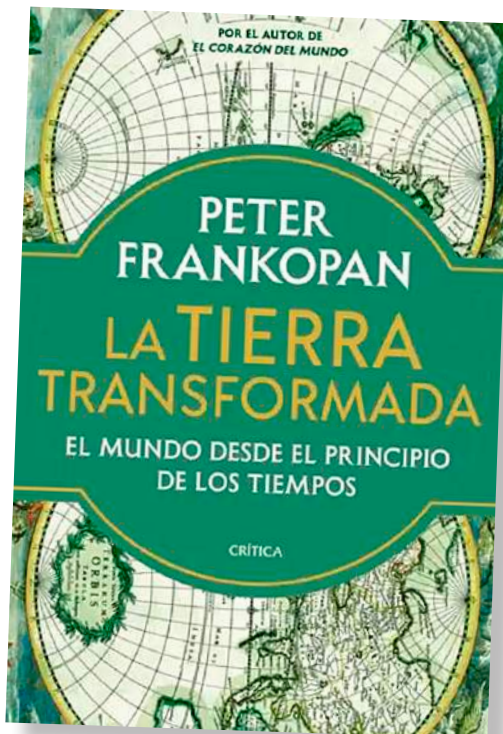
ERNESTO RODRÍGUEZ CAMINO

La Tierra transformada: el mundo desde el principio de los tiempos

PETER FRANKOPAN, 2024. EDITORIAL: CRÍTICA, 880 PÁGINAS, PRECIO: 33,15 €, ISBN-10: 8491996230, ISBN-13: 978-8491996231

Peter Frankopan (1971) es un historiador, escritor y, curiosamente, también hotelero británico con origen familiar croata. Es catedrático de historia global en el Worcester College de Oxford y director del Oxford Centre for Byzantine Research, además de miembro de la Royal Asiatic Society. Sus áreas de interés e investigación son la historia del imperio bizantino, el Mediterráneo, los Balcanes, el Cáucaso y Rusia, así como la interdependencia del islam y el cristianismo. También se ha especializado en la literatura griega de la Edad Media.

En esta obra Frankopan presenta una relectura de la historia global a través del prisma del medio ambiente y del cambio climático. El autor propone que la naturaleza no ha sido solo un escenario pasivo en la evolución e historia del hombre, sino un actor fundamental que ha determinado el auge y caída de civilizaciones, el desarrollo de las sociedades y los conflictos que han dado forma a nuestra historia global. Frankopan no solo se restringe a la historia de la humanidad. De hecho, el autor comienza con el origen de la Tierra y llega hasta nuestros días y también nos presenta sus ideas sobre el futuro. Frankopan nos relata como las erupciones volcánicas, los cambios en la actividad solar, las fluctuaciones en la temperatura global y los fenómenos meteorológicos extremos, en pie de igualdad con las acciones humanas nos ayudan a explicar y entender el devenir histórico. Este libro es una obra monumental en cuanto a extensión (880 páginas + 212 pági-



nas de referencias en línea), en cuanto a cobertura temporal –no se ciñe a la historia del hombre sino que la enmarca, como hemos comentado, en la historia de la Tierra– y en cuanto al enfoque. Es un verdadero tour de force en el que además de la relación entre el medio ambiente con los hechos históricos, se analizan los orígenes de nuestra especie, la aparición de las religiones, el desarrollo del lenguaje, la evolución de las ideas, la aparición y hundimiento de imperios, las redes y los intercambios comerciales, etc.

Nos relata Frankopan como la agricultura ha transformado el planeta, como también lo han hecho el desarrollo del comercio global de especias, algodón y personas esclavizadas, e incluso el trasplante de tomates y patatas de las Américas a Europa. La humilde patata cambió el mundo, escribe el autor. Se analiza en el libro cómo la necesidad de centralizar el excedente agrícola dio origen al estado burocrático y cómo las crecientes demandas de cosechas contribuyeron al aumento del comercio de personas esclavizadas. Mientras que, en la historiografía tradicional, los relatos suelen centrarse en líderes, imperios, guerras y revoluciones tecnológicas, dejando en un segundo plano el papel de la geografía, el clima y los ecosistemas. Frankopan desafía esta perspectiva y analiza cómo los cambios en el entorno natural han sido catalizadores de grandes transformaciones históricas.

