

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y BOLETÍN DE LA ASOCIACIÓN METEOROLÓGICA ESPAÑOLA

Tiempo y Clima



JULIO 2024 N° 85



SUMARIO

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN METEOROLÓGICA ESPAÑOLA
JULIO 2024 - NÚMERO 85 - QUINTA ETAPA

PRESENTACIÓN	3
ACTIVIDADES AME, por Manuel Palomares y Fernando Bullón	4
AZARES DEL CLIMA: Los procelosos mares del Sur, por José A. López Díaz	7
PERFILES: Alejandro de la Torre, director del SMN de Argentina, por José Luis Sánchez Gómez.....	8
Borrasca Juan, 19 de enero de 2024, por C. Manuel Jiménez-Cavero y Francisco J. Bello-Millán.....	10
CSIC y AEMET, embarcados en el desarrollo de diez servicios climáticos, por Javier Frégola Mur, Yolanda Luna, Ana Morata y Esteban Rodríguez	16
Meteorología de las islas Canarias; La primera intrusión de polvo sahariano en Canarias documentada científicamente que se conoce (7 de febrero de 1863), por Emilio Cuevas, David Barriopedro, José M. Garrido-Perez, África Barreto, Ernest Werner, Carlos Toledano y Sara Basart	20
CRÓNICA DEL TIEMPO, por Federico Franco, Andrés Chazarra, Ana Morata y Manuel Mora.....	24
FOTOGRAFÍA: Nieblas y bellas nubes con poca lluvia, por Emili Vilamala Benito; Las fotos de la primavera	30
LA IMAGEN DE LA PRIMAVERA: Situación meteorológica del 29 de mayo de 2024, por Darío Cano	34
Agrofenología la primavera de 2024 en España, por Juan Antonio de Cara.....	36
Ciencia, tecnología y tecno ciencia socialmente responsables, por Antonio Diéguez Lucena	40
Recuperando la memoria de Antonio de Ulloa (1716-1795): polifacético marino y científico ilustrado español, por María Asunción Pastor y Carmen Rus	44
Michel Talagrand y las desigualdades estocásticas en sistemas de muchas dimensiones, por José A. López Díaz	47
NOTICIAS: Nuevos sistemas de satélites en EUMETSAT; AEMET MEDiNA, Premio Ciencia en Acción 2024; Teresa Vicente gana el "Nobel Verde"; La crisis climática hace que los días sean más largos, por Manuel Palomares.....	48
IN MEMORIAM: Hasta siempre, Luis Fernández Sánchez, por César Rodríguez Ballesteros y José A. López Díaz; Carmelo Saldaña Cimorra, por Amadeo Uriel..	50
LIBROS: <i>Our Fragile Moment: how lessons from the Earth's past can help us survive the climate crisis</i> , de Michael Mann, por Ernesto Rodríguez Camino; <i>Los cielos retratados. Viaje a través del tiempo y el clima en la pintura</i> , de José Miguel Viñas, por María Asunción Pastor	54
REUNIONES Y CONGRESOS: Cuarto Congreso Europeo de Granizo, por Tomeu Rigo y Carme Farnell; Próximas citas	58

FOTO PORTADA

Título: "Tajinastes de La Palma y mar de nubes" Autor: Roberto Porto Mata

En el mes de mayo se produce la floración del tajinaste rosado, endemismo de La Palma. Cada año, en mayo y junio, las zonas altas de la isla se tiñen de rosa, por encima del omnipresente e inconfundible mar de nubes que rellena el Parque Nacional de la Caldera de Taburiente.

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

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.

PRESENTACIÓN

Estimados lectores,

El climatólogo Michael Mann en su nuevo libro *Our fragile moment* (ver reseña en la sección Libros) escribe que, incluso en un escenario sin medidas de descarbonización (*business as usual*), es improbable que el calentamiento del planeta supere los 3 °C. Sin embargo, prosigue, con el nivel de calentamiento que aparejaría podemos esperar mucho sufrimiento, extinción de especies, pérdida de vidas, desestabilización de las infraestructuras sociales, caos y conflictos: una herencia que no querríamos dejar a nuestros hijos y nietos. Según el informe de la OMM sobre el estado mundial del clima, 2023 fue el año más cálido con diferencia desde que hay registros, con una temperatura media mundial cerca de la superficie de 1.45 °C por encima de los niveles preindustriales de referencia, muy cerca, aunque de momento de forma temporal, del límite inferior de 1.5 °C del Acuerdo de París sobre el cambio climático. En 2023 se batieron récords de contenido de calor en los océanos, aumento de nivel del mar, pérdida de hielo marino antártico y el retroceso de los glaciares. Los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos tuvieron importantes repercusiones en todos los continentes habitados: grandes inundaciones (algunas asociadas a ciclones tropicales), calor y sequías extremos, incendios forestales asociados, que afectaron a la seguridad hídrica y alimentaria, y el bienestar de las personas. Uno de los más importantes en términos de pérdida de vidas fue

el ciclón mediterráneo (o "medicane") Daniel (ver *TyC* nº 82; octubre de 2023).

A pesar de todo, el informe de la OMM contiene un rayo de optimismo: la generación de energías renovables, se ha situado en la vanguardia de la acción climática debido a las posibilidades que ofrece para alcanzar los objetivos de descarbonización. En 2023, los aumentos en capacidad de las renovables fueron de casi un 50 % respecto a 2022, que es el mayor ritmo de crecimiento anual en las dos últimas décadas, y muestra que hay potencial para alcanzar el objetivo de energía limpia establecido en la COP28 de triplicar la capacidad de energía renovable a nivel mundial para alcanzar los 11 000 GW en 2030.

En cuanto a España el informe de AEMET certifica al 2023 como segundo año más cálido (tras el 2022) y el sexto más seco de la serie histórica.

Con respecto a la primavera de 2024, es destacable su carácter húmedo a muy húmedo en casi todo el país (ver "Crónica del tiempo"). Como consecuencia, a principio del verano la situación de la sequía había mejorado respecto al año pasado salvo en la Comunitat Valenciana, Murcia y Almería, aunque los índices a escala temporal de dos años o superior indican la persistencia de importantes zonas con escasez de reservas hídricas.

Mis deseos de que disfruten de este número 85 de la revista y de un feliz verano.

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

Secuelas de las Jornadas Científicas de 2024

En el número de abril de *Tiempo y Clima* (*TyC*) se incluyeron varios apartados sobre la celebración de las XXXVI Jornadas Científicas de la AME y el encuentro hispano-luso de Meteorología que tuvieron lugar en Cádiz y San Fernando durante los días 13 a 15 de marzo. Desde entonces la Junta Directiva ha continuado recogiendo testimonios y comunicaciones sobre el éxito alcanzado. La página web de la Jornadas se mantendrá accesible indefinidamente en la dirección, <https://jornadas.ame-web.org/>. En ella pueden encontrarse los resúmenes de las ponencias, notas de prensa, fotos del evento y otras informaciones.

Asamblea General de Socios en mayo

La Asamblea general ordinaria de la AME que tiene lugar anualmente, de acuerdo a los estatutos, se celebró por teleconferencia el día 21 de mayo por la tarde con la participación directa de 14 socios y las delegaciones de votos a otros tres. Entre otras decisiones se aprobaron la memoria de actividades y las cuentas anuales de 2023 así como el programa de actividades y el presupuesto para 2024. También se ratificó el plan estratégico presentado por la Junta Directiva. El acta provisional de la Asamblea se circulará a quienes estuvieron presentes para sus comentarios y la versión definitiva se incluirá en la página web de la AME cuando la nueva versión de ésta esté disponible.

Problemas con la página web de la AME

Tras los ataques informáticos sufridos en la página web de la AME, la Junta Directiva ha considerado necesario disponer de una nueva basada en Word Press. Aparte de la información para socios y público, el proyecto incluirá varias mejoras como la posibilidad de pagar las cuotas a través de tarjetas de crédito. Durante la primavera la Junta Directiva



Apertura oficial de las Jornadas de la AME en el ayuntamiento de Cádiz durante la intervención del presidente de la AME

ha estado trabajando en el tema bajo la coordinación de la tesorera, Carmen Rus. Posiblemente la nueva página esté lista antes del otoño.

Aula Morán y otras conferencias

Las actividades de divulgación a través de videoconferencias, dentro del ámbito del Aula Morán o de otros foros, han continuado durante el primer semestre de 2024, además de los encuentros y galas relativas a los concursos de fotografía, de los que Fernando Bullón da cuenta en el siguiente apartado, han tenido lugar las siguientes:

- Aula Morán, 9 de enero: "Los aerosoles y el clima: el papel del Observatorio Atmosférico de Izaña". Por Africa Barreto, meteoróloga de AEMET

- Aula Morán, 8 de febrero: "¿Cómo se hacen los pronósticos de precipitaciones de granizo? Casos prácticos". Por José Luis Sánchez Gómez, catedrático de la Universidad de León

- Aula Morán, 15 de febrero: "Meteo-

rología de la capa límite, fundamentos y aplicaciones". Por Carlos Yagüe Anguís, catedrático de la Universidad Complutense.

- Aula Morán, 22 de febrero: "Convección en la atmósfera: aspectos teóricos y su aplicación en predicción operativa". Por Ramón Vázquez Pérez-Batallón, meteorólogo de AEMET

- Aula Morán, 25 de abril: "Herramientas de diagnóstico y predicción de la calidad del aire. Desde los modelos gausianos hasta las últimas tendencias en la materia". Por Raúl Arasa Agudo, director de Customer Success e investigador de Meteosim.

- Aula Morán, 9 de mayo: "El pasado, el presente y el futuro de las predicciones por conjuntos". Por Alfons Callado, meteorólogo de AEMET

- Aula Morán, 23 de mayo: "El fenómeno de El Niño. Impactos en el clima". Por José Luis Camacho, meteorólogo de AEMET

- Libros y sus autores, 6 de junio: "Temporada de galernas" Por su autora, Pilar López Vallejo, observadora en el Ob-

Concursos fotográficos

METEOPRIMAVERA'2024:

servatorio Meteorológico y Marítimo de AEMET en Igeldo.

● Aula Morán, 20 de junio: "Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España mediante métodos estadísticos". Por Esteban Rodríguez Guisado, meteorólogo de AEMET.

● Aula Morán, 27 de junio: "¿Se está acelerando la circulación estratosférica? Impacto en la capa de ozono". Por Marta Ábalos Álvarez, profesora de la Universidad Complutense.

● Aula Morán, 4 de julio: "¿Cómo afecta el cambio climático a la ocurrencia de récords de calor? Herramientas estadísticas para su análisis". Por Ana Carmen Cebrián Guajardo, profesora de la Universidad de Zaragoza.

Recordamos que, tanto las actividades del Aula Morán, como las de los concursos de fotografía que tienen lugar a través de videoconferencia, están disponibles en nuestro canal de YouTube para cualquier persona que no pudiera asistir en su día o desee repasar el contenido.

Blog y redes sociales

Estas actividades se comentarán en el número de octubre ya que seguramente tendrán relación con la nueva página Web en proyecto.

Sociedad Meteorológica Europea (EMS)

Se ha abierto ya la inscripción para asistir a la reunión anual de la Sociedad Meteorológica Europea (EMS) que se celebrará en la Universidad de Barcelona entre los días 2 a 6 de septiembre de este año. Toda la información puede encontrarse en <https://ems2024.eu/>

La AME ha estado colaborando con la EMS y también con la Asociación Catalana de Meteorología para contribuir al éxito de este importante evento. Además, la AME estará representada en la Asamblea de sociedades miembros que se celebrará en el mismo lugar el día 1 de septiembre.

de ver accediendo al álbum el concurso en Fotometeo, donde se pueden ver las 50 fotografías que pasaron al jurado ordenadas según la puntuación obtenida.

Destaca la gran igualdad del resultado final, de forma que entre la primera y la tercera clasificada la separación fue de tan sólo dos puntos, lo cual revela el nivel muy parejo de esta edición, con fotos que mostraban gran variedad de fenómenos y nubes diferentes, y todas ellas de gran calidad.

La fotografía ganadora, con 177 puntos, fue "Yunque con cortinas de granizo", de Jesús Manzaneque, que podemos ver en la sección de fotografía de este número de TyC como fotografía del mes de marzo, tomada desde Campo de Criptana, en Ciudad Real. Destacar que el autor se estrenaba de esta forma tan brillante en nuestros concursos, ya que es la primera vez que participaba en los mismos, y lo hizo con esa única fotografía.

La segunda clasificada, con un punto menos que la ganadora, fue "Aurora borealis", de David Esteban, que podemos ver como foto del mes de mayo. El autor es habitual de nuestros concursos, y ganador de la edición del otoño de 2022. ➔



"La perfección en una imagen", de Aarón Alegre Salinas, primer premio "Foto del año 2023"

METEOFOTÓGRAFOS

“Entre nieblas”

Emili Vilamala Benito
@Emili_Vilamala



Miércoles, 24 de julio de 2024
20:00 h. peninsular española

AME 60 Aniversario Asociación Meteorológica Española

→ Su foto fue una de las muchas fotografías que se presentaron al concurso de las auroras boreales que se pudieron observar desde latitudes inusualmente bajas en la madrugada del 10 al 11 de mayo. La fotografía fue tomada desde el puerto de Sóller, en Mallorca.

Y el tercer puesto, con 175 puntos, recayó en "Vertical y Horizontal", de Carlos Castillejo, que muestra una espectacular descarga eléctrica nocturna en la comarca del Vallés, Barcelona, que se ramifica yendo una parte a tierra y la otra regresando a nube tras recorrer muchos kilómetros en horizontal.

PREMIO LA FOTO DEL AÑO 2023

Igualmente en la gala celebrada el 10 de julio, se dieron a conocer los resultados de este premio, al que optan cada año las doce fotografías ganadoras de cada uno de los meses del año anterior en nuestros concursos estacionales. Las fotografías fueron valoradas por los diez miembros de la Junta Directiva de la AME, resultando ganadora y, por tanto, "Foto del año de 2023", la fotografía "La perfección en una imagen", de Aarón Alegre Sa-

linas, que muestra una imponente supercélula captada desde Gallur (Zaragoza) el 8 de agosto de 2023.

METEOFOTÓGRAFOS

Al cierre de este número de TyC estaba a punto de celebrarse una nueva edición

de esta actividad de la comisión de fotografía de la AME, en la que reconocidos fotógrafos disponen de un espacio donde compartir y comentar con los asistentes aquellas fotografías que deseen. En esta ocasión, el turno era para Emili Vilamala, que nos iba a presentar algunas de sus fotografías de las habituales nieblas en su zona, la Plana de Vic, en Barcelona, y que capta de forma tan magistral desde diversas atalayas a dónde suele acudir para fotografiarlas con su cámara. Junto a estas líneas podemos ver el cartel anunciador del evento.

METEOVERANO'2024

Y también, al cierre de este número, estaban a punto de ser publicadas las bases del próximo concurso estacional, el Meteoverano'2024, sin cambios significativos respecto a las del recientemente celebrado Meteoprivavera.

Las fotos presentadas deberán ser de los meses de junio, julio y agosto de este año, y el plazo para participar estará abierto hasta el 10 de septiembre. Los eventos asociados a esta edición, tendrán lugar durante el mes de octubre, concretamente el miércoles día 3 la gala de presentación de resultados; el 17 la tertulia; y el 17, Meteofotógrafos, que en este caso tendrá como invitado a José Miguel García García, también uno de los más destacados participantes a lo largo de la historia de nuestros concursos.

Meteoverano'2024

“Energía y potencia” Aarón Puerto Castro, 1º premio Fotoverano'2023

Plazo para participar:
Hasta el 10 de septiembre de 2024

CON LA COLABORACIÓN DE
METEORED



AZARES DEL CLIMA

POR JOSÉ ANTONIO LÓPEZ DÍAZ

Los procelosos mares del Sur

El clima de la Tierra ha estado profundamente marcado desde el comienzo del Cenozoico, hace unos 34 millones de años, por la posición del continente antártico en el polo sur, rodeado de mares. Esto junto con el hecho de que el hemisferio norte tiene un 40 % de tierra y un 60 % de agua, mientras que en el hemisferio sur la proporción es 20 %/80 %, ha permitido la formación de una potente corriente oceánica y vientos ponientes asociados, que han aislado a este continente térmicamente. Este gigantesco centro glaciar ha enfriado los océanos y atmósfera de la Tierra considerablemente frente a las eras geológicas precedentes, al tiempo que la concentración de CO₂ pasó desde unas 1000 partes por millón (ppm) al final del Eoceno hasta unas 500 ppm al comienzo del Cenozoico. Otro efecto muy notable son las marcadas oscilaciones de las glaciaciones que caracterizan el clima desde entonces, y de forma más acentuada desde el comienzo del Pleistoceno, hace unos 2.5 millones de años. Con estos antecedentes no es de extrañar que la investigación climática en esta región de la Tierra pueda desvelar claves muy importantes para el futuro próximo del clima en el contexto del rápido aumento de gases de efecto invernadero.

Un estudio de Kathleen Wendt de la Oregon State University (*Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2024; doi: 10.1073/pnas.2319652121) ha puesto de manifiesto que los niveles de CO₂ aumentan actualmente diez veces más rápido que en cualquier otro momento de los últimos 50 000 años. Incluso durante los bruscos cambios climáticos de la última gran glaciación, los niveles de dióxido de carbono no aumentaron tan rápida e intensamente como en la actualidad, como se desprende del análisis de núcleos de hielo de la Antártida.

Según el estudio, los niveles de CO₂ aumentaron de forma brusca durante cada evento Heinrich de la era glacial. El mayor de estos saltos de CO₂ se produjo hace 39 500 años, durante el evento Heinrich 4 (HS4). Según determinó el equipo, el aumento de los niveles atmosféricos de CO₂ fue de 14 ppm en tan sólo 55 años (en la era preindustrial la concentración

de CO₂ fue de unas 280 ppm). Este salto fue casi igual de intenso durante el Evento Heinrich 1 más reciente, hace unos 16 800 años, 12 ppm en 75 años. Con todo, estos aumentos naturales del CO₂ son unas 10 veces más lentos que los provocados por el hombre, al ritmo actual se necesitan tan solo unos 5 o 6 años para aumentar la concentración en 14 ppm.

En cuanto a las posibles causas, análisis adicionales y simulaciones con modelos climáticos revelaron que probablemente se produjo un desplazamiento de las bandas de viento que rodean la Tierra y de las zonas climáticas durante los acontecimientos de Heinrich. Los ponientes del hemisferio sur se hicieron más intensos y se desplazaron hacia el polo sur. Esto habría aumentado la ventilación del océano Austral y con ello provocado una rápida liberación de CO₂ desde las profundidades del océano, mucho más ricas en CO₂ que la superficie.

Esta mirada retrospectiva a la Edad de Hielo revela una nueva amenaza potencial para el clima en un futuro próximo: el desplazamiento de las zonas de vientos debido al cambio climático antropogénico podría reactivar el gigantesco depósito de CO₂ en los océanos. Tengamos en cuenta que en las profundidades del océano hay unas 37 000 gigatoneladas de carbono, mientras que en la atmósfera tan solo 800 gigatoneladas (las emisiones antropogénicas actuales son unas 9 gigatoneladas al año).

Estos resultados no sólo aportan nuevos conocimientos sobre los cambios climáticos de la era glacial, sino que también son relevantes para el desarrollo climático actual. Y es que, al parecer, el cambio climático actual está provocando de nuevo un desplazamiento y una intensificación de los vientos del oeste. Esto traería consigo una mayor liberación de gases de efecto invernadero desde el océano Antártico.

"Confiamos en que el océano Austral se trague parte de nuestras emisiones de CO₂", afirma Wendt. "Pero el rápido aumento de los vientos en el hemisferio sur está debilitando su capacidad de absorción".

No hay que olvidar el otro efecto de gran importancia a más largo plazo de este aumento de los vientos australes: la aceleración de la fusión de las plataformas de hielo (*ice shelves*). Estos fuertes vientos están impulsando corrientes más cálidas hacia el borde del continente y por tanto contribuyendo a la pérdida de criosfera y aumento consiguiente del nivel del mar. Se citan como causas el agotamiento de la capa de ozono y el cambio de temperaturas en los trópicos y las regiones polares.

Solo cabe esperar que en este caso no se cumpla el famoso dicho entre marineros: "Dicen los viejos lobos de mar que por debajo de los 40 grados de latitud sur no hay ley, pero que debajo de los 50 grados, ni siquiera hay Dios".



El buque de investigación oceanográfica Hespérides en el océano Antártico en marzo de 2018.

Foto de José Vicente Albero

PERFILES

Alejandro de la Torre, director del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina

POR JOSÉ LUIS SÁNCHEZ GÓMEZ

Alejandro de la Torre, Dr. en C. Físicas, es un referente internacional en el campo de ondas atmosféricas terrestres. Ha sido, hasta hace poco, profesor de la Universidad Austral, tras un periplo como profesor invitado en centros como la Escuela Politécnica y Escuela Normal Superior (París), el Centro Internacional de Física Teórica (Trieste) y un largo etc. Desde hace unos pocos meses sustituye a la profesora Celeste Saulo, secretaria general de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) al frente del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina. Tenemos el honor de entrevistarle para *TyC*.

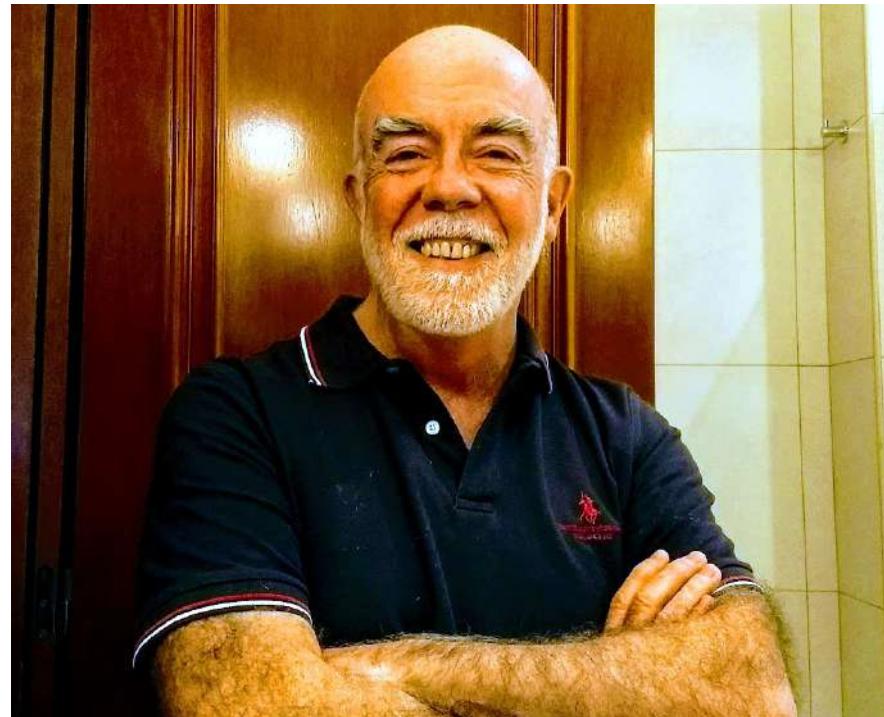
JLS: Dentro de tu investigación personal, ¿De qué resultados estás satisfecho?

AT: El área de investigación principal en la que venimos trabajando permanentemente desde hace 30 años es la detección, análisis y caracterización de las ondas internas de gravedad en las atmósferas baja, media y alta, a partir principalmente de datos in situ y remotos, a través de radiosondeos y radio occultamientos satelitales GNSS. La importancia de dichas ondas en la dinámica atmosférica, a partir de una mejor comprensión de la distribución de energía y momento asociados a ellas ha sido para nuestro grupo de investigación un permanente desafío. Recientemente hemos desarrollado un método basado en el estado de polarización de las ondas de gravedad que permite analizar ensambles especialmente complejos.

JLS: ¿Cómo valoras las estancias que has hecho en distintos centros europeos?

AT: Cuando apenas me había doctorado con poco más de 30 años, me costó mucho salir de esta Argentina en el fin del mundo. Primero fue una beca para ir al ICTP de Trieste. Estando en Trieste recibí la oferta de otra beca de la Escuela Politécnica de París, a donde volví varias veces, así como a la Escuela Normal Superior de París. Estando en esta última ya como profesor invitado, surgió otra invitación a la Universidad de Kioto. Estando en Kioto me propusieron ir al GeoForschungsZentrum de Potsdam, a donde regresé hasta ahora 15 veces. Podría yo destacar, un poco el factor suerte y otro poco la importancia de estar en el lugar correcto en el momento indicado.

JLS: Despues de muchos años de profesión en el mundo de la academia



y de la investigación científica en el campo de la atmósfera. ¿Qué cambios destacarías que más hayan ayudado a prevenir lo que en Argentina soléis llamar contingencias climáticas?

AT: La innovación más relevante en la Argentina y específicamente, en la provincia de Mendoza, es en mi opinión el proceso iniciado a fines de la década de 1950, que condujo a lo que actualmente se conoce como el Sistema de Mitigación de Daño por Precipitación de Granizo. He trabajado activamente en dicho programa en los últimos 20 años, como investigador y como coordinador de un comité científico asesor del mismo. Se han obtenido hasta ahora resultados que en mi opinión son definitivamente satisfactorios.

JLS: La comunidad científica argen-

tina tiene un buen prestigio internacional en el campo de la atmósfera ya que hay un buen número de científicos que publican sus resultados de investigación en revistas científicas de primer nivel. ¿Qué áreas del campo de la atmósfera crees que son las que más destacan actualmente en el mundo de la investigación en Argentina?

AT: Probablemente sean el cambio climático y sus efectos en la atmósfera local y regional, específicamente en diferentes regiones de Argentina, como los cambios en los patrones de precipitación, la frecuencia de eventos extremos y la disponibilidad de recursos hídricos. A estos temas pueden agregarse la modelización atmosférica y la absorción y emisión de gases de efecto invernadero por parte

de los ecosistemas naturales y las actividades del hombre. Una gran parte de los investigadores argentinos que trabajan en meteorología, concentran sus esfuerzos en estos temas.

JLS: Tu predecesora en el cargo es la actual secretaria general de la OMM ¿Cómo lo vivís?

AT: Sin duda que es un orgullo para todos los investigadores argentinos que alguien perteneciente a nuestra comunidad haya alcanzado dicha designación. En cuanto al estado del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, sitio web: smn.gob.ar) cuando asumí su dirección, solo puedo hacer comentarios elogiosos acerca de su organización, la capacidad notable de su personal científico-técnico y finalmente de su incondicional vocación de servicio, valga la redundancia.