El libro plantea y subraya desde el principio que de no ser por la intensa actividad del sol, los repetidos impactos de los asteroides, las épicas erupciones volcánicas, las extraordinarias transformaciones de la atmósfera, los espectaculares movimientos tectónicos y la constante adaptación de la vida durante miles de millones de años, hoy no estaríamos aquí. Todos estos eventos han dado lugar a las cinco extinciones masivas que han tenido lugar y que han moldeado la evolución de la vida sobre la Tierra. Igualmente, la evolución de los homínidos se vio acelerada por los cambios en las pautas climáticas que dieron

lugar a unas condiciones más secas, en detrimento de los bosques, y crearon las presiones evolutivas que favorecieron el desarrollo de la postura erguida y la aparición de cerebros más grandes. También los homínidos adquirieron la capacidad de cubrir distancias más largas. Aunque estos cambios no fueron uniformes, la flexibilidad dietética en tiempos de imprevisibilidad ambiental y la habilidad para reducir los riesgos de mortalidad fueron factores clave para la resiliencia, el éxito y la expansión del género en su conjunto. El principal factor que moldeó la propagación y el asentamiento del *homo sapiens* fue el hallazgo de áreas benignas desde un punto de vista ecológico. Estas incluían una amplia variedad de hábitats —los bosques cálidos, los pastos de la sabana, las zonas costeras ricas en vida marina—, si bien parece que de forma deliberada el género evitó los paisajes demasiado abiertos.

Posiblemente, el principal hilo conductor de este libro consiste en contar la historia del *homo sapiens* y su evolución tanto como sujeto pasivo de los cambios en el medio ambiente como, a su vez, generador de estos mismos cambios en el medio natural. Los peligros derivados de la degradación del medio ambiente, el consumo excesivo de los recursos, juntamente con una carga demográfica insostenible, no pasaron desapercibidos para los pueblos que vivieron hace miles de años. Además de presentar las grandes inundaciones que ocurrieron durante el deshielo al final de la última glaciación (cuyo recuerdo ancestral inspira, sin duda, el Antiguo Testamento y otros textos sagrados) como un castigo divino, todas las historias acerca del diluvio plantean, aunque sea de forma implícita, el tema del descenso de la población y el control demográfico.

También se analiza en el libro cómo los cambios climáticos impulsaron grandes innovaciones. La Revolución Agrícola del Neolítico, por ejemplo, se debió en parte al fin de la última glaciación. Las pautas de asentamiento y las sociedades humanas habían experimentado un cambio drástico con el cultivo de la tierra. La domesticación de la cabra, la oveja y, más tarde, el ganado vacuno trajo consigo una serie de pequeñas revoluciones como consecuencia de la disponibilidad, por un lado, de fuentes de proteína estables y, por otro, de materiales como la lana y el cuero, que podían emplearse para hacer ropa y recipientes y contribuyeron al desarrollo de nuevas tecnologías. También hubo una ganancia clave de energía y tiempo —que era posible invertir en otras actividades— cuando se empezó a utilizar a los animales para traba-

jar el campo, permitiendo obtener mayores rendimientos agrícolas con una menor aportación humana en términos de esfuerzo. No menos importante que estos avances fue la domesticación del caballo que puede desplazarse a una velocidad diez veces superior a la humana y que fue esencial para la creación de los grandes imperios de la época clásica. Sin embargo, el autor enfatiza que la domesticación trajo también consigo problemas medioambientales a largo plazo, como la deforestación y la erosión del suelo, problemas que siguen afectando a la humanidad hasta nuestros días. Los alimentos no eran lo único que circulaba a través de las redes de pastores y nómadas, también lo hacían las materias primas, como el cobre y el estaño, y las tecnologías, como la cerámica y la metalurgia, como evidencia la aparición de cuchillos y hachas de bronce y otros artefactos producidos de forma similar y con estilos parecidos a lo largo y ancho de la estepa en el contexto de una red de “intercambio transeurásico”.