JLS: Con un país que se extiende desde la latitud 21° S a 46° S, supongo que el número de alertas por situaciones en los que se dan fenómenos meteorológicos adversos debe ser enorme El reto de todos los países es comunicarlos a la población sin que haya alarmismos ¿Cómo y a quien alertáis cuando se espera alguno de estos fenómenos?

AT: El Servicio de Alerta Temprana (SAT) es la herramienta del SMN que pone a disposición información oportuna, frente a la posible ocurrencia de una amenaza meteorológica, para apoyar la toma de decisiones de todos los sectores de la población. El SAT proporciona a la sociedad un sistema de información gráfica sobre potenciales amenazas meteorológicas y su vigilancia, así como ayuda a tomar medidas pertinentes ante un riesgo posible. Las advertencias y las alertas brindan información para que la población se informe o prepare con anticipación al fenómeno meteorológico. Generalmente se emiten 24, 48 o 72 horas previas al evento. Por otro lado, los Avisos a muy Corto Plazo (ACP) instan a la población a tomar acciones rápidamente, ya que el fenómeno puede ocurrir desde unos pocos minutos hasta 3 horas luego de su emisión. Es necesario que las alertas, los avisos y las advertencias logren difundirse principalmente a los comunicadores, a las autoridades encargadas de la gestión de desastres, a los equipos de emergencia. El SAT constituye una herramienta fundamental para la seguridad de vidas y la protección de la propiedad ante la posible

amenaza de fenómenos meteorológicos extremos, tales como lluvias torrenciales, nevadas intensas, vientos fuertes, altas y bajas temperaturas, etc.

JLS: Has hecho tu carrera científica y académica y ahora estas al frente del Servicio Meteorológico Argentino. ¿Te está resultando difícil el cambio?

AT: Creo que los principales desafíos que encuentro son dos. Por un lado, el aprendizaje contra-reloj de la gestión necesaria de todas las urgencias administrativas de la institución, las cuales poco o nada tienen que ver con la investigación científica en dinámica de la atmósfera. Y en segundo lugar, dado que soy físico de formación especializado en dinámica de las atmósferas baja, media y alta, a pesar de la importancia básica de la interrelación entre las tres, por razones operativas, la comunidad meteorológica en nuestro país se interesa y hace hincapié básicamente en la primera de ellas.

JLS: Uno de los temas candentes entre los meteorólogos profesionales es la definición de meteorólogo como profesional y no como mero Informador ¿Cómo tenéis regulado, si es que tenéis regulación, el término de "meteorólogo" como profesional reconocido con la capacidad de dar una información precisa, completa y accesible?

AT: Lamentablemente no existe una regulación en nuestro país que permita distinguir las distintas variantes dentro de la meteorología: el observador meteorológico, el pronosticador, el bachiller y el licenciado en ciencias de la atmósfera. La carrera tiene dos enfoques: uno netamente científico y otro, práctico. En el aspecto práctico no existe regulación, es decir, no existe matrícula y esto impide la diferenciación dentro de los medios de comunicación o ante la sociedad, de las diferentes clases de meteorólogos.

JLS: Ahora que ya conoces el mundo de la meteorología operativa y el de la investigación. ¿Cómo crees que deberían ser las relaciones entre ambos?

AT: Un aspecto que me pareció oportunio impulsar fuertemente al llegar al SMN es una mayor difusión internacional de los resultados científicos producidos por sus investigadores dentro del organismo. A propósito de esto, comenzamos hace dos meses a incorporar la modalidad de los ateneos periódicos, similar a la existente en instituciones dedicadas a la salud. Idealmente ésta será una he-

rramienta de intercambio de logros recientes, pero sobre todo, de dificultades encontradas y a ser superadas aún en el trabajo científico-operativo cotidiano de cada uno de los investigadores del SMN.

JLS: En referencia al fenómeno de El Niño y La Niña, ¿cómo afectan a la Argentina?

AT: Ambos fenómenos tienen importantes efectos en Argentina debido a su ubicación geográfica y sus características climáticas. Durante eventos de El Niño, la Argentina tiende a experimentar un aumento en las precipitaciones sobre gran parte del país, especialmente en las regiones centro y norte. Esto puede llevar a condiciones de exceso hídrico, inundaciones y deslizamientos de tierras. La Niña suele asociarse con condiciones más secas en Argentina, especialmente en las regiones central y norte. Esto puede llevar a sequías y déficits de agua, afectando la agricultura y la disponibilidad de recursos hídricos. El país está particularmente atento a estos fenómenos, debido a su importancia en la planificación agrícola y la gestión de riesgos naturales.

JLS: ¿Tenéis estudios que señalen los cambios en el clima? ¿Cómo afectan al territorio? ¿Qué acciones estáis emprendiendo para adaptarse a los cambios?

AT: El SMN cuenta con un repositorio digital institucional en su sitio web llamado El Abrigo, que cuenta con una muy considerable cantidad de reportes científicos producidos por investigadores de la institución. Su nombre está inspirado en la función del abrigo meteorológico. Este repositorio aloja, preserva y difunde el acervo bibliográfico y memoria institucional del SMN. Nace a principios del año 2015, como parte de un proyecto impulsado por la Biblioteca Nacional de Meteorología cuyo objetivo es reunir, registrar, dar acceso abierto y preservar, la producción científica técnica del personal que forma parte de la Institución. A través de las colecciones de El abrigo, que incluyen artículos científicos, presentaciones, boletines, informes técnicos, entre otros, se promueve el uso y visibiliza la producción intelectual de cada unidad del organismo, en particular, acerca del cambio climático.

Muchas gracias por el tiempo que has dedicado a esta entrevista. Y solo nos queda desearte muchos éxitos no solamente en esta aventura en el SMN sino en tus investigaciones.

Borrasca Juan

19 de enero de 2024

C. MANUEL JIMÉNEZ-CAVERO Y FRANCISCO J. BELLO-MILLÁN



Basílica de El Pilar de Zaragoza bajo la nevada del 19 de enero de 2024

1. Introducción

Durante el viernes 19 de enero de 2024 se produjeron precipitaciones y nevadas en diversas zonas del interior peninsular, nada excepcional para la época del año en la Península. Varias fueron las capitales de provincia que quedaron bajo un manto de nieve durante la tarde: Ávila, Segovia, Soria y Zaragoza. He aquí, en esta lista de capitales, donde

radica la singularidad del episodio. Las tres capitales castellanas se caracterizan por rasgos climáticos similares (con sus lógicas particularidades) y todas ellas pertenecen a la región C de la clasificación de Köppen-Geiger. Por otra parte, la capital aragonesa exhibe un clima radicalmente distinto, con características propias de la región climática B (Figura 1). Cabe destacar también que, duran-

te el episodio de estudio, otras capitales como Madrid, Guadalajara, Huesca o Teruel registraron precipitaciones de entre 20 y 40 mm, pero todas ellas en forma de lluvia. Con esta información, y teniendo en cuenta la altitud de las distintas ciudades, parece difícil dibujar mentalmente la cota de nieve en el norte peninsular.

¿Cómo es posible que se acumulen entre 2 y 5 cm de nieve en Zaragoza, mientras que en Huesca o Teruel cayesen 20 mm de lluvia? Si Soria, Segovia, Ávila y Teruel se hallan todas en torno a 1000 m podemos pensar, *a priori*, que la cota de nieve era más alta en la Ibérica turolense, por una probable irrupción fría en el tercio norte peninsular. Pero, en ese caso, ¿por qué se produjeron nevadas de entidad en el valle medio del Ebro mientras que en la provincia oscense todo fue en forma líquida, incluidas varias localidades del Pirineo? (Figura 2). Todas estas preguntas han dado

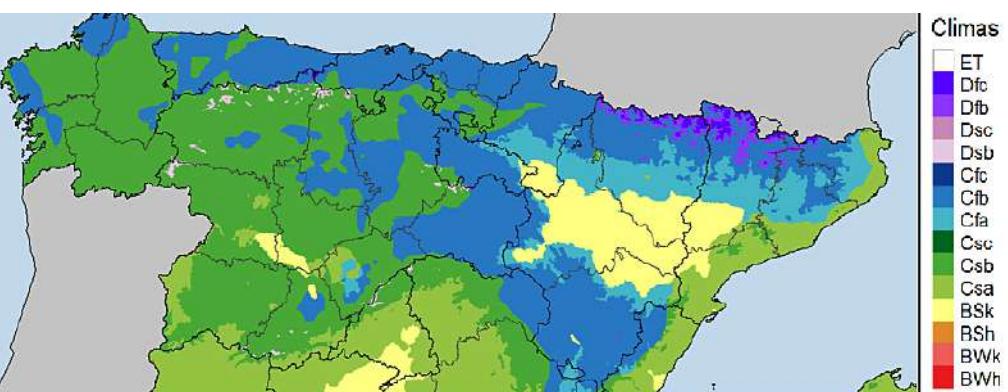
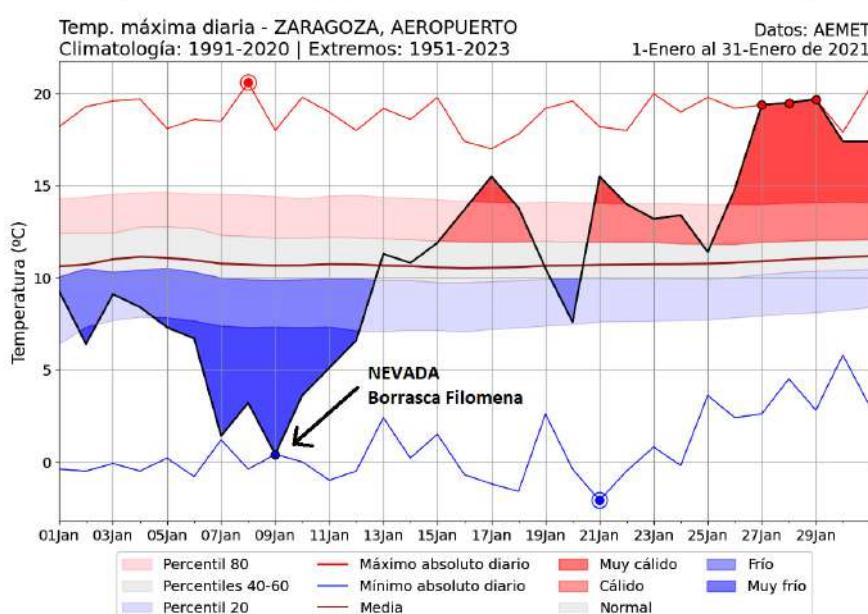
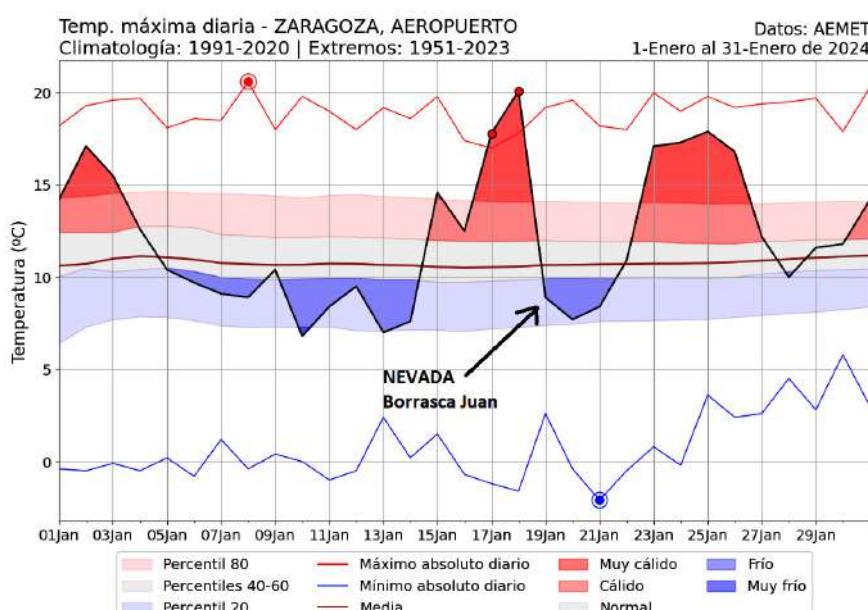


Figura 1. Tipos de clima de Köppen-Geiger para el periodo 1991-2020. Chazarra et al. (2022)



Figura 2. Imagen Sentinel del 20 de enero de 2024. Se aprecia superficie nevada en zonas de la meseta Central Norte (Ávila, Segovia y Soria), sistema Ibérico y valle del Ebro (Ribera de Zaragoza). También en zonas clásicas de montaña: cordillera Cantábrica y Pirineos. Nubosidad media y alta en la meseta Central Sur, y nubosidad baja en el prepirineo oscense y catalán, así como en el Bajo Aragón de Teruel. Ver también Figura 12.



pie a la redacción del presente artículo.

Particularizando en la nevada de Zaragoza, varios son los aspectos que la hacen singular. Estos no se deben tanto al espesor de nieve total acumulado, unos 2-5 cm en función de la zona de la ciudad (en enero de 2021 con Filomena, o en febrero de 2005, se acumularon unos 15 cm en el casco urbano) sino a las condiciones meteorológicas que imperaron durante los días previos y durante el propio episodio.

La ribera media del Ebro constituye una zona deprimida, con altitudes menores a 200 m, situada en un entorno de sombra pluviométrica. Se halla protegida por varios sistemas montañosos que dificultan la entrada de vientos húmedos, quedando las precipitaciones en el norte de los Pirineos, sudoeste del sistema Ibérico y en el este de la cordillera Costero-Catalana. El pasillo natural para precipitaciones persistentes y generalizadas proviene de remontar el propio valle del Ebro. Se trata de aquellas situaciones en las que soplan vientos del SE, húmedos en los niveles más bajos, que consiguen sobrepasar la cordillera Costero-Catalana, de menor altitud en comparación con el resto. Con este contexto orográfico, el modelo conceptual clásico de nevadas de entidad en el valle medio (ribera del Ebro de Zaragoza) es relativamente simple. En primer lugar, es necesario que durante varios días previos persista la estabilidad atmosférica que favorezca que la masa de aire situada

Figura 3. Evolución de las temperaturas máximas diarias observadas en el EMA del aeropuerto de Zaragoza. Arriba: enero de 2024, nevada con borrasca Juan. Abajo: enero de 2021, nevada con borrasca Filomena. En 2021 se aprecia un periodo frío previo al día de la nevada (9 de enero de 2021), que encaja con el modelo conceptual de nevadas en el valle medio del Ebro. En cambio, el día anterior a la nevada de la borrasca Juan la máxima fue de 20 °C. Fuente: elaboración propia a partir de datos de AEMET.

Borrasca Juan. 19 de enero de 2024

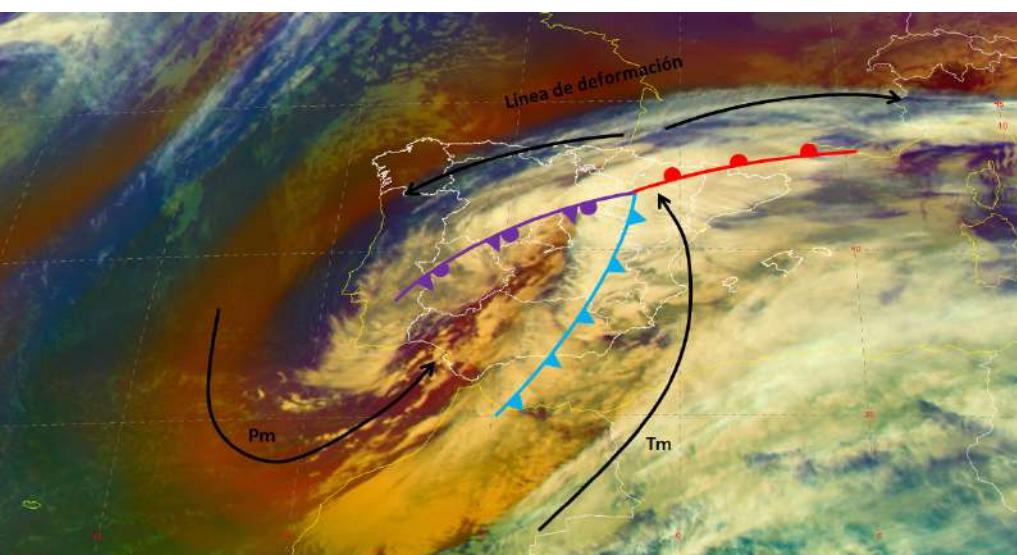


Figura 4. Imagen RGB de masas de aire del viernes 19 de enero de 2024 a las 12 UTC, con sistema de frentes de la borrasca Juan y flujos relativos en niveles medios/altos. Pm: masa de aire polar (intrusión seca). Tm: masa de aire tropical marítimo

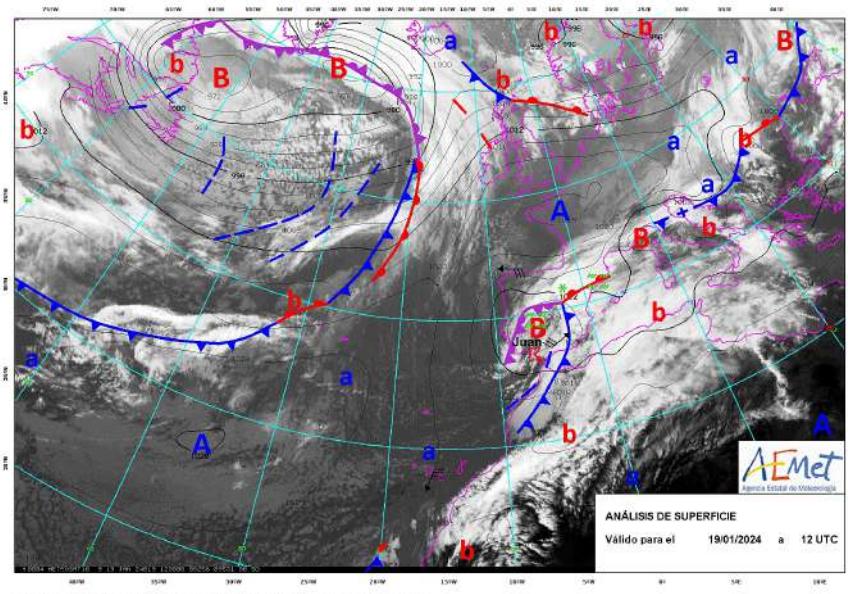
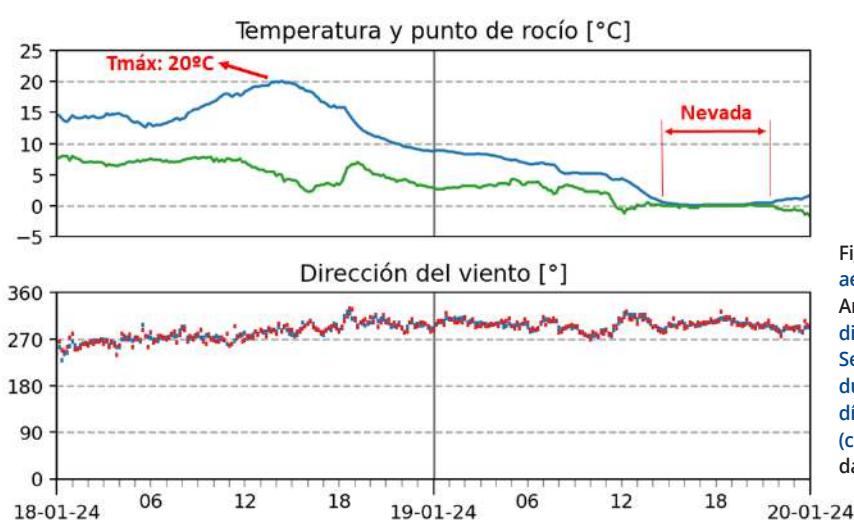


Figura 5. Guía Técnica de Diagnóstico. Análisis en superficie del 19 de enero de 2024 a las 12 UTC. Fuente: AEMET.



junto al suelo se enfrié paulatinamente. Esto es relativamente habitual en los meses de diciembre y enero en situaciones anticiclónicas de invierno (Figura 3). En segundo lugar, tras el episodio de estabilidad y enfriamiento previo, es necesaria la llegada de una borrasca por el SO con su centro ubicado en latitudes relativamente bajas, de forma que su frente cálido u oculto alcance el NE peninsular, posibilitando el establecimiento de vientos del SE remontando el río. Es deseable, por tanto, la ausencia de episodios cálidos previos, pero también de episodios advectivos polares. Estos últimos traen consigo fuertes vientos de componente norte, que se encajan como cierzo en el valle del Ebro. Además de no dejar apenas precipitaciones, favorecen una capa límite superficial muy bien mezclada, que inhibe la formación de una inversión de tierra y dificulta que se baje a 0 °C en superficie.

2. Análisis sinóptico y mesoescalar

A partir de la tarde del jueves 18, por el SO peninsular se acerca la borrasca Juan en proceso de profundización, con un frente cálido que va barriendo de sur a norte la mitad E de la península ibérica durante el viernes 19 (Figura 4 y Figura 5). A su paso se producen algunas descargas eléctricas en el cuadrante suroeste, asociadas a convección emburbada en el frente frío. Al mismo tiempo, por el Cantábrico oriental se produce la irrupción de una masa de aire polar continental en niveles bajos, procedente del interior de Europa. Se trata de una advección de componente norte que arrastra una masa de aire muy fría en los niveles más bajos y consigue penetrar al interior peninsular por el pasillo orográfico de los Montes Vascos. La citada advección fría es conducida por la orografía y se dirige, por un lado, hacia la meseta Central Norte y, por otro, hacia el valle del Ebro. Sobre la vertiente me-

Figura 6. Datos diezminutales registrados en el aeropuerto de Zaragoza (EMA Ind.9434 de AEMET). Arriba: temperatura y punto de rocío. Abajo: dirección del viento medio y de la racha máxima. Se aprecia el brusco descenso de temperaturas durante el día 19, con una máxima de 20 °C el día previo a la nevada. Viento constante del NO (cierzo). Fuente: elaboración propia a partir de datos de AEMET.

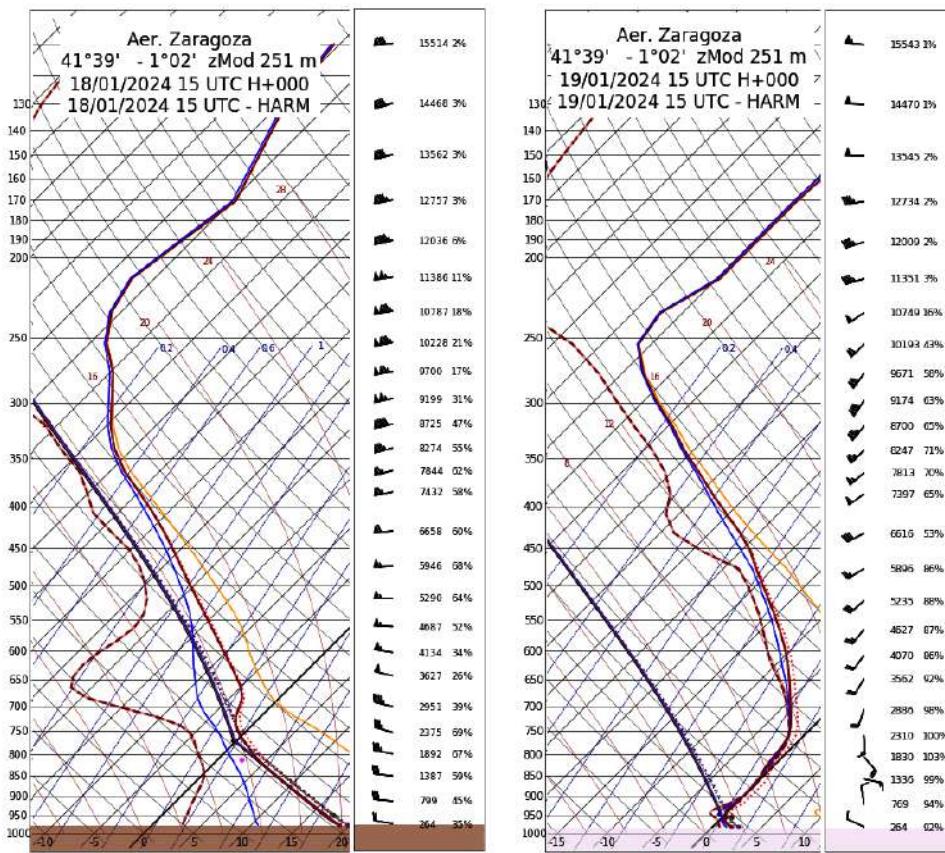


Figura 7. Perfiles verticales del análisis de Harmonie-Arome en el Aeropuerto de Zaragoza a las 15 UTC. Izda: jueves 18. Dcha: viernes 19. Se aprecia cambio brusco de masa de aire en superficie, con descenso de temperatura de casi 20 °C en 24 horas. Por contra, en 700 hPa se ve inalterada.

diterránea, sobrevuela una masa relativamente más cálida asociada al conveyor cálido de la borrasca Juan, bombeando humedad impulsada desde latitudes más bajas.

La cota de nieve cae en picado a lo largo del viernes en las zonas afectadas

por la irrupción fría de norte, alcanzándose las máximas al principio del día (más concretamente a las 00 UTC, Figura 6). Fuera de entornos de montaña, las precipitaciones son en forma de nieve en aquellas zonas donde el frente cálido (u ocluido) de la borrasca Juan consigue

avanzar sobre la vertical de la masa de aire frío que se desliza junto al suelo desde el norte.

Si analizamos los perfiles verticales de los análisis de Harmonie del jueves 18 y el viernes 19, a las 15 UTC (Figura 7), vemos que en 700 hPa la temperatura apenas cambia, mientras que por encima se produce una advección cálida, con giro anticiclónico del viento con la altura y ascenso de la tropopausa. Por contra, por debajo del nivel de 700 hPa, la variación del perfil termodinámico revela una advección fría, tanto más intensa cuanto más cerca de la superficie. En 900 hPa se produce un descenso de temperatura muy marcado, pasando de 10 °C a 0 °C. La variación es extraordinaria junto al suelo, debido a que, además del efecto de la advección, el calentamiento diurno superficial es mínimo en un entorno con abundante nubosidad.

Por tanto, la advección fría es especialmente notoria en las capas más bajas, por debajo de 850 hPa. Esto aumenta la estabilidad de la estratificación y, por tanto, posibilita que la cordillera pirenaica actúe de barrera, favoreciendo que la vertiente sur del Pirineo quede a resguardo de la advección de norte, protegiendo a toda la provincia de Huesca, y sin que aquí se produzca un cambio de masa de aire (Figura 8). Sin embargo, la irrupción fría avanza y se encajona por el valle del Ebro, arrastrada por el cierzo establecido. De esta forma se produce un drástico cambio de masa de aire (en niveles bajos), tanto en el propio valle

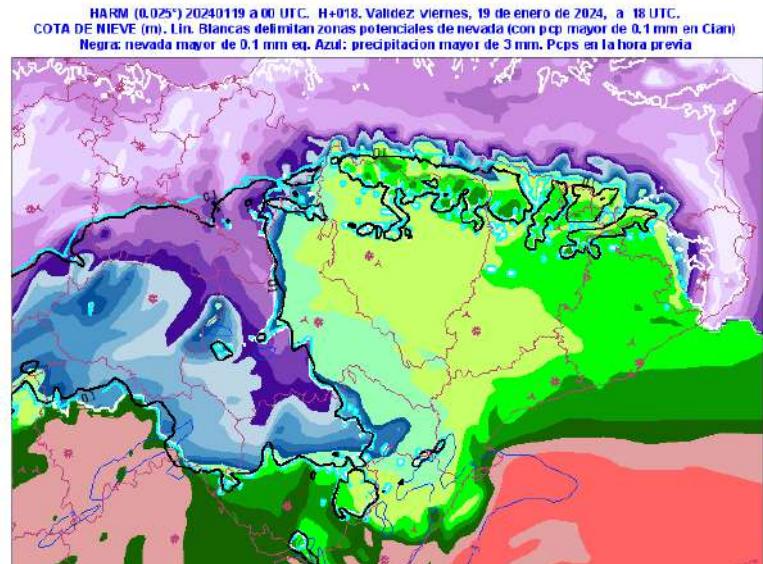
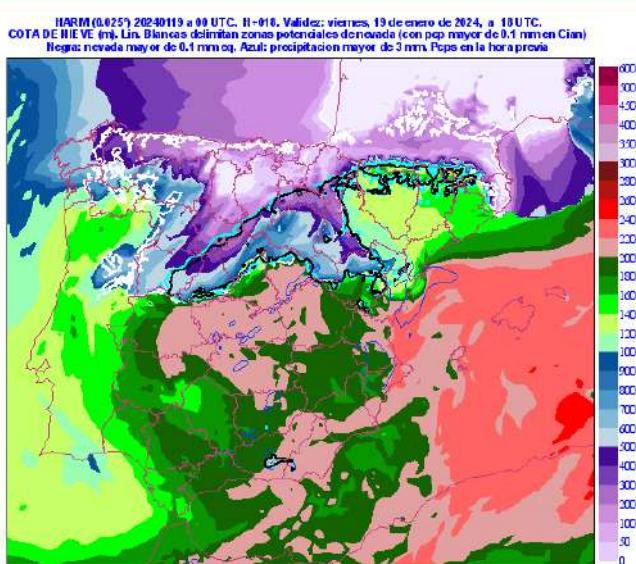


Figura 8. Cota de nieve prevista por el modelo Harmonie-Arome para el viernes 19 de enero de 2024 a las 18 UTC. Izda: área peninsular. Dcha: detalle nordeste peninsular. Se aprecia el efecto orográfico de bloqueo de masa de aire por parte del Pirineo ante el flujo de componente N.

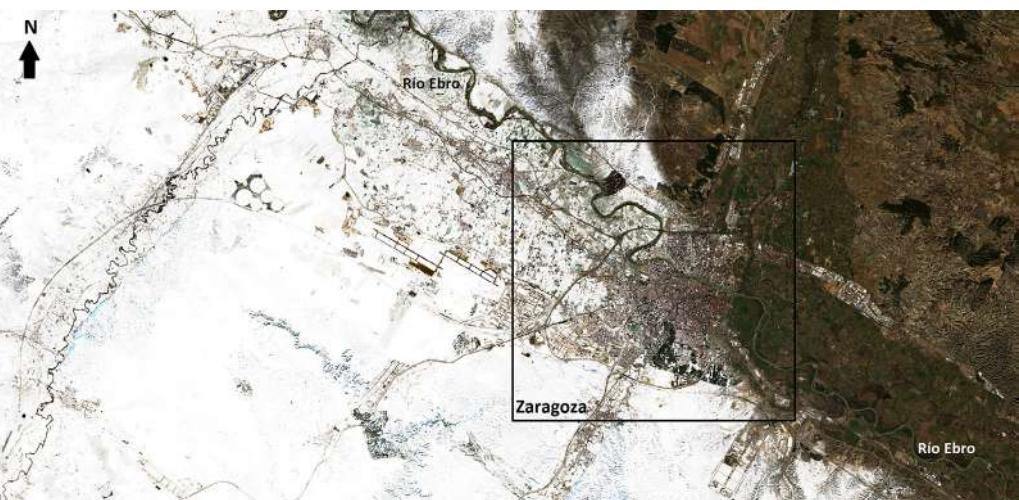


Figura 9. Imagen Sentinel, sábado 20 de enero de 2024. Detalle en el entorno de la ciudad de Zaragoza. Se aprecia frontera muy marcada entre los barrios del suroeste de la ciudad (con superficie nevada) y los del nordeste (sin nieve).

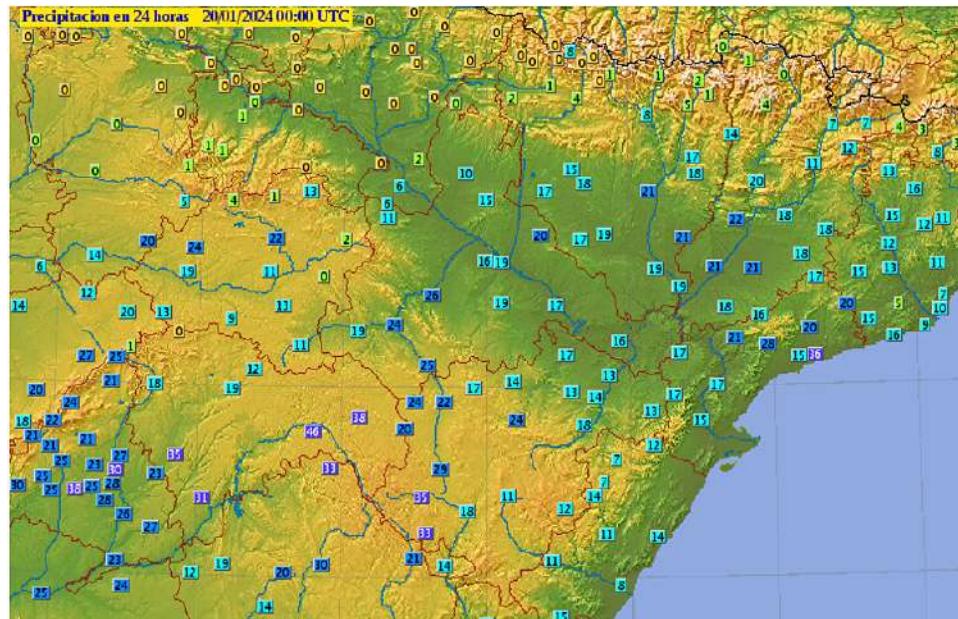


Figura 10. Observaciones de precipitación total registradas en 24 horas a lo largo del viernes 18 de enero de 2024. En las capitales aragonesas, 15 mm y 18 mm en Huesca y Teruel, respectivamente, en forma de lluvia. Los 16 mm del aeropuerto de Zaragoza fueron en forma de nieve.



medio del Ebro y zonas adyacentes de su margen derecha como en el entorno del sistema Ibérico.

3. Observaciones

La ciudad de Zaragoza queda al límite de la entrada fría en niveles bajos, favoreciendo que la cota de nieve descienda hasta unos 200 metros aproximadamente. La capital aragonesa se sitúa justo en la frontera de dos masas de aire muy diferenciadas. Al suroeste de la ciudad la advección de noroeste es muy notoria, mientras que ésta no alcanza la comarca de Los Monegros en el noreste de la capital. Es por ello que en los barrios del suroeste nieva de manera persistente durante varias horas y se acumulan hasta 5 cm de nieve, mientras que en el extremo opuesto de la ciudad toda la precipitación es en forma de lluvia (ver imagen de Sentinel del sábado 20 de enero, Figura 9).

La nevada de Zaragoza es bastante anómala, puesto que no encaja en el modelo conceptual clásico de nevadas en el valle medio del Ebro. Por un lado, durante el día 19 de enero la nevada se produjo soplando cierzo; y, por otro, durante el jueves 18 de enero se alcanzó una temperatura máxima de 20 °C medidos en el aeropuerto. En este episodio, y al contrario de lo que es habitual, la advección fría canalizada por el cierzo fue lo suficientemente intensa para que, de manera transitoria, la cota de nieve se situase a nivel del suelo en la ribera del Ebro. Al mismo tiempo, sobre el noreste peninsular tenía lugar una advección húmeda en torno a 700 hPa, favorecida por el paso de un frente cálido asociado a la borrasca Juan (Figura 11).

En las otras dos capitales de provincia aragonesas las precipitaciones fueron en forma de lluvia (Figura 10). Tanto Huesca como Teruel no se vieron afectadas por la irrupción fría de norte. La primera quedó protegida por los Pirineos y la segunda, ubicada más al sur, no fue alcanzada por el aire frío.

La borrasca Juan provocó serios impactos en las vías de comunicación, principalmente de las comunidades de Castilla y León y de Aragón, debido a la copiosa nevada que propició a lo largo de la segunda mitad del viernes. Los importantes acumulados ocasionaron numerosos problemas en las carreteras, afectando significativamente a algunas

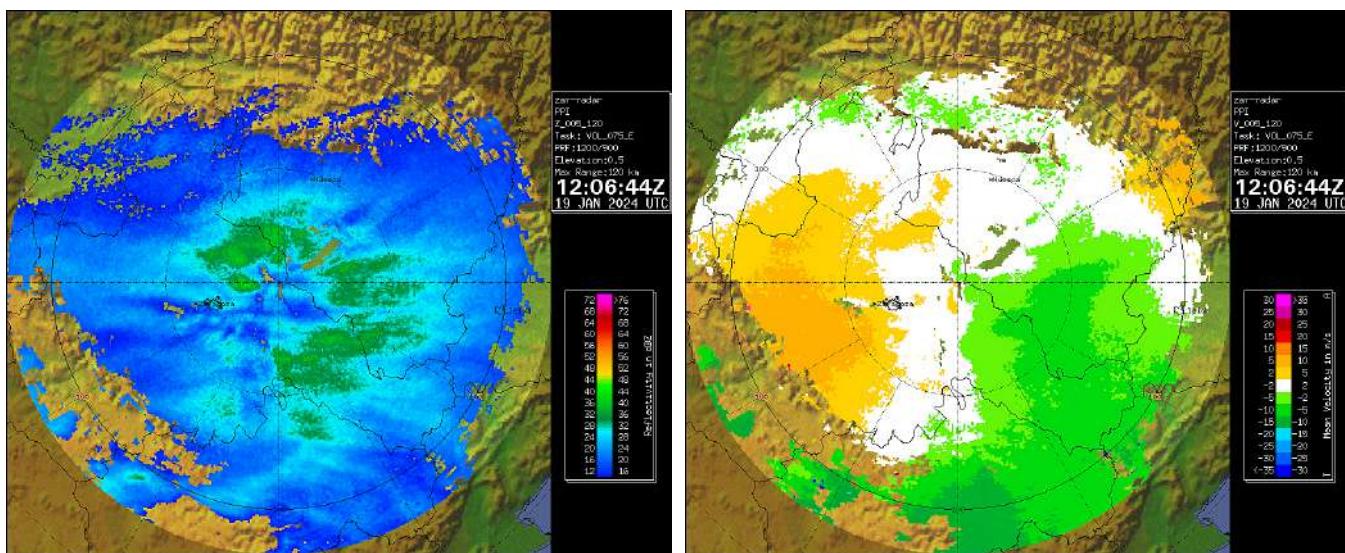


Figura 11. Plan Position Indicator (PPI, elevación 0.5°) y viento radial doppler del radar de Zaragoza, el viernes 19 de enero de 2024 a las 12:06 UTC. Se aprecia patrón radar de banda brillante con reflectividad realizada en forma de anillo, asociada a nevadas (izda.) y advección del sureste aportando humedad por encima de la cota del radar, 800 m aproximadamente (dcha.)

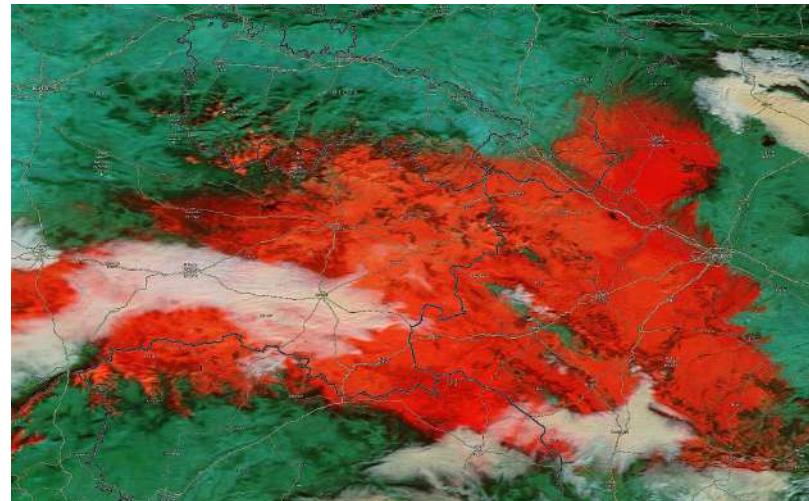
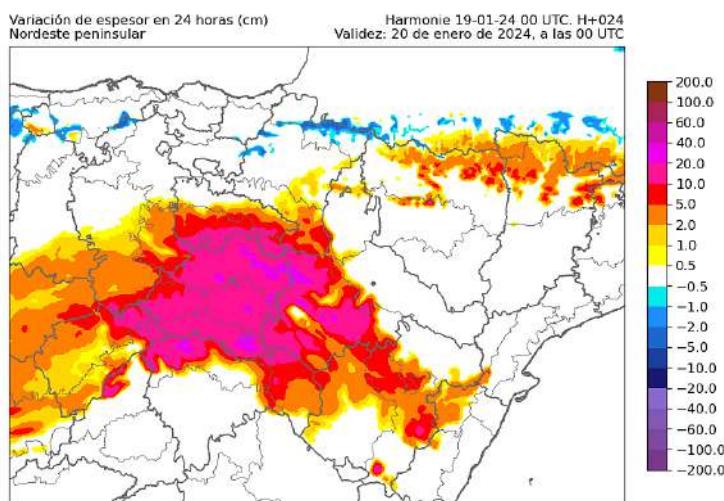


Figura 12. Izda: variación de espesor de nieve en 24 h prevista por Harmonie-Arome durante el 19 de enero de 2024. Dcha: superficie nevada observada por el sensor MODIS del satélite Terra (con realce RGB de nieve en rojo) el sábado 20 de enero de 2024. Se aprecia de manera subjetiva que la nevada se sobreestimó en la ibérica riojana, y se infraestimó en la comarca de Las Cinco Villas (Zaragoza) y ribera del Ebro en torno a Zaragoza capital.

vías principales como la A-1 y A-2 en diferentes puntos kilométricos de las comunidades anteriormente mencionadas. En la N-122 la Unidad Militar de Emergencias (UME) tuvo que rescatar a más de medio millar de personas que quedaron atrapadas en sus coches. En la provincia de Zaragoza la nieve provocó también problemas en la vía ferroviaria al quedarse parados dos trenes de pasajeros en los que también tuvo que intervenir la UME. Además, dos vuelos con destino a Zaragoza tuvieron que ser desviados a otros aeropuertos alternativos, debido a que la nevada registrada sobre la capital aragonesa obligó a cerrar el aeropuerto durante unas horas.

4. Conclusiones

La nevada en Zaragoza del 19 de enero de 2024 se puede considerar excepcional desde el punto de vista del modelo conceptual típico de nevadas en la ribera media del Ebro, y no tanto por los acumulados registrados. Las condiciones meteorológicas no eran las más favorables para que se acumulasen varios centímetros de nieve en la ciudad, puesto que el evento no venía precedido de un periodo frío. Fue un episodio límite, con un cambio muy brusco de masa de aire en los niveles más bajos, que posibilitó que la frontera de masas de aire se situase sobre la capital, y que a su vez coincidió con una advección húmeda por encima de 700 hPa.

Se trata de un episodio con muy baja predecibilidad; y que, en este caso, lleva una elevada incertidumbre en el tiempo sensible. En este sentido, se aprecia la dificultad que exhiben los modelos numéricos de predicción del tiempo para predecir nevadas en condiciones límite, en las que las temperaturas rondan los 0 °C en superficie (Figura 12). Si estas condiciones se dan en zonas densamente pobladas, los impactos pueden ser considerables, como así sucedió en el entorno de la capital aragonesa.

Referencias

- Chazarra *et al.* (2022). Evolución de los climas de Köppen en España en el periodo 1951-2020. Nota Técnica 37, AEMET.

El CSIC y la AEMET, embarcados en el desarrollo de diez servicios climáticos

JAVIER FRÉGOLA MUR, PTI CLIMA Y SERVICIOS CLIMÁTICOS; CSIC
YOLANDA LUNA, ANA MORATA Y ESTEBAN RODRÍGUEZ; AEMET

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y la PTI-Clima del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) cooperan en un ambicioso proyecto que permitirá la puesta en marcha de un sistema de información climática regionalizada y diez servicios climáticos operativos al servicio de la sociedad



Personal técnico e investigador de la PTI-Clima y AEMET tras mantener una reunión sobre el estado del proyecto

Desde hace unos años, los servicios climáticos se han erigido como herramientas fundamentales no sólo para el estudio del clima desde un punto de vista científico, sino como base para la toma de decisiones en diferentes ámbitos de la sociedad, la economía o el medioambiente. Conscientes de la importancia y del valor que aportan estos servicios, dos instituciones especializadas en el estudio del clima y con experiencia en el desarrollo de estos productos están embarcadas en un proyecto común de gran envergadura.

Por una parte, la **Plataforma Temática Interdisciplinar para el clima y los servicios climáticos (PTI-Clima)** del Consejo Superior de Investigaciones Científicas busca avanzar en la investigación del clima y **facilitar servicios climáticos temáticos y sectoriales de referencia** en el marco de colaboraciones nacionales e internacionales. Por otra parte, la **Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)** es el organismo oficial que cuenta con el **mandato para el desarrollo y provisión de los servicios climáticos** a nivel nacional.

Fruto de esta sincronía nació el proyecto **"Desarrollo de servicios climáticos**

operacionales", un trabajo de investigación y desarrollo tecnológico que tiene como objetivo la elaboración de un **sistema de información climática regionalizada y la implantación de diez servicios climáticos temáticos**, expandiendo así la **oferta actual de AEMET**.

"En la actual situación de cambio climático resulta esencial contar con información climática de precisión, tanto en su monitorización como en las predicciones climáticas, así como en las proyecciones de escenarios climáticos. Sin embargo, para aprovechar todo el potencial que dicha información ofrece para la adaptación de los diferentes sectores, a corto y largo plazo, **es necesario transformar la información de variables climáticas a indicadores y servicios específicos para cada sector, de manera que resulten útiles para la toma de decisiones**" explica la Jefa del Departamento de Desarrollo y Aplicaciones de AEMET, Yolanda Luna, quien lidera este proyecto desde la Agencia junto a los investigadores Ana Morata y Esteban Rodríguez. "Tras la experiencia de desarrollo de servicios específicos, por ejemplo para el **sector hídrico**, y la co-

laboración entre AEMET y CSIC junto con la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) y la Fundación Biodiversidad para la generación y mantenimiento de indicadores en el **Visor de escenarios de cambio climático de Adaptecca**, esta colaboración permite dar un paso más en el desarrollo de productos y servicios climáticos", apunta Luna.

Uno de los servicios existentes procede de una **colaboración anterior entre la AEMET y el CSIC**. Según indica uno de los coordinadores de la PTI-Clima, Sergio Vicente, "partíamos de la experiencia del **monitor de sequía meteorológica**, una herramienta creada por el CSIC y transferida a la AEMET que aporta información en tiempo real del estado, duración y magnitud de la sequía meteorológica en España. El desarrollo de este servicio fue todo un éxito, y tenemos constancia de su utilización en diferentes ámbitos", apunta Vicente.

Ahora, ambos organismos han emprendido este nuevo reto **"multidisciplinar, ambicioso y con expectativas de consolidarse como referencia a nivel nacional"**, explica José Manuel Gutiérrez, coordinador de la PTI-Clima desde el Ins-

título de Física de Cantabria (IFCA-CSIC). Para llevar a cabo tal empresa, "el proyecto se apoya en la **experiencia previa adquirida por la Plataforma participando en iniciativas internacionales como el IPCC o Copernicus**, y cuenta con la ayuda de un amplio equipo cuyo grueso lo conforman investigadores y técnicos provenientes de los cinco centros del CSIC implicados en la PTI-Clima. Por ello, la coordinación con otras iniciativas es esencial y la comunicación debe ser constante para conseguir unos productos útiles para la sociedad", señala Gutiérrez.

Desarrollo de software, productos, datos y rejillas

A lo largo de 2023 se ha llevado a cabo una intensa labor de **preproceso de los datos de observación meteorológica** a partir del Banco Nacional de Datos del Clima de AEMET. Esta información procede de miles de estaciones meteorológicas principales y auxiliares que gestiona AEMET a lo largo del territorio nacional.

Durante este tiempo, y a partir del trabajo que se venía realizando en AEMET para precipitación y temperatura, se ha puesto a punto una metodología para la **corrección y reconstrucción de las series de un conjunto más amplio de variables meteorológicas** importantes para el desarrollo de los diferentes servicios (temperatura del aire, temperatura de punto de rocío, precipitación, humedad relativa, viento y radiación). Así, el flujo de trabajo ha consistido en varias fases: selección de un conjunto de estaciones principales y auxiliares, control de calidad, detección y corrección de inhomogeneidades, y relleno de datos faltantes.

Como resultado del proceso anterior se han obtenido conjuntos de series climáticas completas cubriendo todo el periodo (1961-2023) y con una cobertura espacial adecuada para el desarrollo de servicios climáticos sobre todo el territorio. Estos datos han sido la base para la generación de rejillas a escala diaria de todas las variables. Para ello, se ha establecido una malla con una distribución regular de los puntos en coordenadas geográficas, con una equidistancia entre puntos de 0.025 grados (2.5 km) de longitud y latitud.

"Se ha llevado a cabo una validación exhaustiva de las rejillas diarias, mostrando una notable calidad en la representación espacial y en la variabilidad temporal

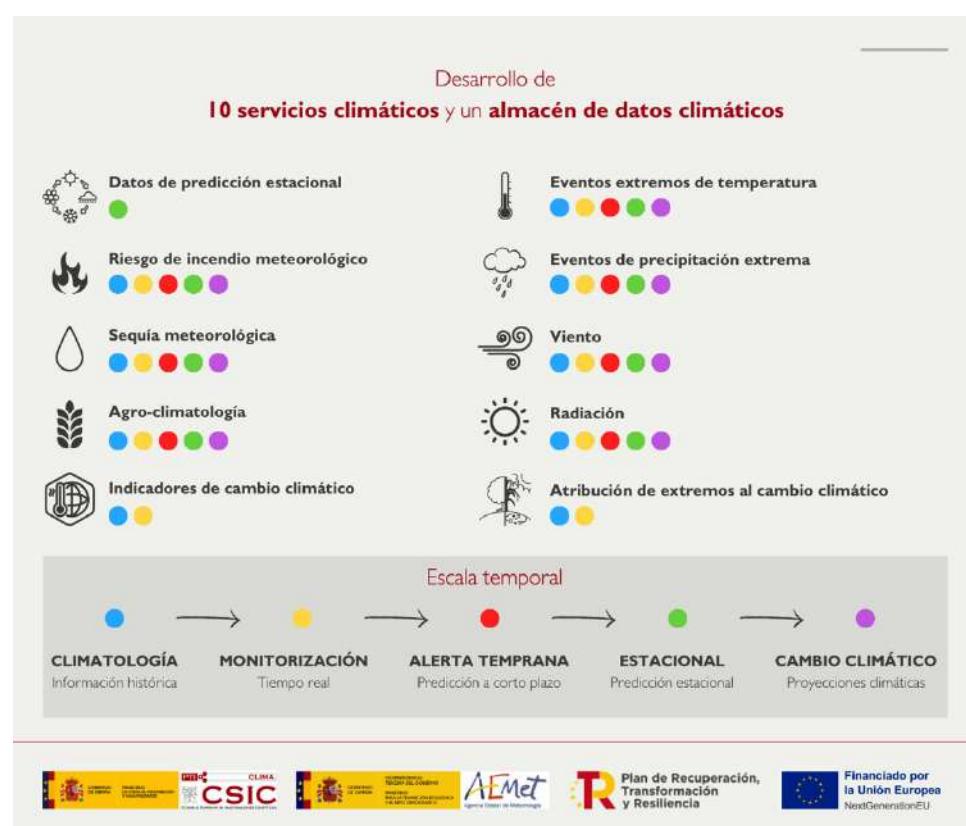


Figura 1. Infografía que representa la relación de los diez servicios climáticos desarrollados en el proyecto junto a las escalas temporales que cubrirán

cuando se comparan con otros productos existentes. En cualquier caso, el proceso no se considera definitivo, sino susceptible de sucesivas mejoras que se irán implementando en las siguientes fases del proyecto", matiza Gutiérrez.

Hasta el momento, el trabajo ha permitido desarrollar una **base de datos con series climáticas completas desde 1961 hasta la actualidad**. Estos datos, ubicados en un repositorio de información climática regionalizada, son los que en gran medida nutrirán los futuros servicios climáticos.

Sistema de información climática regionalizada

Siguiendo el modelo y la experiencia previa de iniciativas como Copernicus (el Climate Data Store), el proyecto está desarrollando un **almacén de datos climáticos** que reúna y actualice los datos siguiendo principios FAIR que permitan su reproducibilidad y reutilización proporcionando diferentes servicios de acceso a los mismos que den soporte al desarrollo de servicios climáticos.

La versión final operativa del almacén de datos climáticos cubrirá las necesidades de los distintos servicios y propor-

cionará un **completo catálogo de productos en abierto**, así como recursos de cálculo virtuales que extiendan y potencien las opciones de exportación de datos y promuevan la reproducibilidad y reusabilidad de la información.

Servicios climáticos

Los servicios climáticos que se están desarrollando abarcan **diferentes temáticas y se materializarán en visores interactivos** en los que será posible desplegar una selección de capas y descargar los datos climáticos a diferentes escalas geográficas y temporales con eficiencia y sencillez.