Las economías agrarias dependían en particular de las precipitaciones y la disponibilidad de agua, que a su vez están estrechamente vinculadas a las pautas climáticas. Cuando el agua era abundante, los grandes ríos, como el Tigris, el Éufrates, el Amarillo, el Yangtsé y el Indo y sus afluentes, hacían que la tierra pudiera cultivarse con facilidad. Cuando la precipitación escaseaba, en cambio, el resultado eran cosechas perdidas y hambre, con el riesgo asociado que representaban las enfermedades. En otros casos, los cambios climáticos, los fenómenos meteorológicos extremos o las catástrofes naturales favorecieron la aparición de enfermedades con consecuencias devastadoras. Un ejemplo de esto último nos lo ofrece la colosal erupción del volcán de la isla de Tera (hoy Santorini) hacia 1600 a. C., una de las más grandes de los últimos cinco mil años. De hecho, el efecto más importante de la explosión no sería el catastrófico y famoso tsunami que arrasó la isla de Creta, ni tampoco la reorientación de las civilizaciones mediterráneas que, básicamente, fue un resultado directo de este suceso, sino el papel que habría desempeñado en el surgimiento de nuevos patógenos y, en concreto, del virus causante de la viruela, que, según una hipótesis, apareció en la región del Nilo como consecuencia de las fuerzas evolutivas resultantes de la erupción y los cambios climáticos derivados de los residuos, gases y ácidos expulsados a la atmósfera. El cúmulo de testimonios escritos sobre la viruela que aparecen a lo largo de las rutas de la seda entre los siglos VII y XI durante una época de

intensificación de los vínculos comerciales, políticos y culturales, nos ofrece otro ejemplo de cómo el aumento de los contactos facilita la propagación de las enfermedades. La diseminación de las ideas terapéuticas, técnicas curativas y conocimientos médicos fue una característica crucial de las regiones de Asia que estaban conectadas por tierra y mar. Al igual que ocurre en el presente, en el pasado las interconexiones comerciales no solo permitían la circulación de mercancías, personas e ideas, sino que estas redes también propagaban las enfermedades y la muerte.

Frankopan también explica, entre otros muchos ejemplos que es imposible siquiera mencionar en los límites de una reseña, la hipótesis del “Antropoceno temprano”, que postula que hace unos 5.000 años las actividades y el comportamiento humanos tuvieron ya un impacto tan grande en el clima global como para ser capaz de cambiarlo evitando un nuevo período glacial.

Un caso muy interesante es el análisis de la crisis ecológica en la Antigua Roma. El crecimiento del Imperio dependía en gran medida de la explotación de los recursos naturales: bosques talados para la construcción de barcos, tierras sobrecultivadas para alimentar a la creciente población urbana y minería intensiva para abastecer la demanda de metales preciosos. La sobreexplotación de estos recursos, junto con factores climáticos adversos, contribuyó al declive de Roma, un patrón que Frankopan sugiere que podríamos estar repitiendo hoy.

En otro ejemplo, el autor nos muestra cómo la Pequeña Edad de Hielo (siglos XIV-XIX) afectó de manera drástica la estabilidad política y social en Europa y Asia, contribuyendo a crisis agrícolas, revueltas populares y conflictos bélicos. Un caso llamativo es el de China durante la dinastía Yuan, donde la escasez de recursos y el descontento social terminaron facilitando la caída del gobierno mongol y el ascenso de la dinastía Ming. De manera similar, en Europa, las malas cosechas y el frío extremo aumentaron la hostilidad hacia las minorías, provocando pogromos y persecuciones.

El análisis del impacto de las pandemias en la historia constituye otro ejemplo de cómo las condiciones ecológicas influyeron en su propagación. Frankopan explica cómo la Peste Negra, que diezmo la población europea en el siglo XIV, estuvo vinculada a cambios climáticos que alteraron los hábitats de las ratas y sus pulgas, facilitando la transmisión de la enfermedad. También argumenta que el descubrimiento de América no solo cambió el mapa



→ político y económico del mundo, sino que generó una revolución ecológica: el llamado "Intercambio Colombino" llevó al Viejo Mundo productos como el maíz, la patata y el tomate, mientras que los europeos introdujeron caballos, vacas y enfermedades devastadoras que diezmaron a las poblaciones indígenas.

Uno de los aspectos más impactantes del libro es la conexión que establece entre los problemas ambientales del pasado y los desafíos actuales. Frankopan advierte que la humanidad ha alcanzado un punto crítico en su relación con el planeta. La explotación de los recursos que se aceleró en el siglo XIX no se limitó a los cultivos y las plantas. Había también asimismo una gran demanda de minerales y metales, en particular debido al desarrollo de nuevas tecnologías y al veloz crecimiento de la industria manufacturera. Un buen ejemplo es el estaño, que desempeñaba un papel clave en diversas industrias, como la producción textil, la ingeniería mecánica y el armamento militar. Se empleaba principalmente en la fabricación de latas para preservar alimentos: éstas resultaban esenciales para conservar los excedentes rurales y transportarlos a las ciudades, y por tanto cumplieron una función crucial en la urbanización, la industrialización y la globalización. El estaño se agotó rápidamente en Europa, lo que llevó a buscarlo en otros lugares, en particular en el Sureste Asiático.

Otro recurso muy apreciado era el aceite de ballena, que se obtenía de la grasa de estos animales y se empleaba principalmente como combustible para lámparas. Entre 1500 y 1800 se mataron unas 162.000 ballenas boreales o de Groenlandia. Aunque la caza de ballenas formaba parte de la economía del Ártico y el Atlántico Norte desde hacía mucho tiempo, la revolución industrial trajo consigo un aumento de la demanda porque su baja viscosidad lo convertía en un valioso lubricante para su uso en maquinaria, ya que no se secaba, ni se coagulaba ni corroía los metales.

Explica Frankopan cómo la Revolución Industrial trajo consigo un aumento sin precedentes en el consumo de combustibles fósiles, lo que nos está llevando al calentamiento global y al colapso de los ecosistemas. El autor también analiza el impacto del modelo agrícola actual, destacando cómo la producción masiva de carne y soja ha acelerado la deforestación del Amazonas y ha contribuido a la pérdida de biodiversidad.

En este sentido, Frankopan no solo nos recuerda que la crisis climática no es un fenómeno nuevo, sino que enfatiza que la escala de la transformación actual es mucho mayor que en cualquier otra época de la historia.

Nos encontramos, según el autor, en una encrucijada en la que debemos decidir entre continuar con un modelo de desarrollo insostenible o cambiar de rumbo antes de que sea demasiado tarde.

Frankopan defiende que la idea de manipular el tiempo atmosférico tiene raíces largas y profundas. Desde la antigüedad hasta nuestros días, desde el sur de Asia hasta las Américas, sabemos de sociedades que practicaban rituales con el fin de atraer las lluvias, proteger los cultivos, conseguir cosechas abundantes y garantizar condiciones climáticas benignas. En el siglo XIX, los intentos de intervenir en el clima se habían hecho bastante más resueltos en lo que respecta a sus métodos y objetivos. El interés en la materia era especialmente fuerte en Estados Unidos, donde varios pioneros realizaron experimentos para determinar si

Existe un amplio consenso entre los científicos en que estamos siendo testigos de una "aniquilación biológica", que en la actualidad es habitual describir como la "sexta extinción masiva", y que difiere de las anteriores en que en esta ocasión el culpable es el ser humano. Es muy posible que estemos a punto de convertirnos en las víctimas de nuestro propio éxito como especie, y que las tensiones y presiones a las que hemos sometido a los ecosistemas con nuestro comportamiento nos hayan empujado cerca, o incluso más allá, de un punto de inflexión con consecuencias catastróficas. Sin embargo, como explica el autor, no podemos decir que no estuviéramos advertidos.