Las escalas temporales cubiertas (ver figura 1) van **desde la climatología histórica hasta las proyecciones a futuro**, pasando por la monitorización en tiempo real, la alerta temprana y la predicción estacional. En la mayoría de los visores será posible navegar temporalmente a escala diaria, mensual y estacional, pudiendo identificar desde el año 1961 la información climática de interés o los eventos particulares como olas de frío y calor.

En cuanto a la escala geográfica, se pondrá el foco en aportar información a escalas espaciales agregadas de municipio,

El CSIC y la AEMET, embarcados en el desarrollo de diez servicios climáticos

provincia y comunidad autónoma, además de la rejilla de 0.025 grados (2.5 km).

A continuación, se enumeran los diez servicios climáticos que se están desarrollando junto con una breve descripción de sus objetivos y funcionalidades principales.

1. Predicción climática estacional

Este servicio tiene como objetivo **visualizar las predicciones estacionales** basadas en conjuntos (*ensembles*) de modelos acoplados atmósfera-océano, como los proporcionados por Copernicus, junto con métodos empíricos desarrollados por la AEMET y la PTI-Clima, así como la cuantificación de su incertidumbre en base a distintas medidas de validación.

El ámbito geográfico de este servicio es la *Mediterranean Climate Outlook Forum* (MedCOF) y el territorio nacional, y se estudiará la aplicación de métodos de regionalización que permitan proyectar las predicciones a las rejillas observacionales desarrolladas.

2. Riesgo meteorológico de incendios forestales

El servicio ofrecerá información del riesgo de incendio basado en distintos índices meteorológicos (incluyendo el *Fire Weather Index*), siendo alimentado por información climática y predicciones a distintos alcances temporales. Contará con un **sistema de vigilancia con información en tiempo real**, lo que permitirá realizar el seguimiento del riesgo.

También se contempla el desarrollo de un sistema de predicción estacional e información estática correspondiente al riesgo de ocurrencia de incendios forestales en escenarios climáticos futuros.

3. Sequía meteorológica

Permitirá mejorar la **predicción de sequías a escalas que van de la semanal a la estacional**, que ya está en funcionamiento en AEMET. Para ello, se basará en el Índice Estandarizado de Evapotranspiración y Precipitación (SPEI) y aportará niveles de confianza en las predicciones basados en la validación de los productos de predicción estacional mediante la comparación con las series históricas. Además, incluirá la predicción de fenómenos de sequía repentina (*flash droughts*).

4. Agroclimatología

Se trata de un sistema de información basado en **índices de relevancia para los cultivos más importantes**, utilizando datos en tiempo real de las redes de observación meteorológica e información histórica. Los valores se calcularán mediante la comparación entre la serie de datos histórica para un periodo de referencia, que deberá determinarse con el fin de poder evaluar la anomalía que corresponde a cada situación.

En suma, contará con un **sistema de vigilancia agrometeorológica** con información en tiempo real del estado de los diferentes índices, permitiendo un seguimiento continuo de las condiciones agrometeorológicas. Ello permitirá contar con un **sistema de alerta e identificación**

de **eventos agroclimáticos adversos**, con predicción a corto plazo (días) y a medio plazo (estacional).

5. Indicadores de cambio climático

Este servicio lleva a cabo una evaluación del proceso de **cambio climático observado en España desde el año 1961 actualizada cada año**. Funcionará a través de una amplia batería de índices climáticos a partir de datos de observaciones en rejilla y escenarios futuros de cambio climático. Contendrá índices basados en datos de temperatura, precipitación, velocidad del viento, e índices de carácter bioclimático o que informan sobre la continentalidad/aridez. Todos ellos son **útiles para diferentes sectores de actividad**, incluyendo agricultura, reducción del riesgo de desastres, energía, salud, agua y otros sectores socioeconómicos como el turismo o el sector del seguro.

6. Eventos extremos de temperatura

Consistirá en un sistema de **información de olas de frío y calor** a partir de datos de temperatura en rejilla obtenidos de la información histórica y en tiempo real a través de las redes de observación meteorológica. Además, se incorporarán otras funcionalidades y atributos del evento, como la duración de los episodios, los valores de temperatura acumulados, o los períodos de retorno asociados a distintos umbrales térmicos. El usuario podrá visualizar la extensión del territorio afectado por condiciones locales de ola de frío y calor, de acuerdo a las definiciones empleadas para la generación de los catálogos de olas de frío y calor nacionales de la AEMET, que siguen las directrices de la OMM.

7. Eventos de precipitación extrema

El servicio contendrá datos pluviométricos fundamentalmente enfocados a visualizar situaciones de **precipitación intensa desde un punto de vista del riesgo**. Para ello, el sistema integrará datos en tiempo real de las redes de observación meteorológica y de información histórica, propor-

El monitor de sequía fue desarrollado por la AEMET y el CSIC en un proyecto anterior





Celebración de la jornada "Servicios Climáticos para la adaptación al cambio climático de la agricultura", en la sede de la Fundación Biodiversidad.

cionando información sobre los períodos de retorno asociados a los eventos.

8. Viento

Este servicio ofrecerá un sistema de **visualización de la velocidad media diaria del viento** a partir de observaciones históricas en rejilla. A partir de este producto es posible calcular diferentes indicadores, por ejemplo el índice de sequías de viento (*wind droughts*), para evaluar el viento en su condición tanto de **recurso energético como de riesgo climático**. El sistema también proporcionará información sobre extremos, dirección del viento, e incluirá un atlas de viento a muy alta resolución a partir de simulaciones.

9. Radiación

En este caso, se incluirán climatologías e índices de radiación para, a partir de información en tiempo real de las redes de observación meteorológica y la predicción a corto plazo, plantear un **sistema de vigilancia del estado de la radiación**, permitiendo un seguimiento a tiempo real útil tanto desde el punto de vista de la **salud humana como para la producción eléctrica**.

10. Atribución de extremos al cambio climático

Por último, el servicio de atribución de extremos meteorológicos al cambio climático pretende desarrollar un sistema basado en información histórica y méto-

dos estadísticos que permita contextualizar eventos extremos en el clima actual, pasado y futuro. El servicio se centrará inicialmente en extremos térmicos. Con esta herramienta será posible obtener información de la **magnitud o frecuencia de un determinado evento en el clima actual y compararlo con distintos escenarios, incluyendo el clima pre-industrial y el clima futuro**. Por lo tanto, permitirá cuantificar en qué medida el calentamiento global ha alterado la intensidad o la probabilidad de eventos históricos y visualizar sus cambios futuros para diferentes umbrales de calentamiento global.

Servicios orientados a la sociedad

Todas estas herramientas están concebidas para que diferentes tipos de usuarios como **empresas, administraciones o particulares puedan consultarlas y basarse en ellas para la toma de decisiones**. Por ello, y para asegurarse de que los servicios estén correctamente orientados a su aplicación final, es importante contar con la opinión de los actores más interesados en su utilización.

En este sentido, recientemente tuvo lugar el seminario científico-técnico "**Servicios climáticos para la adaptación al cambio climático de la agricultura**", una jornada organizada por la Fundación Biodiversidad (FB), la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), la AEMET y la PTI

Clima, en la que usuarios y proveedores de servicios discutieron posibles mejoras del servicio climático de agro-climatología.

El objetivo de esta jornada de trabajo fue fortalecer la colaboración entre el sector agroalimentario y los proveedores de servicios climáticos para **garantizar que estos servicios se adapten mejor a las necesidades del sector**. Los talleres participativos se enfocaron en las necesidades de información climática del sector agroalimentario, el diseño de interfaces de usuario, herramientas y aplicaciones.

Para el investigador de la PTI-Clima Santiago Beguería, uno de los coordinadores de esta actividad, la información y el *feedback* generado "servirá como base para el diseño de servicios climáticos más centrados en el usuario final, garantizando su relevancia y utilidad para los diferentes sectores de actividad". La jornada fue un éxito en participación y sirvió para demostrar que los asistentes, provenientes de diferentes ámbitos y sectores, muestran un gran interés y valoran la creación de nuevas herramientas adaptadas a sus demandas.

El proyecto "Desarrollo de Servicios climáticos operacionales" está financiado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) y la Comisión Europea - NextGenerationEU (Reglamento UE 2020/2094) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la UE.

La primera intrusión de polvo sahariano en Canarias, documentada científicamente que se conoce (7 de febrero de 1863)

¹EMILIO CUEVAS, ²DAVID BARRIOPEDRO, ³JOSÉ M. GARRIDO-PEREZ, ⁴ÁFRICA BARRETO,

⁵ERNEST WERNER, ¹CARLOS TOLEDANO, ⁶SARA BASART

¹ Grupo de Óptica Atmosférica, Universidad de Valladolid, 47011 Valladolid, España (Colaborador Honorario)

² Instituto de Geociencias (IGEO), Consejo Superior de Investigaciones Científicas - Universidad Complutense de Madrid (CSIC-UCM), 28040 Madrid, España

³ Departamento de Física de la Tierra y Astrofísica, Facultad de Ciencias Físicas, UCM, 28040 Madrid, España

⁴ Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (AEMET), 38001 Santa Cruz de Tenerife, España

⁵ Delegación de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en Cataluña, 08071 Barcelona, España

⁶ Organización Meteorológica Mundial (OMM), Ginebra, 1201, Suiza

El primer análisis sobre el polvo del Sahara/Sahel fue realizado por el mismísimo Charles Darwin, quien a bordo del bergantín "Beagle" recogió numerosas muestras de partículas de polvo en suspensión, analizando su tamaño, en una amplia región del océano Atlántico oriental situada entre el archipiélago de Cabo Verde (latitud 22° 40' – 25° 30' N) y la latitud 28° 45' N en las proximidades de Canarias (Darwin, 1845). Darwin dejó por escrito la impresión que le dejaron las intrusiones de polvo sobre el Atlántico subtropical que analizó: "este polvo cae en tal cantidad, que todo lo ensucia a bordo y ofende a los ojos; algunas veces hasta obscurece la atmósfera, tanto, que se han perdido buques y estrellado contra la costa" (Darwin, 1845). Darwin llegó a Tenerife el 6 de enero de 1832 para realizar observaciones de polvo, e interesado por las condiciones naturales de la isla. Desafortunadamente no pudo finalmente desembarcar por la cuarentena de doce días impuesta tras los rumores de un brote de cólera a bordo del "Beagle" (De Ory y Palomares, 2004).

Aprovechando las investigaciones sobre el polvo sahariano realizadas por Darwin, dos décadas más tarde sería Sabin Berthelot el primero en describir científicamente una intrusión de polvo en Canarias (y muy probablemente en

España) que tuvo lugar el 7 de febrero de 1863. Sabin Berthelot (Figura 1) fue un célebre naturalista y etnólogo francés, cónsul de Francia en Tenerife por aquella época. Fue, junto con Philip Barker Webb, autor de la "Historia Natural de las Islas

dos revistas científicas francesas: Berthelot (1863) y Figuier (1864). Las dos descripciones son muy escuetas y similares, si bien se observan algunas diferencias en matizaciones y detalles.

La crónica de Berthelot (1863) dice así (traducida del francés):

"Lluvia de arena en Canarias"

El señor Berthelot, cónsul de Francia en Santa Cruz de Tenerife, envió a nuestra Academia de Ciencias una muestra de la lluvia de arena que cayó sobre parte de las islas Canarias el 7 de febrero de 1863, durante la noche y la mañana del mismo día, esparciendo [el polvo] sobre los barcos [fondeados] frente a Tenerife, [La] Palma y la isla del [de El] Hierro. La cima de Tenerife, entonces cubierta de nieve, estaba teñida de amarillo hasta la cima por el polvo de grano casi impalpable [muy fino].

Esta arena amarilla, examinada por el Sr. Daubrée, es efervescente con los ácidos, lo que revela la presencia de una gran dosis de carbonato cálcico. El residuo está formado por granos de cuarzo hialino [cristal de roca] e incoloro; algunos son amarillos y opacos.

La lluvia de arena procedía, sin duda, del Sahara. De hecho, es idéntico a las muestras [de suelo] de desierto que existen en el Museo. Al igual que la arena africana, el polvo recogido en Tenerife contiene restos de conchas sin ningún otro rastro de cuerpos organizados.

El Sahara está separado de las islas

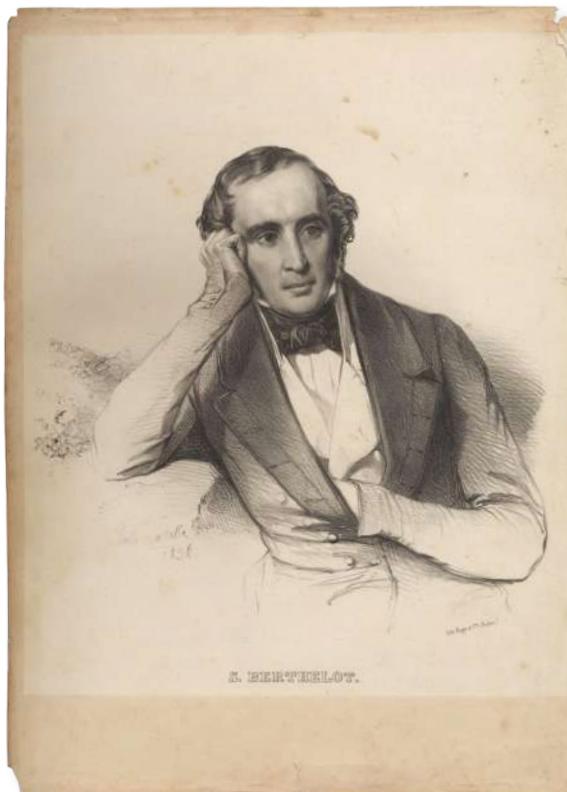


Figura 1. Litografía del científico francés Sabin Berthelot

Canarias", la obra más extensa (9 tomos y un atlas), completa y ambiciosa dedicada a la descripción y clasificación de las especies biológicas canarias que se escribió durante el periodo 1835-1850.

La descripción del evento de polvo del 7 de febrero de 1863 fue publicada en

Anomalías de altura del geopotencial 7 febrero 1863

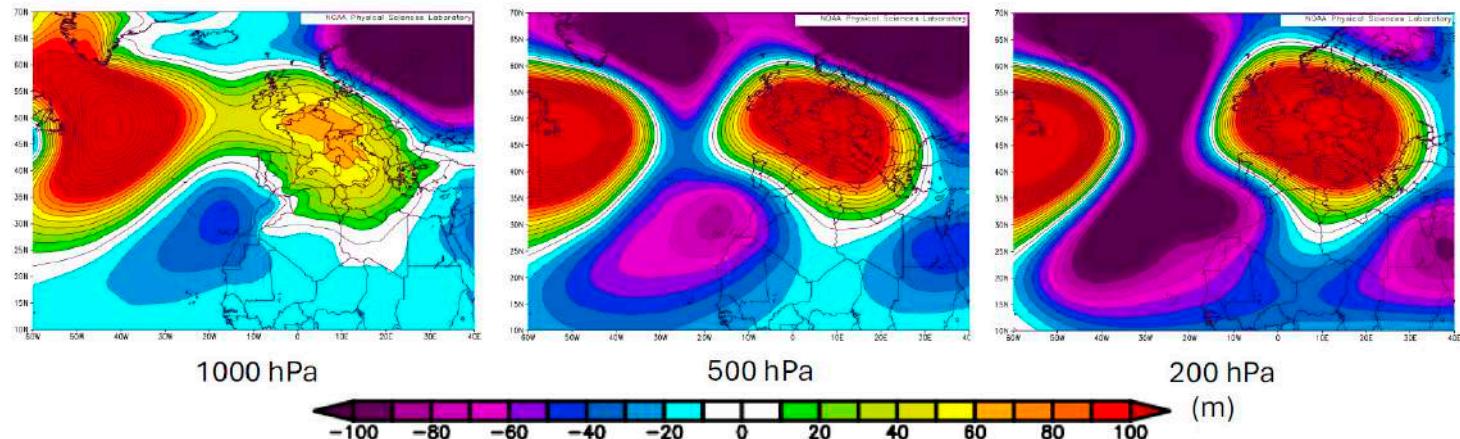


Figura 2. Anomalías de altura de geopotencial en 1000, 500 y 200 hPa, a la izquierda, centro, y derecha, respectivamente, el 7 de febrero de 1863. Imagen proporcionada por el NOAA Physical Sciences Laboratory, Boulder Colorado, desde su web en <https://psl.noaa.gov>

Canarias por una distancia de 32 milímetros; por tanto, es a través de un recorrido tan enorme que este polvo mineral fue transportado por el “contraaliso” de nuestro hemisferio, sin duda, después de haber sido elevado por alguna tromba marina [borrasca], a una altura de al menos 4 kilómetros sobre el nivel del mar.” Fuente: https://gallica.bnf.fr/html/bibliothque_nationale_de_france

Hemos optado por la traducción literal del título “Lluvia de arena en Canarias” para indicar lo poco que se conocía en esa época el polvo mineral en suspensión. De hecho, Berthelot utiliza indistintamente los términos *sable* (arena) y *poussière* (polvo), quizás confundido por el hecho de que en los territorios que ocupaban las colonias francesas situadas en el Sahara y el Sahel es muy común que haya una mezcla de tormentas de polvo y de arena (las zonas fuente de ambos materiales pueden coexistir en un área reducida). De hecho, el programa de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) establecido en 2007 para estudiar este tipo de eventos se denomina “Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS)” (<https://community.wmo.int/en/activity-areas/gaw/science-for-services/sds-was>), aunque los sistemas de monitoreo y predicción de estos dos procesos sean radicalmente diferentes.

Las partículas de polvo mineral del desierto generalmente tienen un rango de tamaños entre 0.2 µm y 5 µm, presentan una composición bastante uniforme, y pueden ser transportadas por el viento

a miles de kilómetros de distancia. Por el contrario, las partículas de arena tienen un tamaño varios órdenes de magnitud superior, que puede oscilar entre 0.062 (arena muy fina) y 2 mm (arena muy gruesa), pudiendo ser su composición mucho más heterogénea, ya que con frecuencia se encuentra mezclada con residuos marinos, vegetales y conchas marinas, y suelen ser transportadas por el viento solo unas decenas/centenares de metros debido a su gran masa.

Para realizar esta descripción, Berthelot tuvo que haber recibido información de colaboradores (observadores) que conocieran este fenómeno y su impacto, y que residieran en, al menos, las tres islas que menciona. Es muy meritorio el análisis químico que hacen de las partículas de polvo para conocer su composición haciendo, en gran medida, un diagnóstico correcto. Sin embargo, Berthelot afirma erróneamente que el polvo del Sahara que llegó a Tenerife podía contener restos de conchas. La descripción del evento realizada por Figuier (1864) nos da la pista para explicar este error cuando dice que para analizar la composición de las partículas de polvo utilizaron un microscopio. Lo que, con gran probabilidad, vieron en el microscopio (en el siglo XIX los microscopios tenían una resolución de 0.25 µm) eran pólenes y/o esqueletos de sílice de diatomeas (Querol-Carceller *et al.*, 2008), algas microscópicas (de tamaño > 2 µm) de agua dulce muy abundantes en las numerosas charcas efímeras del sur del Sahara y el Sahel, que cada verano se llenan de agua gracias a las lluvias monzónicas. Los esqueletos de diatomeas y pólenes, con formas que se pueden asemejar a algunos moluscos marinos, pero con dimensiones varios órdenes inferior, aparecen con frecuencia en las muestras de polvo en suspensión recogidas en el Observatorio de Izaña. Berthelot sobreestima en exceso la cantidad de carbonato de calcio (no explica cómo hace esa estimación) ya que hoy sabemos que las partículas de polvo del Sahara contienen un 5 % de partículas ricas en calcio, y un 9 % de otros materiales carbonosos (Kandler *et al.*, 2007). Berthelot confunde el cuarzo transparente cuando en Figuier (1864) describe “El residuo insoluble se compone de granos muy pequeños de cuarzo, la mayoría hialinos e incoloros”, con los silicatos que hoy sabemos representan el 65 % en volumen del total de las partículas de polvo (Kandler *et al.*, 2007). Al parecer esta confusión es habitual si no se dispone del material para análisis necesario en el laboratorio. Berthelot identifica unos pocos granos de cuarzo amarillos y opacos que son realmente de cuarzo y representan en promedio un 6 % del total de una partícula de polvo. Por último, Berthelot imagina con razonable acierto el proceso atmosférico que ocasionó este episodio de polvo. Aunque hoy sabemos que no se trata de una tromba marina, y creemos que Berthelot se refiere a un ciclón con la intensidad suficiente para levantar el polvo del Sahara y transportarlo hasta Canarias a una altura de, al menos, 4 km. Tengase en cuenta que

METEOROLOGÍA DE LAS ISLAS CANARIAS

el concepto de borrasca fue introducido por el meteorólogo noruego Jacob Bjerknes a principios del siglo XX. Esto es consistente con que el tiempo fuera tormentoso y se escucharan truenos con frecuencia (Figuier, 1864), y se observase una intensa lluvia de barro (deposición húmeda) a nivel del mar (Berthelot, 1863). Por otro lado, Berthelot describe cómo el polvo mineral fue transportado por el “contraalísio”, cuando en realidad lo que estaba viendo era la advección de polvo por el 2º cuadrante, con una fuerte componente sur inducida por la depresión. Los datos de globos piloto y observaciones de viento del periodo 1909-1916 desmintieron la existencia de contraalisios (vientos dominantes en altura opuestos a los alisios) sobre el observatorio de Izaña en invierno.

Si bien los episodios de nieve rojiza en las cumbres de Tenerife no son habituales, suelen producirse como consecuencia de la mezcla de la precipitación en forma de nieve en el centro de una DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos) con polvo del Sahara que ha sido movilizado por el flanco este de la DANA, situado sobre el sur del Atlas.

Para confirmar que se trataba de una DANA recurrimos al 20th Century Reanalysis (20CR) (https://www.psl.noaa.gov/data/20thC_Rean/), un proyecto liderado por el Laboratorio de Ciencias Físicas de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y el Centro Cooperativo para Investigaciones en Ciencias Ambientales de la Universidad de Colorado. El 20CR produce reanálisis históricos de datos meteorológicos globales que cubren el siglo XX y parte del siglo XIX. La versión 3 del proyecto,

lanzada en 2019, es la más extensa, abarcando el período de 1806 a 2015. El 20CR se ha evaluado y comparado con otros productos de reanálisis históricos como el Coupled ECMWF Reanalysis of the Twentieth Century (CERA-20C), y es capaz de producir estimaciones precisas del estado de la atmósfera en diferentes escalas, desde la sinóptica hasta la climática (Slivinski *et al.*, 2021). Esto permite estudiar eventos meteorológicos importantes del pasado como este episodio de polvo en Canarias.

El reanálisis 20CR de anomalías de la altura de geopotencial en 500 hPa (Z500) muestra para el 5 de febrero de 1863 el típico patrón correspondiente a intrusiones de polvo en invierno en Canarias (Cuevas-Agulló *et al.*, 2024): 1) una DANA en las proximidades del archipiélago (no mostrado aquí), que en este caso se identifica por una anomalía negativa de altura geopotencial que se intensifica desde la superficie (1000 hPa, Figura 2, izquierda) hasta la tropopausa (200 hPa; Figura 2, derecha), y 2) sistemas anticiclónicos o altas presiones sobre Europa (caracterizados por anomalías positivas de altura geopotencial).

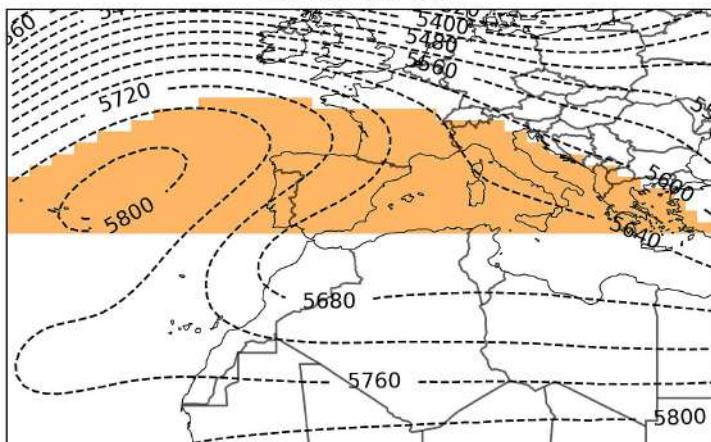
Este patrón dipolar de altas-bajas favorece las intrusiones de polvo de invierno sobre el archipiélago canario (Cuevas *et al.*, 2021; Suárez-Molina *et al.*, 2024) y la región euro-mediterránea occidental en general (Cuevas-Agulló *et al.*, 2024). Muy probablemente el evento de 1863 se trató de un episodio de polvo intenso y muy largo ya que la configuración sinóptica persistió del 4 al 17 de febrero (14 días), lo cual es bastante reseñable. Lamentablemente, no disponemos de observaciones o crónicas que confirmen

la presencia de polvo en Canarias o la península ibérica durante todos esos días, salvo para el 7 febrero.

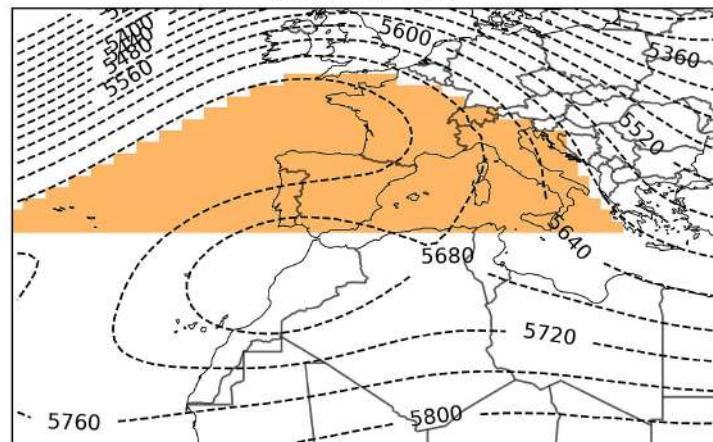
Recientemente, Cuevas-Agulló *et al.* (2024) detectaron dos configuraciones atmosféricas diferenciadas asociadas con intrusiones de polvo invernal sobre el Mediterráneo occidental. Ambas ocurren bajo un patrón dipolar alta-baja, pero bajo diferentes sistemas de alta presión. La primera, más común en el registro histórico, está asociada con bloqueos, sistemas anticiclónicos aislados sobre el centro y norte de Europa, que suelen ir acompañados por DANAs en su flanco sur (Barriopedro *et al.*, 2006). En la segunda configuración, menos común en el registro histórico pero muy frecuente en los últimos inviernos, el sistema anticiclónico coincide con una dorsal subtropical en forma de cuña. Para discernir el tipo de sistemas implicados en el evento de febrero de 1863, se implementó el algoritmo de detección y clasificación de sistemas de alta presión de Sousa *et al.* (2021) y se aplicó al reanálisis del 20CR. El método identificó sin ambigüedades que se trataba de estructuras de dorsal subtropical (Figura 3), que son las que han aparecido de manera recurrente durante los episodios recientes de polvo (2020-2022), en detrimento de los bloqueos característicos del periodo anterior (2003-2019).