Mirando hacia el futuro, además de los conocidos riesgos asociados al cambio climático y la degradación ambiental, Frankopan enumera los peligros a los que se enfrenta

También se analiza en el libro cómo los cambios climáticos impulsaron grandes innovaciones

era posible hacer llover. Uno de ellos fue James Espy, el primer meteorólogo financiado con fondos federales, que en la década de 1840 llevó a cabo diversas pruebas para generar precipitaciones de forma artificial prendiendo fuego a grandes extensiones de bosque con la esperanza de que la gigantesca columna de aire caliente resultante creara nubes y éstas, a su vez, hicieran llover. Aunque estos experimentos fueron un fracaso, otros científicos desarrollaron nuevas ideas a partir de la supuesta correlación entre las batallas en las que se empleaban grandes cantidades de obuses y las tormentas que, al parecer con frecuencia, se producían poco después.

El "Gran plan para la transformación de la naturaleza" anunciado el 20 de octubre de 1948 por Stalin fue un intento que pretendía crear seis millones de hectáreas de bosques nuevos, una serie de ocho cinturones forestales que además de estabilizar las arenas y los suelos sirvieran como barrera para los vientos que soplaban desde Asia central y favorecieran las lluvias en el sur de Rusia. Poco se dijo en su momento acerca del precio humano o ecológico de abrazar la modernidad a través de la construcción de grandes infraestructuras. En la India, la construcción de presas desplazó a cuarenta millones de personas, luego vinieron la salinización del suelo, la inundación de bosques y campos, el bloqueo o desvío de ríos y el impacto en el drenaje natural, efectos que en muchos casos no se hicieron evidentes hasta mucho tiempo después.

nuestra especie y que también están relacionados con o afectan al medio ambiente, tales como la amenaza de una confrontación nuclear, las tormentas solares, el riesgo de que el ciclo lunar amplifique la subida del nivel del mar para crear mareas cada vez más altas, la posibilidad de que se produzcan tsunamis en los grandes océanos del mundo, la posibilidad de que se produzca un impacto cósmico, la posibilidad de grandes y catastróficas erupciones volcánicas, etc.

La Tierra Transformada es un libro ambicioso. Frankopan nos obliga a repensar la historia desde una perspectiva ecológica, revelando cómo el medioambiente ha sido un actor clave en la evolución de nuestra civilización. Su enfoque interdisciplinario, que combina historia, geografía, biología y economía, lo convierte en una lectura muy recomendable para aquellos interesados en comprender no solo el pasado, sino también los desafíos del presente y del futuro. Más que un relato de hechos —que también lo es— esta obra es una advertencia sobre los peligros del cambio climático y la sobreexplotación de los recursos naturales. Frankopan deja claro que la humanidad ha alterado el planeta de formas que podrían volverse irreversibles, pero también sugiere que aún estamos a tiempo de cambiar el curso de la historia. La Tierra Transformada hace, en última instancia, un llamamiento a la reflexión y a la acción en un mundo que se enfrenta a una de sus crisis más graves.

ERNESTO RODRÍGUEZ CAMINO

IN MEMORIAM

Charles A. Doswell III

El pasado 18 de enero por la tarde, cuando llegó al Grupo de Meteorología de la Universitat de les Illes Balears (UIB) la noticia de que aquella mañana había fallecido Charles A. Doswell III, todos los miembros que formábamos parte del grupo en sus inicios, los años 1990, tuvimos la sensación de que había muerto un miembro del grupo y la tristeza que se siente cuando un amigo se va. ¿Quién era Doswell III? ¿Por qué se le apreciaba en el grupo de Meteorología de la UIB?

CLIMENT RAMIS
PROFESOR EMÉRITO DE LA UIB FEBRERO 2025

Intentaré dar respuesta a estas dos preguntas, siendo consciente que sólo lo haré parcialmente dada la singularidad del personaje. Doswell III era Doctor en Meteorología por la Universidad de Oklahoma (1976), meteorólogo del National Weather Service que, durante bastantes años de su actividad profesional, estuvo en el National Severe Storm Laboratory (NSSL) en Norman (Oklahoma) y en la Universidad de Oklahoma en el Cooperative Institute for Mesoscale Meteorology Studies (CIMMS), hoy Cooperative Institute for Severe and High-Impact Weather Research and Operations (CIWRO). Antes de mudarse a Norman había estado trabajando en el National Severe Storm Forecasting Center en Kansas City (Missouri), centro precursor del NSSL. Y anteriormente fue destinado a Vietnam para dar apoyo meteorológico a las fuerzas militares.

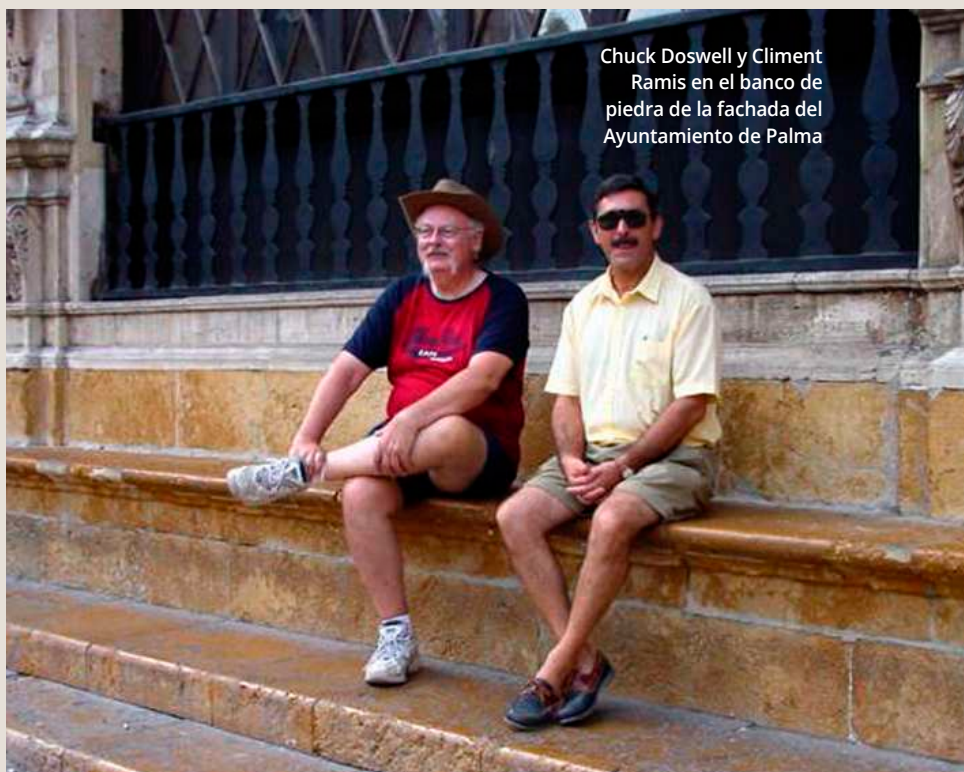
Tres aspectos de su actividad profesional quiero destacar. En primer lugar su actividad investigadora dedicada a comprender, y por lo tanto pronosticar con mayor precisión, los fenómenos meteorológicos extremos y peligrosos (*severe weather*). Entre ellos granizo de grandes dimensiones, vientos fuertes de origen convectivo (incluyendo derechos) y sobre todo tornados.

Publicó más de cien artículos sobre esta temática solo o como coautor con otros meteorólogos destacados del NSSL y de otras instituciones tanto americanas como de otros países. Destacan sus ideas sobre los mecanismos de disparo de la convección y, especialmente, sobre los ingredientes necesarios para que una célula convectiva se convierta en supercélula y dé lugar a fenómenos extremos. Puso de relieve la importancia de la capa seca en niveles troposféricos medios como ingrediente necesario para la formación de convección profunda. En este sentido analizó la interacción en la parte central de Estados Unidos (mayoritariamente en Colorado, Missouri, Oklahoma, norte de Texas) entre el aire cálido y húmedo procedente del Golfo de México con el aire seco proveniente del oeste. La situación a escala sinóptica como creadora del marco apropiado para que se desarrolle convección y en el que la mesoescala es protagonista fue uno de los temas repetitivos en sus artículos. También dedicó esfuerzos a la predicción de inundaciones repentinas (*flash flood*). En este campo puso de manifiesto la importancia de considerar la humedad, a través de la temperatura virtual, para calcular la Energía Potencial Convectiva Disponible (CAPE). Va-