Para la historia de la meteorología el análisis de este evento de polvo tiene un gran interés por ser el primero documentado en Canarias (muy probablemente también en España). Además, destaca la duración e intensidad del episodio, que ocurrió bajo un patrón de DANA-dorsal muy similar al que consideramos anó-

1863-02-05



1863-02-06



malo en el corto registro observacional disponible (2003-2022) (Cuevas-Agulló *et al.*, 2024). El episodio de 1863 demuestra que los patrones de DANA-dorsal relacionados con intrusiones recientes de polvo invernal forman parte de la variabilidad climática natural y pone de manifiesto la importancia de ser cautos en las afirmaciones sobre su posible vinculación con el cambio climático, dado el corto registro observacional y la limitada comprensión de los patrones sinópticos asociados.

Agradecimientos

La publicación del episodio de polvo narrado por Berthelot fue identificado por Fernando de Ory (Observador de Meteorología en AEMET, doctor en Historia, especializado en Historia de la Ciencia en Canarias y máximo experto en la larga historia del Observatorio de Izaña). Emilio Cuevas quiere dedicar este trabajo, fusión de historia y ciencia, a la memoria de su amigo Fernando.

Las dos publicaciones en las que Berthelot narra este episodio de polvo fueron buscadas y obtenidas por el personal de la Biblioteca de AEMET, cuyo responsable es Elena Morato, a través de Gallica.

El Dr. Stavros Meletlidis, geólogo del Instituto Geográfico Nacional, nos ha ayudado a entender la descripción dada por Berthelot de la composición mineralógica del polvo mineral del Sahara recogido en Tenerife el 7 de febrero de 1863.

El soporte para el conjunto de datos de la versión 3 del Proyecto *Twentieth Century Reanalysis* proporcionado por la Oficina de Investigación Científica, Biológica y Ambiental del Departamento de Energía de EE. UU., la Oficina del Programa Climático de la Administración Nacional

Oceánica y Atmosférica (NOAA) y el Laboratorio de Ciencias Físicas de la NOAA.

Referencias:

- Barriopedro, D., García-Herrera, R., Lupo, A., and Hernández, E. R.: A climatology of northern hemisphere blocking, *J. Climate*, 19, 1042–1063, <https://doi.org/10.1175/JCLI3678.1, 2006>.
- Berthelot, S.: Pluie de sable qui est tombée sur une partie de l'archipel des Canaries, le 15 février 1863 [Fragmento de una carta de Sabino Berthelot dirigida a la Academia de las Ciencias de París, -leído durante la sesión del 10 de agosto de 1863] en *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences, Physique du Globe*, París, t. 57, n° 6, 1863, pp. 363-364, 1863.
- Cuevas, E., Milford, C., Barreto, A., Bustos, J. J., García, R. D., Marrero, C. L., Prats, N., Bayo, C., Ramos, R., Terradellas, E., Suárez, D., Rodríguez, S., de la Rosa, J., Vilches, J., Basart, S., Werner, E., López-Villarrubia, E., Rodríguez-Mireles, S., Pita Toledo, M. L., González, O., Belmonte, J., Puigdemunt, R., Lorenzo, J. A., Oromí, P., and del Campo-Hernández, R.: Desert Dust Outbreak in the Canary Islands (February 2020): Assessment and Impacts. (Eds. Cuevas, E., Milford, C. and Basart, S.), State Meteorological Agency (AEMET), Madrid, Spain and World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, WMO Global Atmosphere Watch (GAW) Report No. 259, WWRP 2021-1, 2021.
- Cuevas-Agulló, E., Barriopedro, D., García, R. D., Alonso-Pérez, S., González-Aleman, J. J., Werner, E., Suárez, D., Bustos, J. J., García-Castrillo, G., García, O., Barreto, Á., and Basart, S.: Sharp increase in Saharan dust intrusions over the western Euro-Mediterranean in February–March 2020–2022 and associated atmospheric circulation, *Atmos. Chem. Phys.*, 24, 4083–4104, <https://doi.org/10.5194/acp-24-4083-2024, 2024>.
- De Ory-Ajamil, F., and Palomares M.: 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, ICHM (International Commision on the History of Meteorology) Meeting, 5-9 July 2004, Polling, Germany, Arcimis <http://hdl.handle.net/20.500.11765/7365, 2004>.
- Figuier, L.: Pluie de sable aux îles Canaries, *L'année scientifique et industriel le, París*, Ed. Hachette, pp. 279-280, 1864.
- Kandler, K., Benker, N., Cuevas, E., Ebert, M., Knippertz, P., Rodriguez, S., Schütz, L., Weinbruch, S.: Chemical composition and complex refractive index of Saharan Mineral Dust at Izaña, Tenerife (Spain) derived by electron microscopy, *Atmos. Environ.*, 41, 8,058- 8,074, 2007.
- Querol-Carceller, X., Alastuey-Urós, A., Castillo-Fernández, S., Alonso-Pérez, S., Cuevas-Agulló, E., and Rodríguez-González, S.: Impacto de las Emisiones Desérticas de Polvo Africano sobre la Calidad del Aire en España, Sociedad Española de Mineralogía, depósito legal: M-38920-2004, ISSN: 1885-7264, Macla 8, 22-27, 2008.
- Müller, F.: Las corrientes atmosféricas en Tenerife, trabajos esenciales del Observatorio del Instituto de Geofísica Tomo VIII, cuaderno 3, 20pp. Publicado por el Instituto de Geofísica de la Universidad de Leipzig. Editor L. Weickmann, 1936. (traducido por el Alférez Ayudante Ricardo Ortega Sagrista, 1944, disponible en la biblioteca de AEMET).
- Slivinski, L. C., and Coauthors: An Evaluation of the Performance of the Twentieth Century Reanalysis Version 3. *J. Climate*, 34, 1417–1438, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0505.1, 2021>.
- Sousa, P.M., Barriopedro, D., García-Herrera, R., Woollings, T., and Trigo, R.M.: A New Combined Detection Algorithm for Blocking and Subtropical Ridges. *J. Climate*, 34, 7735–7758, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0658.1, 2021>
- Suárez-Molina, D., Cuevas, E., Alonso-Pérez, S., Cana, L., Montero, G., and Oliver, A.: Dust events characterization from visibility, trends and Dust Adversity Index in the Canary Islands for the period 1980–2022, *Heliyon*, Volume 10, Issue 10, e31262, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31262, 2024>.

1863-02-07

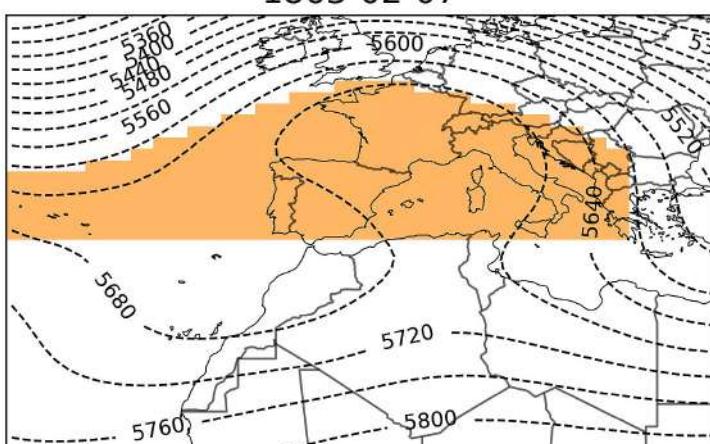


Figura 3. Campo de altura geopotencial en 500 hPa (líneas a trazos, en m) para los días 5, 6 y 7 de febrero de 1863 en el reanálisis 20CR. La región sombreada identifica la estructura de dorsal subtropical detectada por el algoritmo (se muestran únicamente las regiones al norte del cinturón subtropical, situado alrededor de 35°N).

Descripción de la primavera a escala global en el Hemisferio Norte

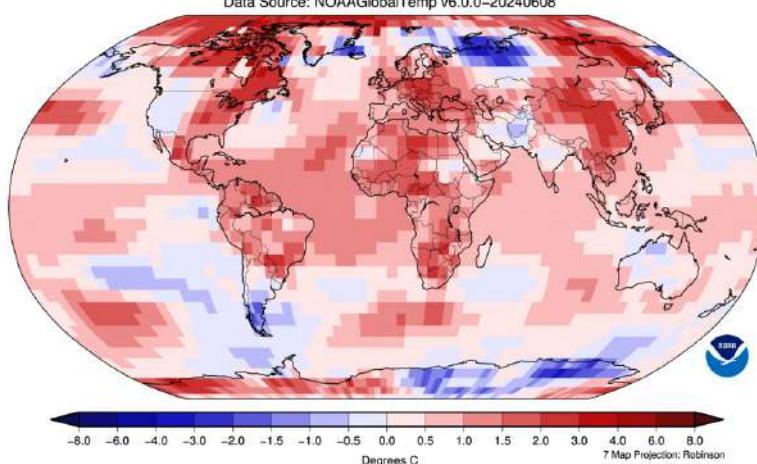
TEMPERATURA

El periodo comprendido entre marzo y mayo de 2024 ha sido el más cálido de los 175 años de registros. La temperatura global estacional de la superficie terrestre y oceánica de marzo a mayo de 2024 fue 1.29 °C por encima de la media del siglo XX de 13.7 °C. Los últimos once períodos de marzo-mayo se encuentran entre los doce más cálidos desde que se disponen de registros.

Como se puede observar en el mapa de temperaturas en la superficie terrestre del planeta han predominado las anomalías de temperatura positivas, de mayor intensidad en el este de Norteamérica, América Central, norte y centro de Sudamérica, África, Centroeuropa, Europa mediterránea y este de Asia. Por el contrario, se registraron anomalías negativas en el sur de Sudamérica y noroeste del continente asiático. Hay que tener en cuenta que los diferentes países reportan anomalías de temperatura con respecto a diferentes períodos de referencia.

Land & Ocean Temperature Departure from Average Mar 2024–May 2024
(with respect to a 1991–2020 base period)

Data Source: NOAA GlobalTemp v6.0.0–20240608



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

Fuente: NCEI/NOAA.

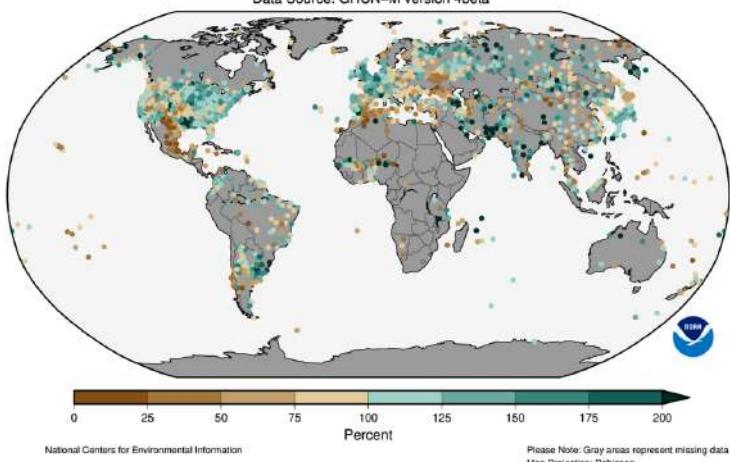
En el océano han predominando con claridad las anomalías de temperatura positivas en todo el planeta.

PRECIPITACIÓN

Como es habitual, las anomalías de precipitación durante el

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

Data Source: GHCN-M version 4beta



Tanto por ciento de la precipitación del trimestre marzo – mayo 2024 respecto de la normal de 1961-90.

Fuente: NCEI/NOAA.

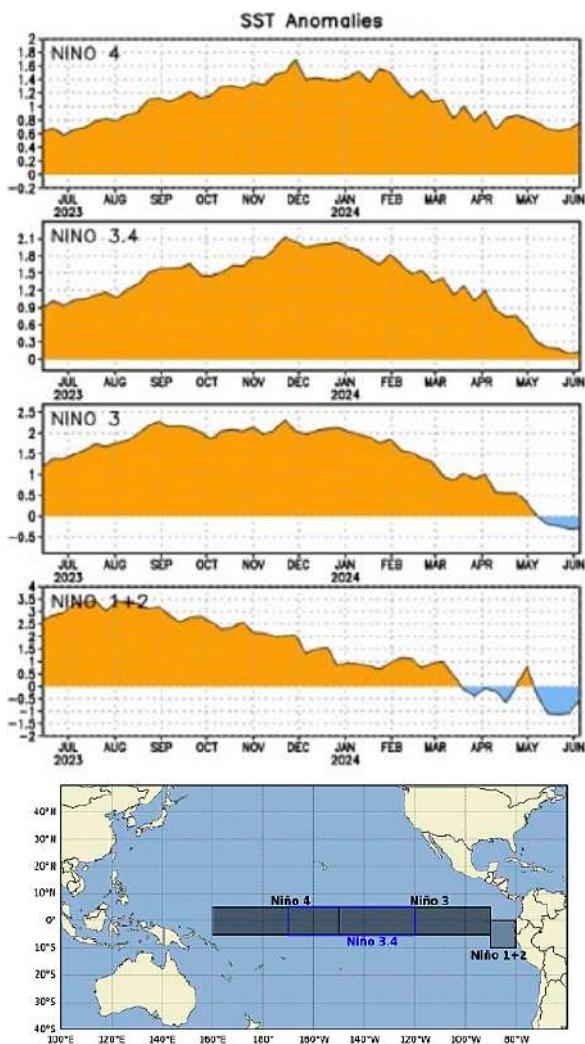
trimestre variaron significativamente de unos lugares a otros en todo el mundo, resultando difícil una vez más distinguir patrones claros en la distribución de la precipitación a escala regional.

En Estados Unidos, Francia, Gran Bretaña, Pakistán, Paraguay, Uruguay y Asia Central los valores de precipitación fueron superiores a los valores normales. Por el contrario las precipitaciones fueron inferiores a los valores normales en México, norte de África y Europa oriental (entre otras zonas muy irregularmente repartidas).

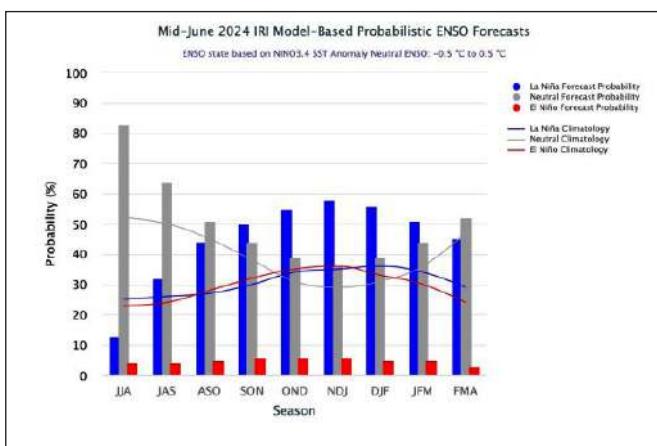
EL NIÑO

A lo largo de la primavera boreal ha habido un periodo de transición de las condiciones El Niño a condiciones ENSO neutral. En el trimestre comprendido entre marzo de 2024 y mayo de 2024 las observaciones semanales de las SST (temperaturas de la superficie del agua del mar) estuvieron por encima del promedio en las regiones 3, 3.4 y 4 en todo el trimestre. En la región 1+2 y 4 las observaciones semanales de las SST estuvieron por encima del promedio en marzo y mayo y por debajo del promedio en abril.

Los modelos de predicción para los siguientes meses indican que se mantendrán las condiciones ENSO Neutral si bien podría derivar hacia condiciones La Niña conforme avance el segundo semestre de 2024.



Series temporales semanales de las anomalías en la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de la superficie del océano (SST) en las regiones El Niño respecto de los promedios semanales del período 1981-2010 y gráfico con las regiones El Niño. Fuente: NOAA.



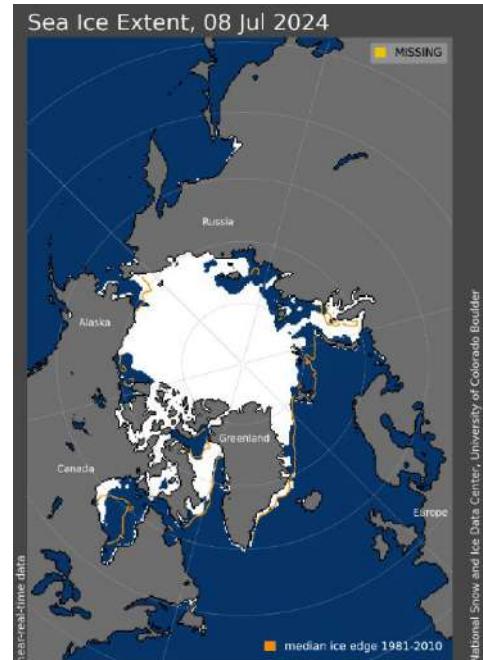
Probabilidad estimada de que se den condiciones de ENSO neutral (gris), El Niño (rojo) o La Niña (azul) durante los próximos trimestres. Se espera que durante el verano del hemisferio norte habrá condiciones ENSO Neutral. Fuente: IRI/CPC

Extensión del hielo marino del océano Glacial Ártico (actualizado a día 2 de julio de 2024) junto con los datos de extensión de hielo diario de los años anteriores. 2024 se muestra en azul, 2023 en verde, 2022 en naranja, 2021 en marrón, 2020 en púrpura y 2012 en discontinuo. La mediana de 1981 a 2010 está en gris oscuro.

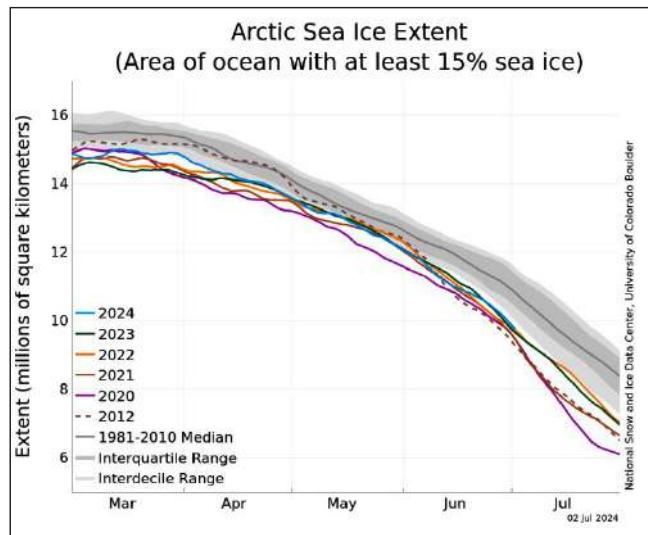
EXTENSIÓN DEL HIELO MARINO EN EL OCÉANO GLACIAL ÁRTICO

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

La extensión del hielo marino ártico en junio de 2024 alcanzó una media de 10.90 millones de kilómetros cuadrados, la duodécima más baja de los 46 años de registros por satélite de microondas pasivas. A principios de julio de 2024 la extensión de hielo estaba muy por debajo de la media en la Bahía de Hudson y ligeramente por debajo o cerca de la media en el resto del océano Glacial Ártico. La excepción es el mar de Chukotka, donde el hielo está por encima de la media para esta época del año. El retroceso del hielo en junio se produjo principalmente alrededor del borde del hielo o a lo largo de la costa, excepto en los mares de Laptev y de Kara, donde se desarrollaron aguas abiertas en el interior del manto de hielo. A finales de junio, la extensión del hielo seguía por encima de todos los años desde 2012, excepto 2013 y 2015.



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



Descripción de la primavera en España

TEMPERATURA

La primavera 2024 (periodo comprendido entre el 1 de marzo y el 31 de mayo de 2024) ha tenido carácter cálido, con una temperatura media en la España peninsular de 13.1 °C; 0.7 °C por encima de la media de esta estación (periodo de referencia 1991-2020). Ha sido la décima primavera más cálida desde el comienzo de la serie en 1961, y la octava más cálida del siglo XXI.

La primavera tuvo un carácter muy cálido en la mayor parte de las regiones mediterráneas, y entre cálido y normal en el resto de la España peninsular, llegando a ser frío en algunos puntos del interior de Galicia y del noroeste de Castilla y León. En Baleares fue muy cálida, mientras que en Canarias tuvo un carácter muy cálido o extremadamente cálido.

Se observaron anomalías térmicas cercanas a +1 °C en amplias zonas de Andalucía, sureste de Extremadura, Madrid, Castilla-La Mancha, Murcia, Comunitat Valenciana, La Rioja, centro y sur de Aragón, Cataluña y en puntos del Cantábrico. En el resto de la España peninsular las anomalías se situaron alrededor de 0 °C. En Baleares tomaron valores en torno a +1 °C, mientras que en Canarias estuvieron comprendidas entre +1 °C y +2 °C.

Las temperaturas máximas diarias

quedaron en promedio 0.9 °C por encima del valor normal, mientras que las mínimas se situaron 0.4 °C por encima de la media, resultando una oscilación térmica diaria media 0.5 °C superior a la normal del trimestre.

La primavera comenzó con un mes de marzo cálido, con una temperatura media en la España peninsular que se situó 0.6 °C por encima de la media del mes. Abril resultó muy cálido, con una temperatura media 1.3 °C por encima de la normal, resultando el sexto mes de abril más cálido la serie. Mayo fue normal, con una temperatura media 0.1 °C por encima de la media.

Marzo resultó muy cálido en las regiones mediterráneas peninsulares, en el Cantábrico oriental y en Baleares. Fue cálido o normal en el resto del centro de la España peninsular, mientras que tuvo un carácter frío o muy frío en Galicia. En Canarias tuvo un carácter o normal o cálido en la mayor parte de las zonas. Las anomalías térmicas se situaron alrededor de +1 °C en amplias zonas de Cantabria, País Vasco, Navarra, La Rioja, centro y este de Castilla y León, Aragón, Cataluña, este de Castilla-La Mancha, Comunitat Valenciana, Murcia y Andalucía oriental, alcanzándose valores en torno a +2 °C en algunos puntos de Cataluña, sur de Aragón, Comunitat Valenciana y Murcia. En el resto de la España penin-

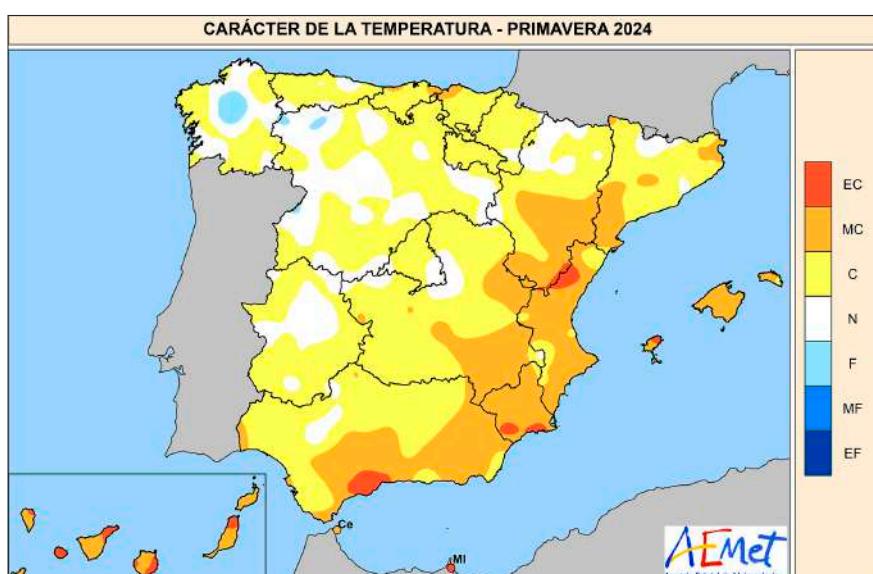
sular tomaron valores alrededor de 0 °C salvo en Galicia, donde tomaron valores negativos próximos a -1 °C. En Baleares las anomalías térmicas se situaron entre +1 °C y +2 °C, mientras que en Canarias estuvieron entre 0 °C y +1 °C.

Abril resultó muy cálido en la mayor parte del sur y centro de la España peninsular y en Galicia, y fue cálido en el resto del tercio norte peninsular. En Baleares resultó cálido o muy cálido, mientras que en Canarias tuvo un carácter o muy cálido o extremadamente cálido. Las anomalías térmicas se situaron alrededor de +2 °C en el centro y sur de Galicia y en zonas de Extremadura, Andalucía, Castilla-La Mancha, interior de Murcia y sur de Aragón. En el resto de la España peninsular tomaron valores en torno a +1 °C. En Baleares las anomalías térmicas se situaron entre 0 °C y +1 °C, mientras que en Canarias estuvieron comprendidas entre +2 °C y +3 °C en la mayoría de las zonas.

Mayo mostró un marcado contraste en cuanto a temperaturas, resultando cálido o muy cálido en el sureste de la península ibérica, frío o muy frío en el noroeste, y normal en el resto de la España peninsular. En Baleares fue normal o cálido, mientras que en Canarias tuvo un carácter muy variable de unas zonas a otras, resultando en conjunto cálido. Las anomalías térmicas se situaron alrededor de +1 °C en amplias zonas de Andalucía, sur de Castilla-La Mancha, Murcia, Comunitat Valenciana y sur de Aragón, llegando a alcanzarse valores en torno a +2 en algunos puntos de estas regiones. Se observaron valores negativos, de alrededor de -1 °C, en el interior de Galicia, centro y oeste de Castilla y León, País Vasco y en los Pirineos mientras que en el resto de la España peninsular las anomalías se situaron alrededor de 0 °C. En Baleares y en Canarias tomaron valores comprendidos entre 0 °C y +1 °C en la mayoría de las zonas.

EPISODIOS MÁS DESTACADOS

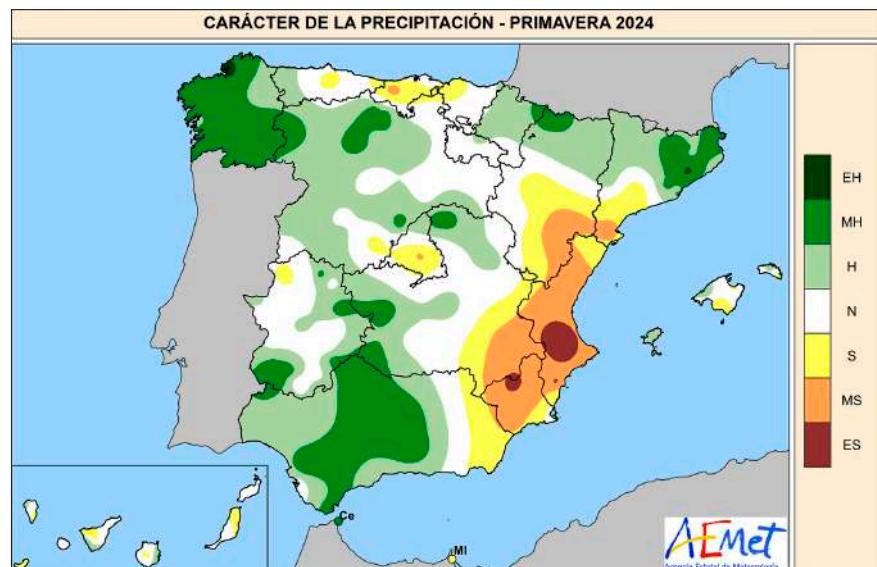
En la primavera fueron frecuentes los episodios de altas temperaturas, destacando los episodios cálidos de los días 13 a 24 de marzo, 3 a 8 de abril, 11 a 17 de abril, 9 a 13 de mayo y 25 a 31



Carácter de la temperatura media durante la primavera respecto a los quintiles del período de referencia 1991-2020

de mayo, en los que las temperaturas máximas y mínimas estuvieron por encima de las habituales para la época del año. En la estación principal de Palma-aeropuerto la temperatura media y la media de las máximas diarias fueron la más alta de las respectivas series de primavera. Además, en la estación principal de Tenerife/Los Rodeos la media de las mínimas fue la más alta de la primavera desde que se tienen registros. Las temperaturas más elevadas de la primavera entre estaciones principales correspondieron a Córdoba/aeropuerto, donde se registraron 39.4 °C el 30 de mayo, Sevilla/aeropuerto, con 39.0 °C también el 30 de mayo, Tenerife Sur/aeropuerto, con 38.3 °C el 11 de abril, y Morón de la Frontera, donde se observaron 38.1 °C el 30 de mayo. En las estaciones principales de Tenerife Sur/aeropuerto y Tortosa se registraron las temperaturas más altas de las respectivas series de primavera.

En cuanto a bajas temperaturas, hubo cuatro episodios fríos con temperaturas por debajo de las normales, los cuales se extendieron entre el 1 y 11 de marzo, entre el 26 y 31 de marzo, entre el 22 de abril y el 3 de mayo, y entre el 14 y 23 de mayo. Destacaron entre estaciones principales los -6.7 °C de Puerto de Navacerrada medidos el 3 de marzo, los -5.4 °C de Molina de Aragón el 6 de marzo, los -4.4 °C de Burgos/aeropuerto el 3 de marzo, y los -3.9 °C de Soria el 6 de marzo. En las estaciones principales de Santander/aeropuerto, Santander/CMT y Murcia/San Javier se registraron las mínimas diarias más altas (la noche más calurosa) de la primavera desde el comienzo de las observaciones.



Carácter de la precipitación acumulada en primavera respecto a los quintiles del período de referencia 1991-2020

PRECIPITACIÓN

La primavera ha sido en su conjunto normal en cuanto a precipitaciones, con un valor de precipitación media sobre la España peninsular de 189.4 mm, valor que representa el 105 % del valor normal del trimestre en el período de referencia 1991-2020. La primavera de 2024 ocupa el cuadragésimo lugar, en orden de más seca a más húmeda, desde el comienzo de la serie en 1961 y el décimo tercero del siglo XXI.

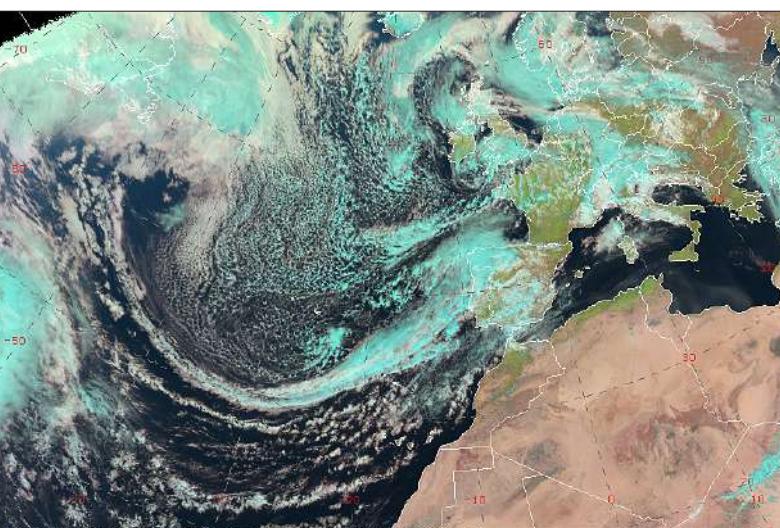
La primavera ha tenido carácter húmedo y muy húmedo en casi toda la Península, llegando a extremadamente húmedo en Galicia, en la provincia de Girona, gran parte de Andalucía y puntos de las dos Castillas y los Pirineos. Por el contrario, la primavera ha tenido carácter entre seco y muy seco en la Comunitat Valenciana, Murcia y Almería,

llegando a extremadamente seco en la provincia de Alicante. En ambos archipiélagos, ha tenido carácter normal.

La primavera comenzó con un mes de marzo húmedo en cuanto a precipitaciones, con un valor de precipitación media sobre la España peninsular de 120.0 mm, valor que representa el 202 % del valor normal del mes (período de referencia: 1991-2020). Se ha tratado del sexto mes de marzo más húmedo desde el comienzo de la serie en 1961 y del cuarto del siglo XXI. Abril fue muy seco en cuanto a precipitaciones, con un valor de precipitación media sobre la España peninsular de 31.9 mm, valor que representa el 50 % del valor normal del mes. Se trató del octavo mes de abril más seco desde el comienzo de la serie en 1961 y del cuarto del siglo XXI. Mayo ha tenido carácter seco en cuanto a precipitaciones, con un valor de precipitación media sobre la España peninsular de 37.5 mm, valor que representa el 66 % del valor normal del mes.

Marzo fue entre húmedo y muy húmedo en casi todo el territorio, llegando a extremadamente húmedo en puntos del Pirineo aragonés y del interior peninsular. Por otra parte, en la cornisa cantábrica marzo ha tenido carácter normal y en el Levante y en la isla de Menorca ha sido entre normal y seco.

Abril fue entre seco y muy seco en casi todo el territorio exceptuando Cataluña, Baleares, zonas de A Coruña y Lugo y puntos aislados de Jaén y Mur-



BORRASCA NELSON con centro localizado al sur de Irlanda a las 12 UTC del día 28 de marzo de 2024. Imagen RGB natural obtenida por el satélite Meteosat-11. Fuente AEMET

Descripción de la primavera en España

cia. En Canarias, abril ha tenido carácter muy seco.

Mayo ha sido entre seco y muy seco en casi todo el territorio exceptuando Galicia, puntos de Girona, Huesca, Castilla y León y norte de Castellón. En Baleares, mayo ha tenido carácter seco y en el archipiélago canario ha tenido un marcado contraste en las islas de Tenerife, Gran Canaria y Fuerteventura.

EPISODIOS MÁS DESTACADOS

Las mayores precipitaciones diarias

registradas en el mes de marzo correspondieron al paso de la borrasca Nelson y se dieron en Ceuta, que registró 72.0 mm el día 9; Morón de la Frontera con 68.7 mm el día 30 que constituye el valor más alto de su serie desde 1949; Jerez de la Frontera con 61.0 mm el día 8, que también constituye el valor más alto de su serie desde 1946; Jaén con 54.0 mm el día 30 y Hondarribia/Malkarroa con 53.6 mm el día 2. En abril las mayores precipitaciones registradas en observatorios principales se dieron los últimos días del

mes y fueron el día 29 en Barcelona/Aeropuerto, 68.4 mm, y Girona/Aeropuerto, 37.8 mm; el día 26 se registraron 37.2 mm en A Coruña/Aeropuerto y 35.5 mm en Santiago de Compostela/Aeropuerto. Finalmente, en mayo las mayores precipitaciones diarias se dieron el día 19 en Hondarribia/Malkarroa, 62.2 mm; en Santiago de Compostela/Aeropuerto, 60.1 mm el día 3; en Vigo/Aeropuerto, 43 mm el día 4; Pontevedra 42.2 mm el día 3 y Donostia/San Sebastián/Igeldo, 40.5 mm el día 19.

Fenómenos meteorológicos singulares en SINOBAS marzo, abril y mayo de 2024

Durante el trimestre marzo-abril-mayo de 2024 se introdujeron en SINOBAS un total de 30 reportes correspondientes a 29 eventos, todos relacionados con fenómenos convectivos excepto dos reportes de aludes. Esta cifra es similar a los que se introdujeron en el mismo trimestre de 2023 (28), 2021 (27) y 2020 (28), siendo notablemente superior a los reportados en 2022 (21). Todos los reportes (excepto tres que fueron eliminados al no cumplir los requisitos necesarios) presentan una fiabilidad alta, excepto dos que presenta fiabilidad baja, tras haber sido validados por personal experto de AEMET.

En cuanto a la distribución espacial de los 27 reportes validados, 25 de ellos se registraron en la Península, 1 en las islas Baleares y 1 en las islas Canarias. Por meses, en marzo se registraron 12 reportes, en abril hubo 8 reportes correspondiendo a 7 eventos, todos por fenómenos convectivos en la última decena del mes, y en mayo se notificaron 7 reportes.

Respecto al tipo de fenómenos, la distribución es la siguiente.

- 6 reportes fueron de tornado/tromba marina: 2 de trombas marinas, en Port de Sóller (Illes Balears) y Cunit (Tarragona). Los tornados tuvieron lugar en Vilarnadal (Girona), Marchena y Parada en la provincia de Sevilla y Córdoba capital.
- 2 reportes de vórtice de racha, en Santa Perpètua de Mogoda, Barcelona y otro pendiente de validar en Quer (Guadalajara)



● 3 reportes de tuba (2 correspondientes al mismo evento en las localidades próximas de Lorca y Aguaderas en la Región de Murcia)

- 2 reportes de reventón/frente de racha, uno en Pamplona capital y otro pendiente de validar en Valdemoro (Madrid)
- 12 reportes de granizada singular

● 2 reportes de alud en Astún (Huesca).

Los episodios más destacables de este trimestre fueron los tornados que se registraron en Andalucía. El registrado en Córdoba capital el 9 de marzo, reportado por el usuario *CarlosPuentes* tuvo gran repercusión mediática y se estima que alcanzó una intensidad EF2 en la escala



Muro derribado y trayectoria estimada del tornado de Córdoba. Reporte del usuario [CarlosPuentes](#)



Granizada singular en Torredembarra (Tarragona) (reportada por el usuario [porusc](#)) y muestra del granizo registrado en Zamora el 21 de marzo (reporte del usuario [Fernandocp99](#))

Figura 6: Imagen MSG-IR realizada que identifica el Sistema Convectivo de Mesoescala que provocó las granizadas en las provincias de Zamora y Salamanca.

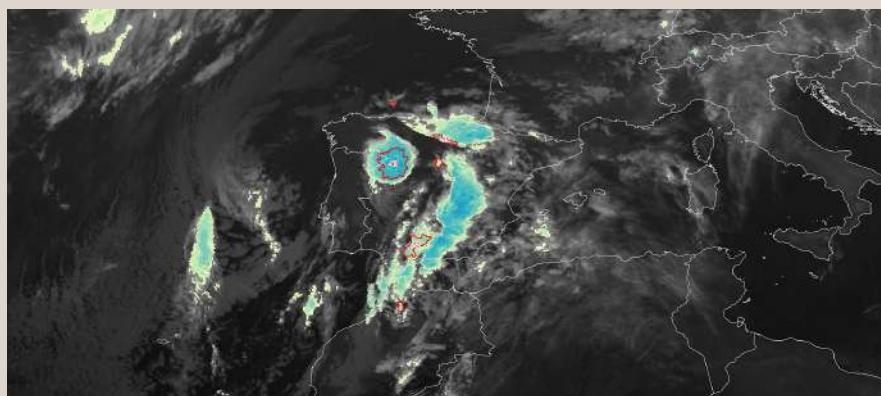
mejorada de Fujita. Los dos tornados registrados en las localidades sevillanas de Marchena y Parada, muy próximas entre sí, se estiman que alcanzaron una intensidad EF1.

En cuanto a episodios de granizadas singulares, destaca el registrado en Torredembarra (Tarragona) el 23 de abril y el introducido por el usuario [Fernandocp99](#) en Zamora capital ocurrido el 21 de marzo. Este último fue originado por un sistema convectivo de mesoescala que afectó a las provincias de Zamora y Salamanca durante las primeras horas del día.

Destacamos la belleza de esta fotografía de la tromba marina avistada en Cunit (Tarragona) el 16 de mayo, registrada por el usuario [icampoo](#).

Por último hay que continuar agradeciendo a los usuarios de SINOBAS su colaboración en la introducción de información en el sistema, que cuenta con más de 1800 reportes, más de 2300 usuarios registrados y más de 51 000 seguidores en su cuenta de la red social X asociada (@aemet_sinobas).

Tromba marina en Cunit (Tarragona). Reporte del usuario [icampoo](#).



“Nieblas y bellas nubes con poca lluvia”

Llevábamos tiempo con poca lluvia y en este reportaje aunque hay algún rayo y nubes cumulonimbos poca agua del cielo había caído, “mucho ruido y pocas nubes” como dice el refrán, por otra parte las bellas nubes lenticulares tampoco dejan agua. Las nieblas aportaban humedad que va bien para el campo pero está seco, a los ríos y embalses les faltaba mucha agua.

Las imágenes de esta colección las he

capturado en la comarca de Osona (Barcelona), desde el amanecer hasta el atardecer.

Empiezo el reportaje de madrugada en los abismos Roc Llarg de Sant Bartomeu del Grau, con los pueblos de la Plana de Vic entre las nieblas movidas por el viento, un viento que también mueve las nubes rojizas del candilazo al amanecer.

deja estos abismos con la niebla que baja como ríos y rebota al llegar abajo. Continuamos desde los abismos que rodean el embalse de Sau, un marcado espectro de Brocken encima del mar de niebla en Tavertet y un arco de niebla con espectro de Brocken en Tavérnoles. Paramos en Vic para subir en globo y capturar fantasías de niebla desde lo alto. Otra vez en el Roc LLarg, por la tarde una gran nube cumulonimbo sobre la Plana de Vic con

Foto 1- Nieblas con candilazo

Sant Bartomeu del Grau (Barcelona),
29/12/2021.

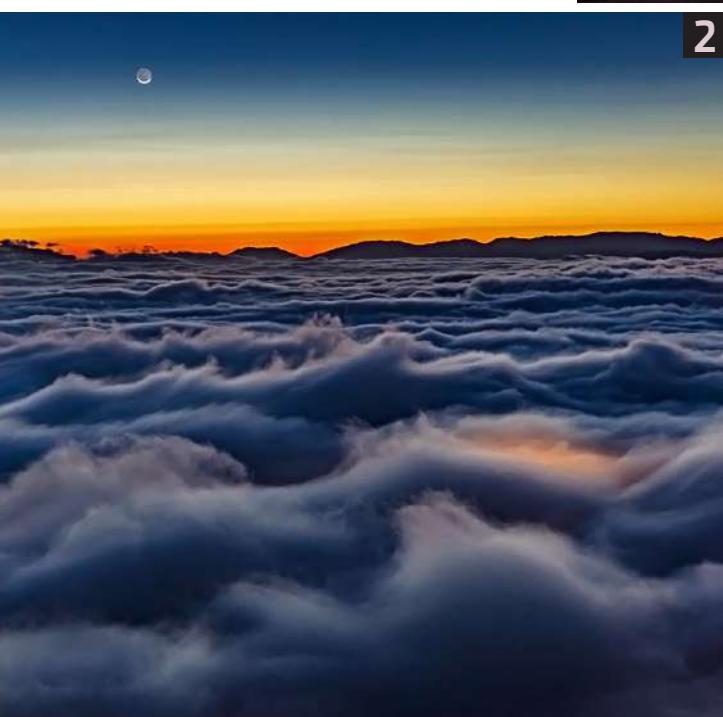
Desde los abismos del Roc Llarg vemos los pueblos de la Plana de Vic con las luces encendidas entre las nieblas movidas por el viento, un viento que también mueve las nubes rojizas del candilazo al amanecer.



Foto 2- Luz bajo la niebla y la luna menguante

Sant Bartomeu del Grau (Barcelona),
05/10/2021.

El viento provoca un oleaje en las nieblas que esconden luces que aún están encendidas debajo de la niebla, la luna menguante ha salido por el horizonte, un horizonte en que pronto saldrá el Sol.



2

Foto 3- Helada bajo la niebla

Sant Bartomeu del Grau (Barcelona), 13/01/2022.
Se observa la helada debajo de la niebla engelante al dispersarse en la Plana de Vic.



3

Foto 4- Ríos de niebla

Sant Bartomeu del Grau (Barcelona), 03/03/2022.

La niebla se deslizaba hacia la Plana de Vic como ríos y al llegar abajo rebotaba como en un salto de agua.

cortina de lluvia y arco iris. Al atardecer en Vic, primero un gran cumulonimbo con poca lluvia y el campo seco, después una espectacular lenticular saliendo por el horizonte y el cielo lleno de lenticulares con tonos rojizos.

Así termina el reportaje que ha empezado en mi pueblo natal y acaba con una imagen capturada desde casa, en unos días que no podía salir debido a una recuperación.

4**5****Foto 6- Arco de niebla con espectro de Brocken**

Tavérnoles (Barcelona), 03/06/2021.

Desde esta zona elevada del valle de Sau es habitual el arco de niebla con espectro de Brocken, cuando la niebla sube y baja.

**Foto 5- Espectro de Brocken**

Tavertet (Barcelona), 08/06/2021.

Desde los abismos pude capturar este vistoso espectro de Brocken sobre el embalse de Sau cubierto de niebla.

6**7****Foto 8- Cumulonimbo, arco iris, sol y lluvia**

Sant Bartomeu del Grau (Barcelona), 03/09/2021.

Una tarde al salir el sol entre las lluvias, pude capturar la nube cumulonimbo entera, con el arco iris entre la lluvia. La Plana de Vic vista desde el abismo Roc Llarg.

**Foto 7- Fantasma sobre la ciudad**

Vic (Barcelona), 28/03/2021.

Una zona elevada menos habitual, desde el globo con su sombra y esta glorieta entre la niebla que parece un fantasma sobre la ciudad.

8

FOTOGRAFÍA METEO-REPORTAJE

<http://meteoreportajeame.blogspot.com>

Foto 10- Gigante al atardecer

Vic (Barcelona), 12/01/2021.

Espectacular nube lenticular como un gigante que salía por el horizonte al atardecer.



9

10



Foto 9- Gran cumulonimbo con poca lluvia y el campo seco
Vic (Barcelona), 19/11/2022.

Por la tarde una gran nube cumulonimbo con ligeras cortinas de lluvia y los campos secos en primer plano, mucho ruido y pocas nueces como dice el refrán.

11

Foto 11- Mágico atardecer
Vic (Barcelona), 29/12/2021.

Con las espectaculares nubes lenticulares que se observaban por la tarde era de esperar este cielo encima de los campos secos, menudo cielo !!!.



12



Foto 12- Ascendente o descendente

Vic (Barcelona), 28/08/2022.

Hemos empezado el reportaje de madrugada con las nieblas y lo acabamos por la noche con este rayo que pregunto, ¿es descendente o ascendente?



LAS FOTOS DE LA PRIMAVERA

MARZO

Título: "Yunque con cortinas de granizo"

Autor: Jesús Manzaneque Arteaga

Cámara: iPhone 15 Pro Max

Lugar: Campo de Criptana (Ciudad Real)

Fecha: 26 de marzo de 2024

Comentario: Fotografía tomada después de una tormenta de granizo en Campo de Criptana. En primer plano se ve la ermita de la Virgen de Criptana, patrona de la localidad, y detrás la tormenta que se aleja con sus cortinas de granizo.



ABRIL

Título: "Sombrero"

Autor: Carme Molist Vidal

Cámara: ILCE-7M2

Lugar: Manlleu (Barcelona)

Fecha: 24 de abril de 2024

Comentario: Impresionante altocúmulo lenticular aislado que apareció al amanecer sobre la zona de El Collsacabra, en la comarca de Osona. De esta forma esta bella comarca natural del interior-norte de la provincia de Barcelona quedaba engalanada, como si esa mañana se hubiera puesto un enorme sombrero.



MAYO

Título: "Aurora balearis"

Autor: David Esteban Liljedahl

Cámara: Sony alpha 6000

Lugar: Puerto de Sóller (Mallorca)

Fecha: 11 de mayo de 2024

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



Situación meteorológica del 29 de mayo de 2024

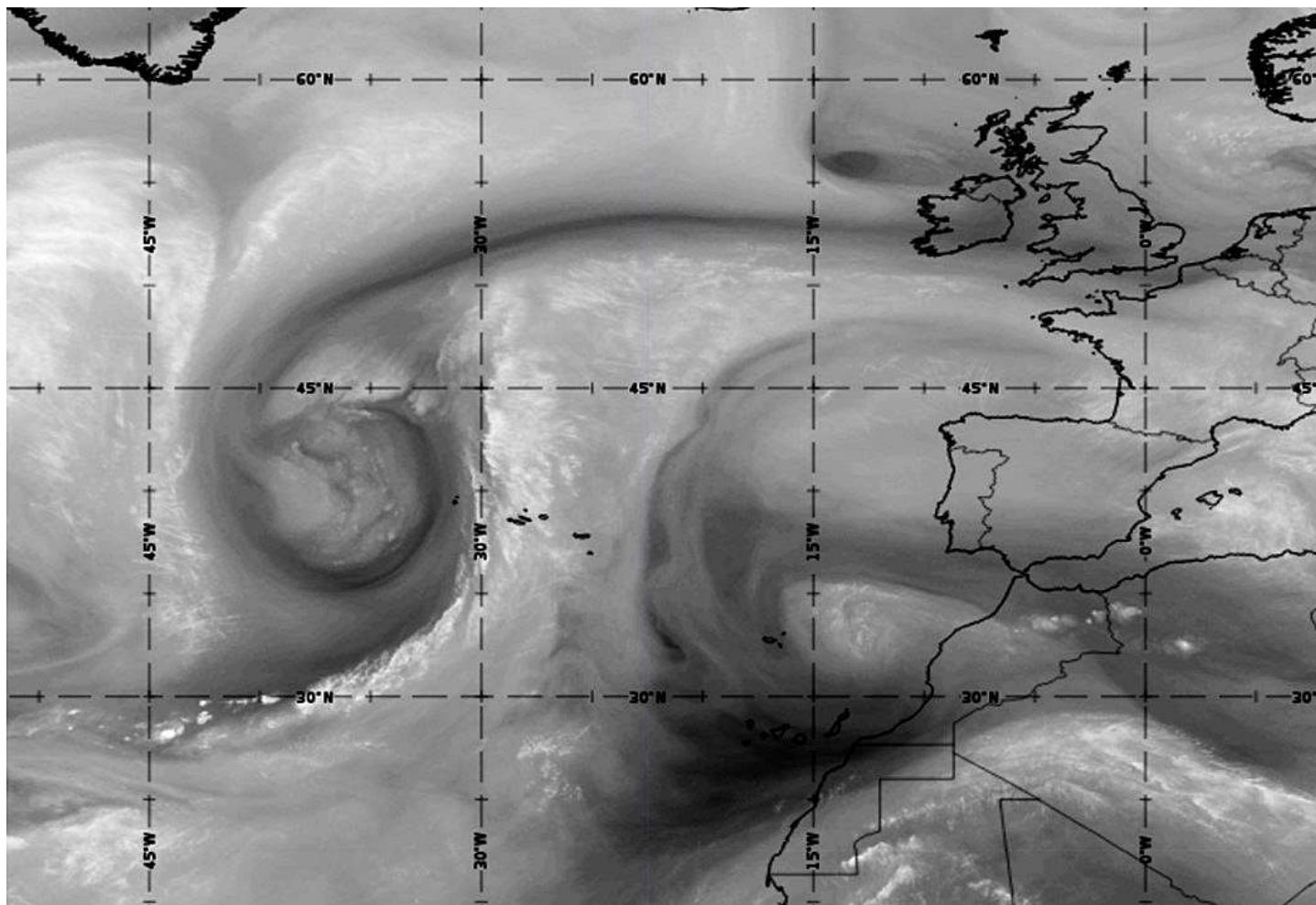


Figura 1. Imagen del canal 6.2 µm (vapor de agua) del 29 de mayo de 2024 a las 18 UTC.

Elegimos una situación meteorológica de aparente tranquilidad sobre la península ibérica pero que causó algunos problemas en la navegación aérea, especialmente en los aeropuertos de Madrid.

Vamos a hacer el diagnóstico de la imagen 1 usando el modelo conceptual de "champiñón" (Martín, 1998)

Un champiñón es una estructura apreciable en el canal vapor de agua, que se asemeja al hongo homónimo cortado por la mitad. La estructura puede ser brillante (*champiñón húmedo*) o más oscura (*champiñón seco*) y consta de un máximo de viento relativo, que al frenar deja un centro de vorticidad positiva a la izquierda y un centro de vorticidad negativa a la derecha. Toda

la estructura queda delimitada por una banda de deformación delantera.

Observamos en las figuras 1 y 2 un champiñón húmedo, con el máximo de viento del sur y cuya boca se sitúa al oeste del meridiano 35° O, al oeste de las islas Azores. El frente en superficie de esta boca queda perfectamente señalado por una línea brillante delantera (hacia el este) donde intuimos la presencia de nubes convectivas.

El centro de vorticidad negativo se situaba frente a la desembocadura del río Miño (figura 2). La circulación anticiclónica provocaba, al sur de la península, una entrada de una masa del este, con un máximo relativo de unos 15 kt. El flujo del este se aprecia en la imagen como una zona oscura que separa una masa

de circulación anticiclónica de otra de circulación ciclónica, centrada al norte de las islas Canarias. Así quedaba configurada la estructura champiñón seco, que es la que estaba afectando a lo que ocurría en ese momento en la península ibérica. Centramos la descripción de la imagen en el entorno peninsular.