rias situaciones de lluvias intensas analizadas ponen de manifiesto el hecho de que sin convección pueden darse lluvias muy copiosas que dan lugar a inundaciones. Las situaciones que dan lugar a tornados fueron las más analizadas en sus trabajos. Publicó casos en los que la convección presentaba mesociclón (rotación ciclónica de la nube convectiva) y tornado, pero en otros no se producía el tornado. Era un fuerte defensor de realizar análisis de superficie con una frecuencia temporal muy alta (cada hora y en algunas situaciones cada media hora) con isobaras cada 1 o 2 hPa, para identificar las mesoaltas producidas por la convección y el desplazamiento de las células convectivas. Cuando estuve en el NSSFC en 1983 el análisis mesoescalar horario era una labor rutinaria en la que pude participar.

Muy pocos han sido, y son, los predictores de servicios meteorológicos y de investigadores del tiempo de todo el mundo que no conozcan los trabajos de Doswell III y que no consideren sus ideas cuando la convección es el fenómeno meteorológico a pronosticar.

En segundo lugar, es preciso mencionar su actividad docente. Además de su colaboración con la Universidad de Oklahoma



Chuck Doswell y Climent Ramis en el banco de piedra de la fachada del Ayuntamiento de Palma

han sido muy numerosos los cursos que impartió sobre predicción de la convección profunda, especialmente sobre la formación de tornados. Hay que destacar los cursos impartidos durante varios años en el European Severe Storm Laboratory (ESSL) en Austria y en el Servicio Meteorológico de China. Dentro de este apartado podríamos incluir las cuantiosas conferencias y charlas invitadas y las numerosas comunicaciones a congresos (asistía prácticamente a todos los congresos sobre tiempo severo) que se asemejaban más a una clase universitaria que a una comunicación. Esta actividad docente se completa con la edición del libro *Severe Convective Storms* (2001) publicado por la American Meteorological Society. Es más que un libro de texto altamente recomendable para todos los predictores e investigadores de fenómenos mesoescales relacionados con la convección. Además de Doswell aportan sus conocimientos un importante número de investigadores de reconocido prestigio.

Y por último hay que señalar que Doswell III era internacionalmente conocido como un destacado cazador de tormentas. Sus fotografías y videos de tornados son de una calidad fuera de lo común y han sido considerados para entender el funcionamiento de una supercélula. Formó parte del equipo de observación de campo del proyecto VORTEX.

Respecto a la segunda pregunta, haré un poco de historia de cómo nació la fuerte relación que tuvo con el grupo de Meteorología de la UIB. Sería durante los finales de 1980 y principios de 1990 que estábamos montando el grupo de Meteorología de la UIB, ésta era una universidad muy joven y teníamos que empezar desde abajo. Hacíamos diagnósticos y simulaciones numéricas de situaciones de lluvia intensa en el Mediterráneo occidental, concretamente en el levante español y sur de Francia. Teníamos muy presentes las ideas de los meteorólogos americanos, entre ellos Doswell. Por estas fechas me enteré de que él se encontraba en Barcelona asistiendo a un congreso. Fui a Barcelona y le invité a visitar unos días la UIB y de paso mostrarle nuestros trabajos y conocer su opinión. Aceptó.