La banda de deformación delantera del champiñón seco es también una línea oscura y se extiende de sur a norte desde Canarias hasta el golfo de Vizcaya. Podemos apreciar ciertas ondulaciones a lo largo de la banda, mesovórtices generados por la cizalladura horizontal del viento.

Las masas que intervienen en las circulación ciclónica y anticiclónica son muy parecidas (igual tonalidad de gris)

Figura 2. Diagnóstico en niveles altos de la imagen de la figura 1: en rojo discontinuo se señalan las bandas de deformación; X y N indican los centros de vorticidad ciclónica y anticiclónica respectivamente; la flecha roja marca un chorro de 100 kt y las flechas negras marcan el flujo relativo.

Figura 3. Imagen del canal 6.2 μm (vapor de agua) del 29 de mayo de 2024 a las 18 UTC. Superpuesto el campo de geopotencial en 300 hPa (azul) y presión en superficie (negro) propuestos por el modelo ECMWF H+06. Los símbolos H (azul) y L (rojo) indican máximos y mínimos de la presión a nivel del mar respectivamente.

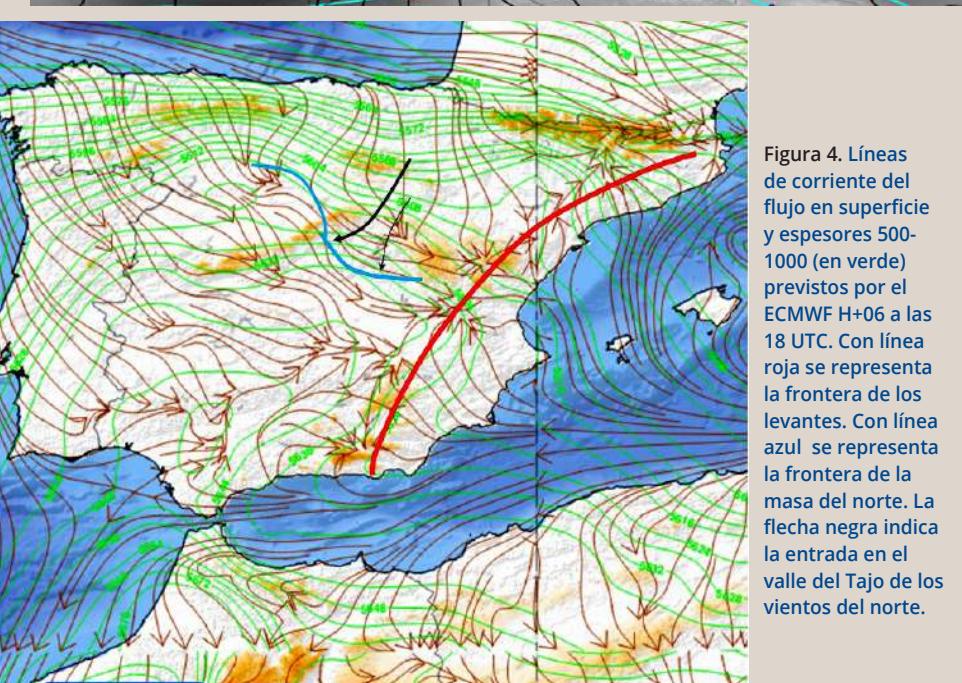
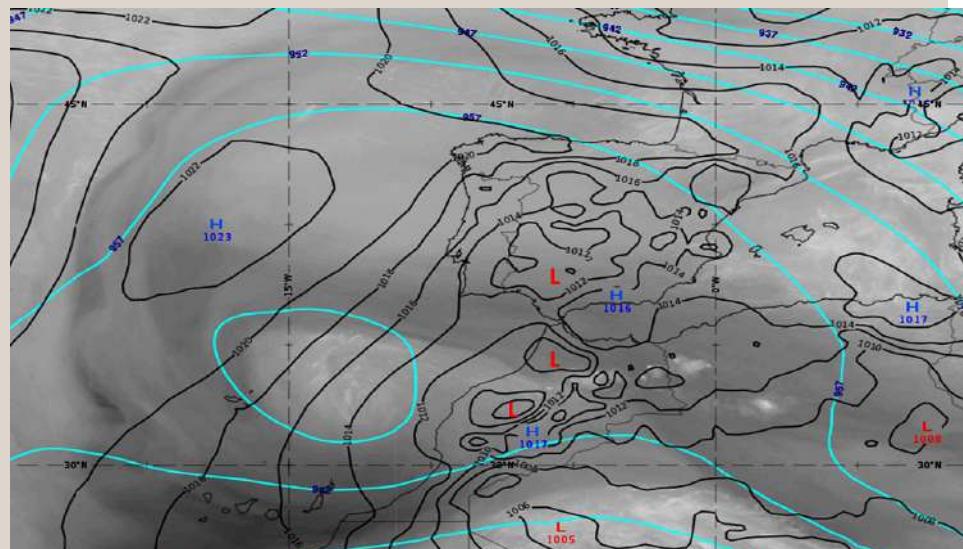
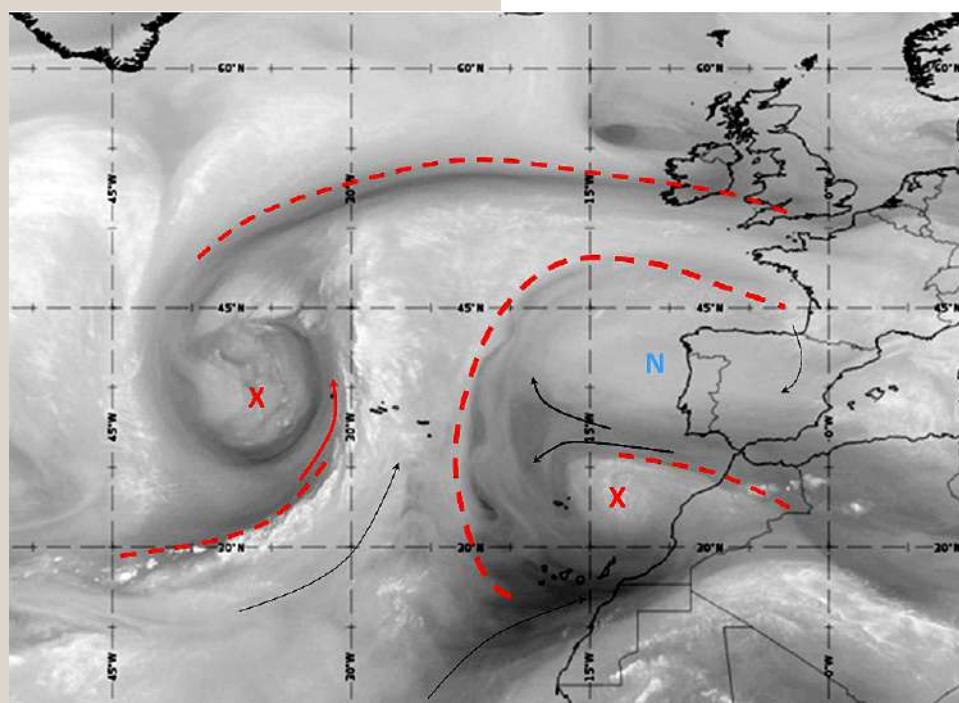


Figura 4. Líneas de corriente del flujo en superficie y espesores 500-1000 (en verde) previstos por el ECMWF H+06 a las 18 UTC. Con línea roja se representa la frontera de los levantes. Con línea azul se representa la frontera de la masa del norte. La flecha negra indica la entrada en el valle del Tajo de los vientos del norte.

y ambas están separadas por una masa oscura, que se está advectando desde el este por el mar de Alborán y el estrecho de Gibraltar. Podemos apreciar nubes convectivas en el norte de Marruecos.

Los campos de presión (figura 3) en superficie marcan un desajuste con los campos de altura (figura 3). Se aprecia un rosario de bajas presiones que van desde el oeste de Marruecos hasta la península ibérica. Se trataba de bajas térmicas y orográficas. La baja térmica peninsular se extendía sobre los valles del Guadalquivir, Guadiana y Tajo.

Entre las 18 UTC y las 20 UTC se reportaron problemas de cizalladura en las aproximaciones de los aviones a algunos aeropuertos de Madrid. Un viento súbito (10 kt) del noreste fue el responsable.

Como podemos apreciar las bandas de deformación se debilitan y desaparecen en Francia, donde un chorro de 100 kt empuja desde el noroeste esto es, desde el sur de las islas británicas. Este hecho, unido a la localización de la baja térmica en Extremadura, propició la irrupción de un pulso de aire del norte, que se canalizó por los valles del alto Tajo hacia el interior (figura 3).

Referencias

- F. Martín León et al. 1998 *Las configuraciones en "champiñón" en las imágenes de WV: usos y aplicaciones*. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/5102>

Resumen agro-fenológico de la primavera de 2024 en España

JUAN ANTONIO DE CARA GARCÍA

El periodo enero-abril en su conjunto fue muy cálido con unos meses de enero-marzo húmedos y abril muy seco. Aunque en conjunto las precipitaciones fueron relativamente abundantes respecto a las normales estas fueron claramente escasas en las comarcas litorales entre el norte de Almería y el sur de Tarragona, también en Canarias (figura 2). Hubo heladas tardías a finales de abril (incluso en marzo se registraron localmente heladas débiles o moderadas).



Figura 1. El pico de Midi d' Ossau (2.884 m) visto desde el Portalet, en la vertiente francesa al norte del valle de Tena (Huesca) el día 22 de enero de 2024. La cubierta y profundidad de la capa de nieve era muy escasa para la época, reflejo de las altas temperaturas del mes. En el Pirineo central las temperaturas fueron más altas de lo normal desde septiembre, además las precipitaciones fueron normales o abundantes en septiembre-noviembre y escasas en diciembre-enero, estas condiciones generales de otoño e invierno hicieron que la nieve fuese prácticamente inexistente salvo en las cumbres más altas.

Climatología

Enero fue extremadamente cálido y húmedo, el más cálido desde el comienzo de la serie en 1961, sobre todo en el centro, sur y este peninsulares, también en Canarias. Las precipitaciones fueron abundantes en el interior peninsular (Extremadura, Castilla - La Mancha, sur de Castilla y León y suroeste de Aragón) pero no en la periferia norte, este y sur, ni en Canarias.

Febrero en general, en el conjunto del territorio fue muy cálido (sobre todo en Castellón, Girona y Canarias) y húmedo (especialmente en Huesca, Pontevedra y valle del Guadalquivir) pero, por el contrario, fue más o menos seco en el litoral mediterráneo, algunas zonas de Baleares y Canarias.

Marzo fue muy cálido en la mitad este peninsular y Baleares, normal en el resto del territorio salvo en el oeste de Galicia donde el carácter de la temperatura fue frío. En cuanto a las precipitaciones fue un mes húmedo o muy húmedo en la mayor parte del territorio (especialmente en Andalucía y Castilla - La Mancha) aunque, por el contrario, la precipitación fue escasa respecto a la normal en el litoral mediterráneo desde el norte de Almería al sur de Tarragona, también en Menorca y Fuerteventura; en general fue normal en el alto Ebro y la cornisa cantábrica.

Abril fue muy cálido (especialmente en Canarias) y muy seco. La amplitud térmica diaria fue grande y se produjeron heladas, destacando las del día 24 por tardías, extensas (gran parte del Pirineo, sistema Ibérico y meseta Norte) e intensas para la época. Las precipitaciones fueron relativamente abundantes en algunas zonas de Galicia, León, Cataluña y Baleares (sobre todo en las Pitiusas). En Cataluña la precipitación fue muy importante (en Barcelona y Girona fue de carácter húmedo o muy húmedo) de forma que unida a la caída en marzo mejoró notablemente la situación del campo y las reservas hídricas embalsadas.

Durante el periodo de enero-abril las precipitaciones siguieron un patrón de distribución geográfica bastante normal; relativamente abundantes en el norte y oeste (sobre todo en los montes costeros del oeste de Galicia y en Grazalema, donde fueron superiores a 1000 mm con algunas zonas de más de 1200 mm) y muy

escasas en las provincias de Almería, Murcia y Alicante (inferiores a 30 mm en las comarcas agrarias del Valle del Guadalentín y Bajo Almanzora) así como en muchas zonas de Canarias. En cuanto al porcentaje de precipitación respecto a la normal (periodo 1991-2020) en general fueron superiores a las medias, sobre todo en el cuadrante suroeste peninsular (especialmente en los Montes de Toledo y Ciudad Real y en La Mancha conquense) por el contrario claramente inferiores en Canarias y la franja de provincias litorales mediterráneas entre Almería y Tarragona (figura 2).

Agrometeorología

La escasa acumulación de horas frío refleja las altas temperaturas del periodo enero -abril. La anomalía de la acumulación de horas frío por debajo del umbral de 7 °C fue negativa en todo el territorio ibérico-balear, especialmente en algunas zonas del este peninsular (las sierras Béticas, montañas de Teruel, la Demanda y Sierra Nevada) fueron moderadamente negativas en el suroeste peninsular y en general muchas de las comarcas de la periferia costera (figura 3).

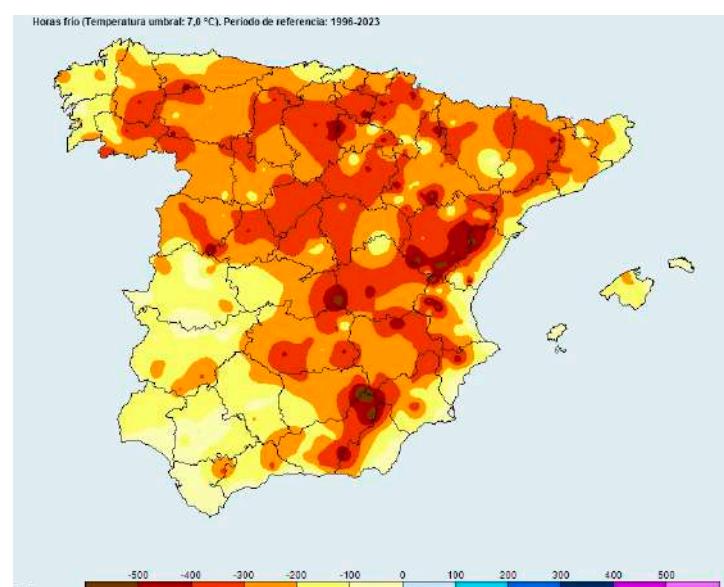


Figura 3. Anomalía de la acumulación de horas frío por debajo del umbral de 7 °C respecto al periodo de referencia 1996 – 2023. En todo el territorio ibérico-balear las anomalías de acumulación de frío fueron negativas debido a las altas temperaturas que hicieron que los cuatro meses fuesen de carácter térmico en general cálido o muy cálido.

Durante los meses de enero-marzo las precipitaciones aumentaron considerablemente las reservas de agua edáfica pero en abril disminuyeron de forma apreciable. A finales de marzo los suelos estaban saturados, o casi, en casi todo el territorio ibérico-balear, por el contrario, el porcentaje de humedad edáfica respecto a la capacidad total de retención de agua de los suelos era inferior al 20 % en el bajo valle del Ebro, Comunidad Valenciana, las Pitiusas y amplias zonas de Canarias; la humedad edáfica era inferior al 10 % en el sur de Alicante, Murcia y Almería (figura 4).

A finales de abril solo estaban en torno a la saturación algunas comarcas de la franja más norteña peninsular mientras la gran parte del territorio estaba por debajo del 60 %. La situación edáfica en el valle del Ebro y litoral mediterráneo no era muy diferente de la de finales del mes anterior (algo más intensa y extensa la pérdida de humedad) pero sí bajó apreciable-



Figura 2. Porcentaje de la precipitación caída entre el 1 de enero y el 30 de abril respecto a los valores normales del periodo 1991-2020. En general fue superior en áreas geográficas expuestas a las situaciones meteorológicas del suroeste sobre todo durante el periodo enero-marzo.

AGRO FENOLOGÍA



Figura 4. Porcentaje del agua disponible para las plantas respecto a la capacidad máxima de retención del suelo el día 31 de marzo de 2024.

mente en amplias zonas del centro y sur peninsular (figura 5).

Al finalizar marzo el porcentaje de agua disponible en el suelo respecto a la normal para la época (referida al periodo 1996 - 2020) llegó a ser superior al 160 % (e incluso mayor que 200 % en zonas de pequeña extensión) en zonas de Madrid, Castilla - La Mancha, Extremadura, Andalucía y alguna pequeña zona en los valles del Ebro y el Duero; por el contrario era inferior al 20 % en zonas litorales de Almería, Murcia, Alicante y algunas zonas de Canarias, sobre todo en Lanzarote; todo ello reflejo de las situaciones de vientos del oeste y suroeste con procedencia atlántica (figura 6).

Las escasas precipitaciones de abril hicieron que al final del mes el porcentaje de humedad edáfica respecto a la normal para la época disminuyese mucho en relación a la que había el mes anterior. Solo se encontraban al 120 % algunas zonas de ambas mesetas, Cataluña, comarcas del este de Andalucía y zona oeste de Badajoz; por el contrario era inferior al 60 % (incluso al 20 %)



Figura 5. Porcentaje del agua disponible para las plantas respecto a la capacidad máxima de retención del suelo el día 30 de abril de 2024. Hay una importante disminución de humedad respecto al mes anterior debida a la escasez de precipitación en el mes de abril.

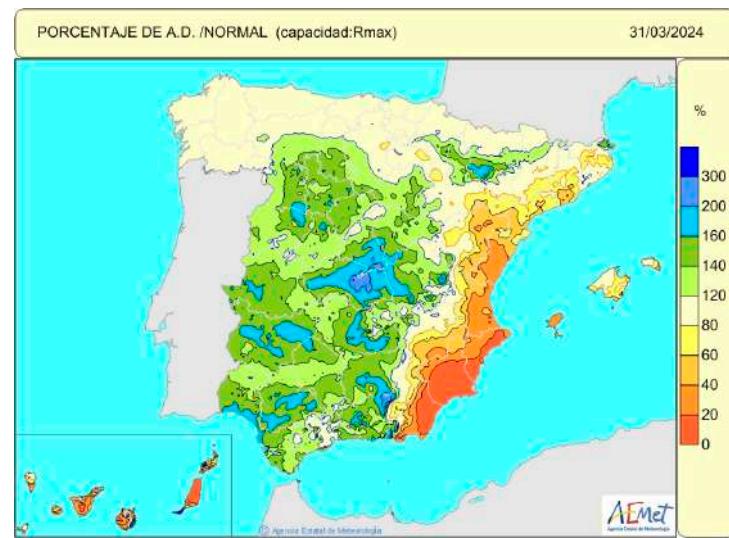


Figura 6. Porcentaje del agua disponible para las plantas respecto a su valor normal (periodo de referencia 1996 - 2020) considerando la capacidad máxima de retención del suelo el día 31 de marzo de 2024.

Los mayores porcentajes aparecen en los valles del Guadalquivir, Guadiana y Tajo (en menor medida Duero) debido a las condiciones meteorológicas del mes.

) en muchas zonas del valle del Ebro, el Levante peninsular y Canarias (Figura 7); a un horizonte o escala de 3 años se reflejaba una sequía intensa en el este de la provincia de Barcelona y el norte de Girona.

El índice de precipitación estandarizado (SPI) calculado para un periodo de 12 meses anteriores al día 31 de enero indicaba que se encontraban en situación de sequía amplias zonas de Cataluña, sur de Andalucía y este de Castilla - La Mancha, algunas de influencia cantábrica y otras de la Comunidad Valenciana, además

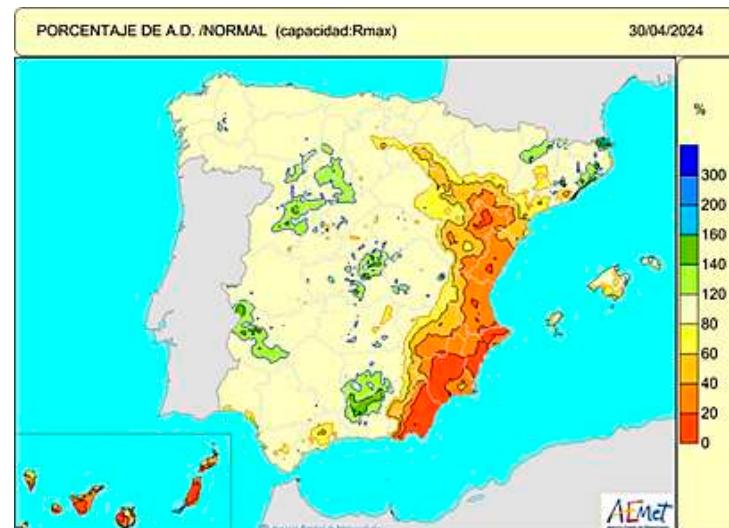


Figura 7. Porcentaje del agua disponible para las plantas respecto a su valor normal (periodo de referencia 1996 - 2020) considerando la capacidad máxima de retención del suelo el día 30 de abril de 2024. Durante el mes disminuyeron la humedad edáfica total, su porcentaje respecto a la capacidad de retención máxima y también,

en general, el porcentaje respecto a la normal climatológica del periodo de referencia. Al igual que en el mes anterior, había un gran contraste entre las anomalías positivas de las regiones centro y oeste peninsulares y las zonas con anomalías negativas de zonas del este.

de la mayor parte de Canarias (figura 8). A finales de abril aún había una zona de sequía intensa en Barcelona para una escala de 3 años pero la situación había cambiado mucho al considerarla de 12 meses, apreciándose lugares de sequía ligera solo en zonas de Cataluña, Comunidad Valenciana, sur de Andalucía, Baleares y Canarias; por el contrario el índice tenía valores de ligeramente húmedo en zonas de Galicia, centro peninsular y Pirineo navarro-aragonés (figura 9).



Figura 8. Mapa de los valores del índice de precipitación estandarizada (SPI) para una escala de 12 meses a 31 de enero de 2024.

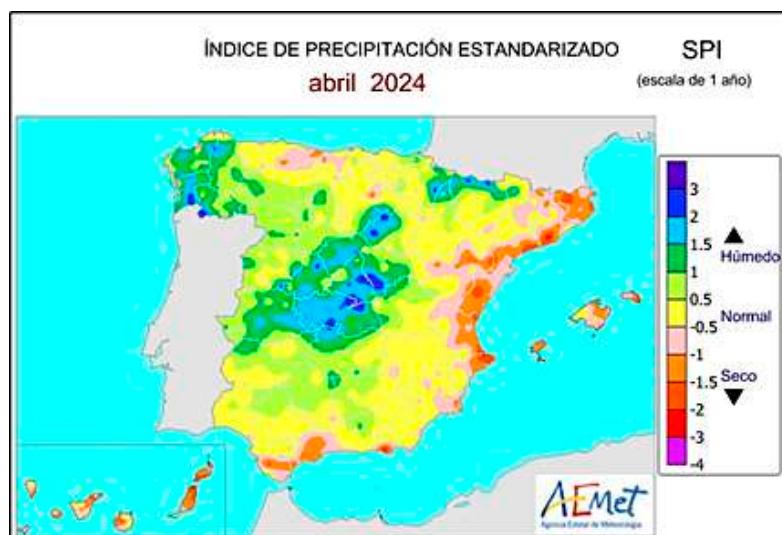


Figura 9. Mapa de los valores del índice de precipitación estandarizada (SPI) para una escala de 12 meses a 30 de abril de 2024.

Características agrarias y fenología

A mediados de enero, la reserva hídrica embalsada en España (ibérico-balear) era del 45.2 % de la capacidad (16 de enero coincidiendo con la borrasca Irene), en la cuenca de Guadalete-Barbate era del 14.4 % y en las cuencas internas de Cataluña era del 16.5 %, las lluvias de la segunda quincena del mes siguieron mejorando las reservas de las cuencas atlánticas pero no aportaron agua a las mediterráneas, a finales del mes la borrasca Juan ori-

ginó nevadas importantes que afectaron al tráfico por carretera (sobre todo en Ávila, Segovia, Soria, Guadalajara y Zaragoza) también se produjeron lluvias importantes que originaron crecidas en los ríos de la vertiente atlántica (cuencas del Guadiana y Duero sobre todo los ríos Esgueva, Adaja y Cega) y hubo algunos daños por inundación en Salamanca, Valladolid, Ávila y Segovia, en menor medida en Toledo y Extremadura. Durante febrero y marzo la situación de paso de borrascas atlánticas fue similar, mejorando las reservas de agua embalsada en el norte y oeste peninsulares pero no tanto en las cuencas mediterráneas (con reservas inferiores al 25 % a finales de marzo (en Guadalete-Barbate y todas las zonas mediterráneas salvo la cuenca del Júcar, en la Cataluña mediterránea estaban al 15.5 % el día 26). A finales de febrero y principios de marzo los ríos crecieron mucho en el País Vasco, la Rioja, Navarra y Aragón; hubo nevadas (incluso en Cazorla, Ronda-Tejeda-Almijara y sierras de Murcia); en muchos lugares se observaba un paisaje de campos de almendros en plena floración con cumbres nevadas (por ejemplo en la zona del Moncayo o el valle del Jerte). Durante abril la situación meteorológica fue similar, alternando días de lluvia y días soleados; a primeros de mes el agua total embalsada era del 63.1 % respecto a la capacidad total (el día 2, con un 16.4 % en las cuencas mediterráneas catalanas) y del 68.3 % a finales de mes (el día 25 se había recuperado en cierta medida la situación en las cuencas internas de Cataluña al 28.8 %).

Durante diciembre muchos flamencos se desplazaron a la Albufera de Valencia debido a la mala situación de otros humedales como Doñana por ejemplo, los movimientos fueron constantes y en abril se alcanzó un record de ejemplares primaveriles en la Albufera que ponía en peligro la cosecha de arroz.

Durante enero se observaron, en las especies tempranas, estadios de inicio de floración adelantados (sobre todo en el norte peninsular pero en febrero se ralentizaron o pararon). En febrero el efecto de la falta de acumulación de horas frío desde el otoño (especialmente necesaria para brotaciones y floraciones en muchas especies de árboles) se manifestaba por el retraso de los eventos. En marzo las fechas de los fenómenos del ciclo biológico eran normales, se compensaron ralentizándose los ciclos adelantados de enero y acelerándose los retrasados de febrero.

Las floraciones en general fueron intensas. La del almendro se produjo en Cádiz y Málaga entre mediados de enero y principios de febrero (según variedades y características del lugar), a mediados de febrero en las variedades tempranas de Cáceres, Madrid, Segovia, Zaragoza, Teruel, La Rioja, etc.