Por supuesto no sabía de la existencia de Mallorca ni de la UIB. Cuando se marchó me confesó que no esperaba encontrar un grupo joven que en muchos aspectos hacía investigación en los mismos temas que en el NSSL. Aceptó realizar una estancia más larga en la UIB. Obtuvimos financiación y realizó dos estancias largas en 1996 y en 2003. Nos costó convencerle de que las lluvias de 200 mm o mayores eran episodios de fenómenos peligrosos, estaba muy centrado en los tornados. Tuvimos muchas reuniones donde discutíamos resultados y nuevos factores a considerar. Helicidad, componentes horizontales de la vorticidad, mesociclón, advección de helicidad, tendencia de la helicidad, cizalladura vertical del viento, hodógrafa, etc., aparecían constantemente en nuestras largas reuniones. Publicamos varios artículos en revistas de alto impacto. Fue una experiencia importante para el grupo contar con su

abrió las puertas del NSSL de Norman al grupo de Meteorología de la UIB. Los actuales catedráticos de Meteorología de la UIB, Romualdo Romero y Víctor Homar, realizaron estancias post-doc en dicho laboratorio. Empezaron allí relaciones científicas importantes que todavía perduran hoy, incluso me atrevo a decir que se han reforzado.

En 2011, tuvo lugar en Mallorca la Sexta Conferencia Europea sobre Tormentas Severas (ECSS). Asistieron más de 200 científicos, pero la representación americana fue muy numerosa e importante, tanto de científicos del NSSL como de la Universidad de Pensilvania. Doswell se sentía como un miembro más del grupo organizador. Estoy seguro de que contó maravillas de Mallorca.

Para finalizar es preciso indicar como era físicamente Chuck, lo cual le concedía un aspecto propio inconfundible. Era un

hombre alto, algo grueso, pero lo que le hacía único era su bigote que le caía a ambos lados de la boca y sobre todo su sombrero tejano que no se quitaba ni cuando presentaba sus comunicaciones a congresos.

Durante parte de su primera estancia y durante la segunda estuvo hospedado en Buñola. Se enamoró de este pequeño pueblo y de su gente. Le gustaba el tardeo en un bar de la plaza con unos amigos que había hecho. También disfrutaba de realizar excursiones por las montañas de la isla. Como era un magnífico fotógrafo acumuló una colección de fotografías ex-



Ramis, Doswell y Romero en una reunión lúdica del grupo de Meteorología.

colaboración y su experiencia tanto en el desarrollo de la investigación como en la redacción de los artículos. No se me olvida su insistencia en la necesidad de pronosticar la formación de tornados en Europa, nos animaba a formar un centro específicamente destinado a fenómenos convectivos severos. Podemos presumir de que Doswell no había realizado estancias tan largas en ningún centro, quizá Mallorca le gustó porque decía que tenía la forma del eco del radar de una supercélula.

Sin embargo, su influencia inicial sobre el grupo y su cooperación no se termina con lo indicado anteriormente. Doswell

traordinarias, desde salidas y puestas de sol, rocío sobre campos de hierba hasta cosas tan simples como una mecedora que en su foto alcanza aspectos especiales. Creó con ellas una página web para dar a conocer la Mallorca que tanto le gustaba, actualmente desaparecida.

Amigo Chuck has dejado huella en el campo de la meteorología de fenómenos adversos y peligrosos, muchos meteorólogos aprendieron y aprenderán de tus trabajos. También dejaste huella en el grupo de Meteorología de la UIB, tus consejos siempre serán recordados y tenidos en cuenta. ¡No se te olvidará!



HAN COLABORADO TAMBIÉN...

Han colaborado también: Javier Martínez Martínez, David Pérez Fernández, José Miguel García García, Alberto Lunas Arias, Imanol Zuaznabar García, Benjamin Porée, Roberto Porto Mata, David Esteban Liljedahl, David Mancebo Atienza, Enric Navarrete Bachs, Carlos Castillejo Balsera, Andrés Fornés Llodrá, Nagore Lizundia Crespo, Alfons Puertas Castro, Juan José Guidonet Suárez-Gómez, José Miguel Romero Barco, Josep Maria Bernaus Sobrevals, Ana Justel, Martin Leitl y Pablo Almela, y los usuarios SINOBAS: *jdsoriano, Ibanonp y Noromet*



Título: "Aislado"

Autor: Josep Maria Bernaus Sobrevals

Árbol solitario junto a un fiordo, en la puesta de sol del 3 de enero de 2025, desde las proximidades de la localidad de Stavanger, al sur de Noruega.

POR DELANTE

www.aemet.es

DEL TIEMPO



Mucho más que
una predicción...