En la tercera decena de enero llegaron las primeras golondrinas a la costa de Cádiz-Huelva y el bajo Guadalquivir. Durante febrero llegaron al conjunto de Andalucía, Extremadura y este de Castilla - La Mancha; en la primera decena de marzo se produjo la llegada a lo largo del litoral mediterráneo hasta Barcelona y por las costas de Galicia y en la última decena se asentaron en el País Vasco y el centro de la meseta de Castilla y León.

Ciencia, tecnología y tecnociencia socialmente responsables

ANTONIO J. DIÉGUEZ LUCENA



Ornitóptero (robot aéreo bio-inspirado de ala batiente), desarrollado en el GRVC Robotics Lab. de la Universidad de Sevilla.

No es fácil definir la ciencia, como tampoco lo es definir la tecnología. No pretendo aquí establecer esas definiciones, que siguen y seguirán en discusión, puesto que son realidades cambiantes. Lo que pretendo es señalar qué relaciones cabe hoy establecer entre ellas y, sobre todo, cuestionar (una vez más) la idea repetida de que la ciencia es conocimiento desinteresado y ajeno a la práctica, que se justifica por su valor intrínseco, mientras que la tecnología, que sí pretende transformar el mundo y ha de justificarse por su utilidad y por sus consecuencias, es la que debe asumir en exclusiva la responsabilidad por ellas.

No voy a definir, pues, el término 'ciencia' porque entonces dedicaría solo a eso este texto y tendría que prolongarlo mucho más. Remito al lector interesado a mi último libro, *La ciencia en cuestión*, en el que, con mejor o peor fortuna, hago una extensa caracterización de la ciencia actual. El término 'tecnología' es también complejo y polisémico y, además, tiene una historia menos conocida. Aun así, me atreveré a esbozar aquí esa historia en unas pinceladas.

Descontando algún uso esporádico en griego clásico, el término es usado inicialmente por Petrus Ramus, en el latín académico en el siglo XVII, para designar el estudio y sistematización de las artes liberales y de las artes mecánicas. Las ar-

tes liberales, como se recordará, eran la gramática, la retórica, y la dialéctica –que formaban el *Trivium* medieval–, junto con la geometría, aritmética, música y astronomía –que formaban el *Quadrivium*–, mientras que las artes mecánicas o vulgares, que estaban menos sistematizadas, eran la medicina, la arquitectura, la escultura, la pintura, la metalurgia, la agricultura, las artes militares, las artes decorativas, las artesanías, etc.

En un sentido etimológico, tecnología es la ciencia o saber sobre la técnica, el estudio de la técnica, o si se quiere, el estudio de las artes, mecánicas o industriales especialmente. Y así, excluyendo ya a las artes liberales, se entendió en inglés y alemán a partir de entonces hasta finales del siglo XIX, restringiendo su sentido inicial.

Pero tampoco es este el sentido actual con el que empleamos el término tecnología. En inglés, el término fue introducido al parecer por el profesor de Harvard Jacob Bigelow en un libro publicado en 1829 con el título de *Elementos de tecnología*, que tuvo poca influencia. Bigelow se refiere con él a las artes que dependen de la aplicación de las ciencias y que son útiles para la sociedad, y, de forma derivada, a sus productos (Misa, 2009).

Para encontrar un uso claro del término con el significado actual, conectado directamente con las prácticas y productos de las ingenierías, hemos de esperar hasta 1861, año en el que se funda el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en Cambridge, muy cerca de Boston. Es todavía una aparición esporádica,

pero ya encauzada a lo que en la actualidad designamos con él. Todavía tardará un tiempo en imponerse, sobre todo en otras lenguas distintas del inglés. Ortega, un pionero en la reflexión filosófica sobre este tema, utiliza todavía la palabra 'técnica' en lugar de 'tecnología' para referirse incluso a los procedimientos y productos de la ciencia en su libro *Meditación de la técnica*, de 1939, procedente de unas conferencias de 1933. Y lo mismo hace Heidegger en alemán en su famoso artículo de 1954 "La pregunta por la técnica" (*Die Frage nach Technik*), o Jacques Ellul en francés en su libro de ese mismo año *La técnica o la apuesta del siglo* (*La technique ou l'enjeu du siècle*). No sé a ciencia cierta cuándo se impuso en español el uso de 'tecnología' (el *Diccionario histórico de la lengua española* no lo recoge), pero probablemente lo haría después de la Segunda Guerra Mundial, o más tarde incluso, en los años 60, al menos de forma generalizada. En alemán se sigue empleando todavía la palabra *Technik* para cosas que en inglés o en español designaríamos como tecnología, y, de hecho, la filosofía de la tecnología se llama en alemán *Technikphilosophie* o *Philosophie der Technik*. Claro que una cosa es la historia del término y otra la de la realidad que nombra. La unión entre la ciencia, la técnica y la industria que llamamos hoy tecnología puede verse en los comienzos de la revolución industrial a finales del XVIII y principios del XIX, cuando surge la termodinámica, en buena medida por la necesidad de mejorar la eficiencia de las máquinas de vapor, y se afianza a mediados del XIX, cuando la industria textil alemana echó mano de los químicos para mejorar la estabilidad de los tintes.

Es importante en todo caso notar que en inglés el término *technology* posee un significado muy extenso, que abarca desde las herramientas artesanales de la antigüedad hasta las complejas tecnologías del presente. En español, si bien se usa cada vez más en este sentido amplio, como cuando decimos 'tecnología lítica' (posiblemente influidos por el inglés), lo más común es reservar la palabra 'técnica' para referirse a las habilidades, prácticas,

utensilios y objetos creados por el ser humano a lo largo de su historia para transformar su entorno sin el concurso de la ciencia y usar 'tecnología' para nombrar a las técnicas sofisticadas y complejas que se han basado en los avances de la ciencia. Aunque el inglés cuenta también con el término *technique* para referirse específicamente a las técnicas o métodos utilizados en un ámbito particular. En resumen, el español utiliza dos términos distintos ('tecnología' y 'técnica') para diferenciar lo que en inglés suele agruparse bajo el término *technology*, aunque es perceptible una tendencia en nuestro idioma, desafortunada en mi opinión, a quedarse únicamente con el término 'tecnología'.

que han construido un sistema en el que se integran de forma inseparable y en una relación de retroalimentación no lineal, la investigación teórica y la innovación tecnológica. Son los mismos equipos de investigación los que desarrollan la teoría y los que patentan las implementaciones tecnológicas. En estos campos, la orientación de la investigación teórica hacia el desarrollo de nuevas tecnologías es clara y prioritaria. Puede decirse, por tanto, que la tecnociencia es una ciencia orientada por la tecnología, y en ella, la obtención de patentes es un objetivo central. De ahí que sea mucho mayor el contacto con el mundo empresarial que en el resto de las disciplinas científicas, llegando a asumir

valores empresariales en su producción y gestión, y que tiendan a una expansión constante en su influencia sobre los procesos económicos. Esta importancia económica, unida a sus aplicaciones militares, hace que las tecnociencias se constituyan en elementos fundamentales del poder geoestratégico de los países. Ejemplos claros de disciplinas tecnocientíficas serían la biología molecular, la ciencia de materiales, la genética, la ingeniería química, las ciencias de la computación, la robótica o la Inteligencia Artificial.

Javier Echeverría (2003), que es uno de los mejores analistas en este tema, y en el que me baso para esta caracterización, ve en el Proyecto Manhattan un antecedente de la tecnociencia, pero sitúa sus orígenes en los años 80 del siglo XX en los Estados Unidos.

No obstante, es claro que esta vocación práctica de la ciencia no surge de la nada ni encaja tan bien por casualidad. Estaba ya claramente expresada por sus primeros representantes y legitimadores culturales. De forma explícita es formulada por Francis Bacon en su *Novum organon* y, sobre todo, en su *Nueva Atlántida*, pero también la encontramos en Hobbes, Locke y Descartes. Para todos ellos la ciencia que surge en ese momento, la ciencia nueva, es un conocimiento no meramente especulativo ni contemplativo, sino orientado a la acción, a la transformación y mejora del mundo, y de ahí la importancia en ella de la experimentación. En expresión de Bacon, no basta con observar, hay que "torcerle la



Retrato de Petrus Ramus (1515-1572)

En cuanto al concepto de tecnociencia, cada vez más empleado, aunque no siempre con buen tino, para describir el modo en que se desarrollan hoy en día muchos campos de investigación, tiene un origen disputado. Hay quien ve en el concepto de 'fenomenotécnica', usado por Gaston Bachelard en 1953 en su libro *El materialismo racional*, un precedente. Sin embargo, quienes usaron el término por primera vez de forma independiente fueron Gilbert Hottois, Jean Jacques Salomon y Jean-François Lyotard en los años 70; y fue Bruno Latour quien le dio difusión en su libro *Ciencia en acción*, de 1987. Designa aquellos campos de investigación

Ciencia, tecnología y tecnociencia socialmente responsables

cola al león". Leyendo a los historiadores de la ciencia pueden verse con claridad las estrechas relaciones que hubo con sus orígenes mismos entre la ciencia moderna y los poderes políticos y económicos, y puede constatarse cómo la ciencia fue ya entonces justificada por su utilidad para la minería, la navegación o la industria civil y militar. La justificación de la ciencia por su valor intrínseco es más reciente de lo que suele creerse.

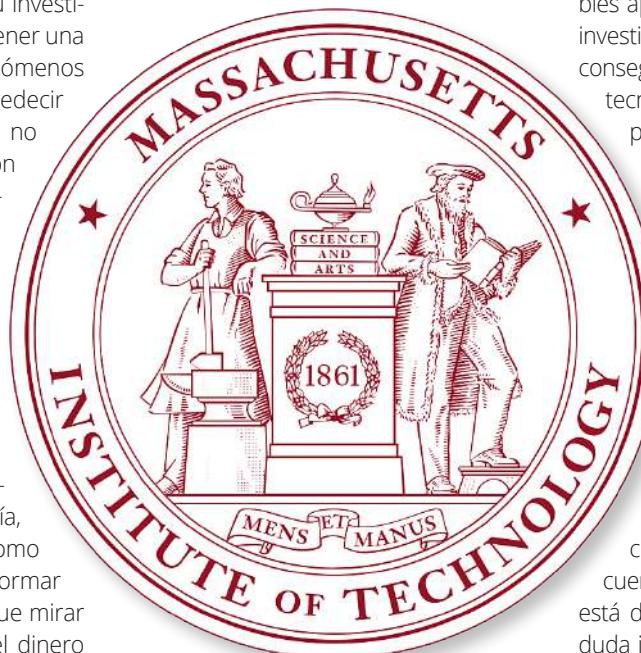
Pese a estas complejas e intrincadas relaciones, la idea común, que prevalece en amplios sectores de la población, es que el científico es una persona que busca la verdad de forma desinteresada, sin atender a los aspectos prácticos de sus conocimientos, que ni aumentan su valor ni son el objetivo primario de su investigación. Quiere simplemente obtener una mejor información sobre los fenómenos naturales y sociales; explicar y predecir el comportamiento del mundo, no cambiarlo. Su máxima ambición es conseguir prestigio y el reconocimiento de los colegas, no la riqueza material. Busca a veces también generar patentes, es verdad, pero como resultado secundario y sin pretender que sean las ganancias obtenidas con ellas las que sostengan su modo de vida. Lo importante es la generación de nuevo conocimiento, nada más. La tecnología, en cambio, es vista sobre todo como ciencia aplicada; su fin es transformar la realidad y es ahí donde hay que mirar si queremos ver cómo influye el dinero en la investigación de determinados temas, cómo las élites económicas marcan el camino. Sobre la tecnociencia, en la medida en que comparte rasgos y valores comunes con la tecnología, como la eficiencia y la rentabilidad, puede decirse algo similar. No cabe extrañarse de que sea a menudo una investigación comisionada y financiada en una parte sustancial, si no total, por empresas privadas, incluso cuando se realiza en universidades públicas; porque, en efecto, mucha investigación pública en universidades públicas se hace con ayuda de financiación privada, proveniente sobre todo de compañías tecnológicas. Esto, claro está, limita la capacidad crítica del científico con respecto a su propia labor, puesto que pierde independencia y se convierte en una pieza más dentro de un engranaje

naje cuyos objetivos últimos quizás ni siquiera conoce.

El filósofo de la ciencia Philip Kitcher (2004, p. 331) sostiene que la imagen tradicional del científico como una especie de sacerdote laico consagrado en exclusiva a la verdad "ha sido extraordinariamente influyente y ha llevado a muchos a considerar que las ciencias persiguen el objetivo humano más elevado: comprender nuestro mundo. Dicho sea de paso, esa búsqueda puede traer muchos y variados beneficios prácticos, pero la satisfacción mundana de necesidades humanas efímeras es insignificante en comparación con la meta trascendente de encontrar la verdad". Pero añade a continuación: "Creo que esta imagen nos

Esto no significa que la ciencia no busque verdades (aunque no busca cualquier verdad, sino, como subraya Kitcher, verdades interesantes o significativas para los seres humanos por algún propósito) o que esté sometida irremisiblemente en la aceptación de sus teorías a la presión del dinero o a los intereses de las compañías que la financian. Tampoco significa que ya no exista más que tecnociencia y que la ciencia básica, ajena en principio a su aplicación directa, sea cosa del pasado. No toda la ciencia actual es tecnociencia, en efecto. Sin embargo, no es exagerado decir que el reducto de la ciencia básica está cada vez más amenazado, como saben bien los científicos que trabajan en ella y que han de justificar con detalle las posibles aplicaciones comercializables de sus investigaciones, incluso a corto plazo, para conseguir algún tipo de financiación. Es la tecnociencia la que influye en la opinión pública y marca la imagen misma de la ciencia; es ella la que es tenida en cuenta por los gobiernos y la que mueve la economía.

Más bien, lo que todo esto significa, y es en lo que quería insistir aquí, es que el científico tiene cada vez más difícil desentenderse de los efectos sociales de la ciencia. Se habla de innovación responsable, pero es pertinente también hablar de ciencia responsable, una ciencia atenta a sus posibles consecuencias y al tipo de investigación que está dispuesta a priorizar. Esto tiene sin duda implicaciones institucionales acerca del modo en que se organiza, financia y promueve la investigación científica, pero tiene también un componente personal ineludible, como bien entendió Einstein. Es sabido, sobre todo después de la película de Christopher Nolan, que Oppenheimer tuvo enormes y persistentes remordimientos por haber dirigido el proyecto Manhattan, un proyecto tecnocientífico, como ya hemos dicho. Es menos conocido, sin embargo, que Einstein, cuya contribución teórica se limitó a haber establecido la famosa ecuación de equivalencia entre masa y energía, también sintió una gran responsabilidad de por vida por la fabricación del arma atómica y fue activo en la lucha por su prohibición para evitar la proliferación nuclear. Ello fue debido a que tomó también la iniciativa de enviar una carta a Roosevelt en 1939 avisándole



Logotipo del Massachusetts Institute of Technology (MIT)

ha engañado y cegado ante las verdaderas responsabilidades de las ciencias y los científicos". Esta convicción de Kitcher cuenta hoy con bastantes adeptos en la filosofía de la ciencia. Sencillamente, no tiene mucho sentido separar de forma radical la ciencia de la tecnología con el objetivo de situar a los científicos en una esfera epistémica aislada del mundo real en la que la única responsabilidad que cabe es la de hacer bien su trabajo y hacerlo con honestidad profesional. Las cuestiones éticas no acaban para el científico en el cumplimiento de las normas establecidas por la ética de la investigación, es decir, por no cometer fraude y evitar las malas prácticas investigadoras.

de la posibilidad técnica de obtener una bomba atómica mediante la reacción nuclear en cadena a partir de una cierta cantidad de uranio, e insistiendo en la necesidad de investigar más el asunto, puesto que había signos de que los nazis podrían estar trabajando en ello. A su amigo Linus Pauling le confesó que pensaba que ese había sido el mayor error de su vida, pero lo hizo movido por el miedo de que los alemanes la tuvieran antes.

La situación actual del científico está, pues, lejos de la imagen tradicional y más cerca de la que retrató a comienzos de siglo el profesor de economía y ética de la Universidad de Gante Koen Raes (2003): "Los científicos operan no solamente dentro de los campos de la investigación independiente, sino también dentro de un área económica gobernada por mecanismos de mercado. Hoy día, un 'campus de investigación científica' académico se parece cada vez más a un 'parque tecnológico' comercial. Y aquí prevalecen intereses distintos de los de la 'investigación científica pura', intereses que pueden dominar la ética científica hasta tal punto que pueden desembocar en publicaciones prematuras o descuidadas, en una carrera por ser 'el primero'. Esos motivos pueden también desempeñar un papel cuando se representan y se emiten opiniones científicas. Esto se debe a que están en juego

los puestos de trabajo, la financiación, las licencias, las patentes y los usos comerciales. La preocupación por mantener las dotaciones de personal de un laboratorio o grupo de investigación puede ser tan predominante que los científicos estén dispuestos a aceptar cualquier tema de investigación, sea de la industria o del gobierno, con el resultado de que gradualmente pierden el control de su propia agenda de investigación, sin darse cuenta"

Esta situación es la que hace que el científico no pueda desentenderse de cómo otros prosiguen sus trabajos ni a qué fines últimos obedecen. No debería, por ello, elegir sin reflexión las cuestiones sobre las que va a investigar. De hecho, como señala Kitcher, una ciencia bien hecha ("bien ordenada", dice él) sería aquella en la que la agenda investigadora se decidiera tomando en cuenta las necesidades de las personas, sobre todo de las más necesitadas. Sería una ciencia en la que se buscaría como objetivo central, por ejemplo, disminuir la brecha 10/90, es decir, la situación lamentable de que solo el 10 % de los recursos investigadores se dediquen a investigar el tratamiento de enfermedades que afectan al 90 % de la población. El científico debe escuchar también lo que la sociedad tiene que decir acerca de su trabajo, no solo lo que dicen sus colegas. No debe desentenderse de

considerar si su trabajo puede contribuir a aumentar las desigualdades sociales o a generar mayor discriminación entre personas por los motivos que sean, o, simplemente, si puede ser utilizado fácilmente para causar grandes daños.

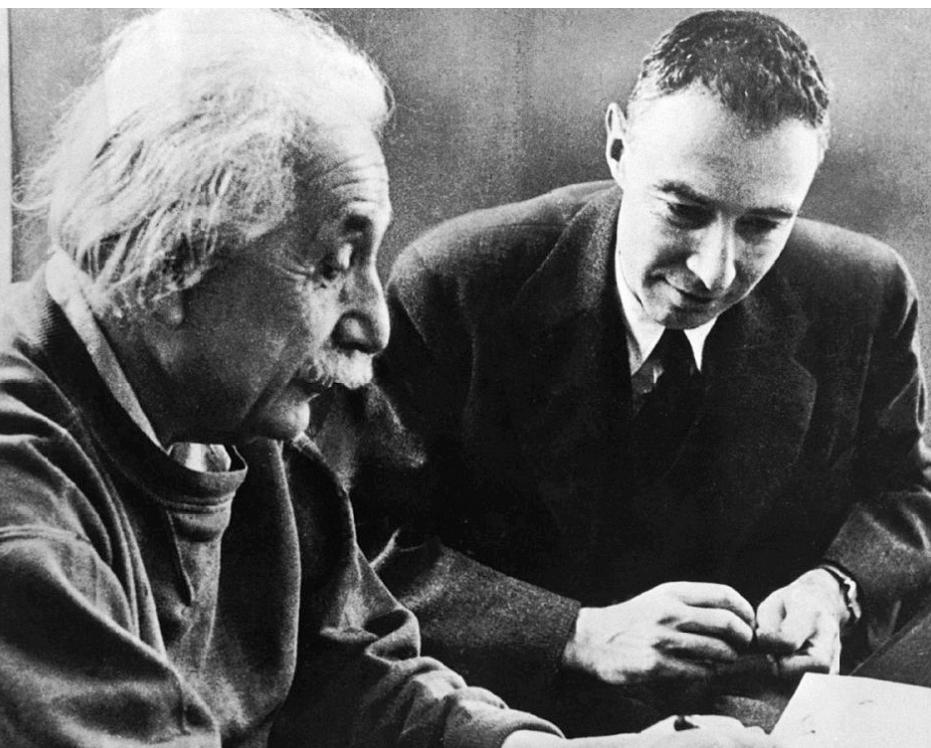
¿Fue responsable, por citar un caso que generó discusión, que la revista *Nature* publicara en 2012, pese a que previamente la National Science Advisory Board for Biosecurity lo hubiera desaconsejado, dos artículos en los que se describían ciertas modificaciones genéticas inducidas en virus de la gripe aviar, el N5H1, que lo hacían más contagioso para los mamíferos y, por tanto, posiblemente también para los humanos, entre los que suele ser letal? ¿Si unos bioterroristas crearan esa modalidad del virus y la pusieran en circulación, podría exculparse a los científicos diciendo que ellos solo pretendían hacer avanzar nuestro conocimiento sobre el virus, con vistas, quizás, a producir una vacuna efectiva? ¿Es responsable un matemático que trabaje en la mejora de los algoritmos usados en los sistemas de IA de reconocimiento facial sabiendo que están siendo usados por régimenes autoritarios para el control político y social de la población? No digo que haya respuestas fáciles para estas preguntas u otras similares, solo digo que es difícil evitarlas, como si no fueran más que cuestiones que conciernen solo a los que estarían dispuestos a hacer un mal uso de esos conocimientos.

Antonio J. Diéguez Lucena es catedrático de Lógica y Filosofía de la Ciencia en la Universidad de Málaga y académico de número de la Academia Malagueña de Ciencias.

Nota: El artículo es reproducción autorizada del publicado originalmente en el blog de la Academia Malagueña de Ciencias (<https://academiamalaguenacienicias.wordpress.com>)

Referencias

- Diéguez, A. (2024), *La ciencia en cuestión. Disenso, negación y objetividad*, Barcelona: Herder.
- Echeverría, J. (2003), *La revolución tecnocientífica*, Madrid: FCE.
- Kitcher, P. (2004) Responsible Biology, *BioScience*, 54(4), pp. 331-336.
- Misa, T.J. (2009) History of Technology, en J. K. B. Olsen, S. A. Pedersen and V. F. Hendricks (eds.), *A Companion to the Philosophy of Technology*, Oxford: Blackwell, pp. 7-17.
- Raes, K. (2003) La responsabilidad social de los científicos, *The IPTS Report*, 72.



Albert Einstein con Robert Oppenheimer en 1947

Recuperando la memoria de Antonio de Ulloa (1716-1795): polifacético marino y científico ilustrado español

MARÍA ASUNCIÓN PASTOR SAAVEDRA Y CARMEN RUS JIMÉNEZ

Insigne marino y científico español. Participó en la expedición pionera hispano-francesa a Quito, actual capital de Ecuador, para medir un arco meridiano y determinar la forma exacta de la Tierra (1735-1746). Fundó el Museo de Historia Natural de Madrid y tuvo gran influencia en la creación del Jardín Botánico de Madrid. Descubrió el elemento químico platino, organizó el primer laboratorio metalúrgico de España y creó en Cádiz el Observatorio Astronómico. Ejerció igualmente cargos de gran responsabilidad política.

Antonio de Ulloa y de la Torre-Gui-ral nació en Sevilla el 12 de enero de 1716 en el seno de una familia de la nobleza hidalgas sevillana, oriunda de Galicia. Cuando tenía 13 años, embarcó en el galeón *San Luis* con rumbo a Cartagena de Indias. En 1732, de vuelta a España, entró en la Escuela de Guardiamarinas de Cádiz donde destacó de forma brillante, especialmente en matemáticas.

En aquellos tiempos, la Academia de Ciencias de París trataba de resolver el problema de la medición del arco de una sección meridiana de la Tierra valiéndose de unidades lineales; apoyándose en el procedimiento de triangulación. Si la Tierra fuese una esfera perfecta, a toda medida de arco de círculo máximo correspondería el mismo radio. Si no lo fuese, se obtendrían valores radiales diferentes; esto es, los sabios franceses querían saber si estaban en lo cierto los que opinaban que la Tierra era un elipsoide de revolución aplastado por los polos y ensanchado por el ecuador, teoría preconizada por Isaac Newton, o, por el contrario, era un elipsoide aplanado por el ecuador.

Para zanjar la polémica entre los partidarios de una y otra teoría, la Academia de París determinó medir sendos arcos de meridiano, el uno en Laponia y el otro en el Ecuador. Para el segundo Luis XV pidió permiso al Gobierno de S. C. M. (Sacra Católica Majestad) para que una comisión académica viajase a San Francisco de Quito (virreinato del Perú) y, Felipe V, que era su tío, accedió siempre que se incorporasen dos científicos españoles a dicha comisión.

Finalmente, tras una ardua búsqueda, los elegidos para representar a la Corona, fueron dos caballeros guardiamarinas a los cuales, para vestirles de más prestancia e importancia, se les ascendió directamente a tenientes de navío. Los caballeros seleccionados inicialmente son Jorge Juan y Santacilia y Juan García del Postigo y del Prado, pero al encontrarse este último en ultramar y como probablemente no llegaría a tiempo para la salida de Cádiz fue

cesa, formada por Pierre Bouguer, Charles Marie de La Condamine y Louis Godin, nacidos, respectivamente, en 1698, 1701 y 1704; por tanto, todo hace suponer que fueron escogidos los académicos más jóvenes para que pudiesen aguantar la dura comisión. Los dos primeros se mostraron francamente hostiles a la presencia de los españoles en la comisión, pero Godin, que era el jefe de la expedición a pesar de ser el más joven, terminará siendo un buen amigo de ellos y sería reclutado por Jorge Juan, como director de la Academia de la Real Compañía de Guardias Marinas en 1751. También impartiría clases en la Universidad de Lima, la primera universidad en América.

El 29 de mayo de 1736 llegaron a Quito. El presidente de la audiencia de Quito, Dionisio de Alsedo y Herrera, que era un reputado geógrafo, recibió a los comisionados franceses y españoles con suma atención, alojándolos durante unos días en su propio palacio. Esta experiencia marcaría de manera decisiva la carrera de nuestros representantes. Tras los primeros reconocimientos del terreno, decidieron formar dos grupos; Jorge Juan quedó unido a Godin y Ulloa a Bouguer y La Condamine, y así continuarán hasta el final de los trabajos.

Aparte de la misión geodésica, que se cumplió con total precisión, los múltiples viajes de Ulloa por tierras ecuatorianas dieron a conocer algunos de los tesoros que encerraba la naturaleza americana.

En paralelo a su misión científica, Jorge Juan y Antonio de Ulloa tuvieron que asu-



Antonio de Ulloa. Retrato de José Roldán y Martínez;
Museo Naval, Madrid

sustituido por el no menos brillante guardiamarina Antonio de Ulloa.

Los comisionados españoles, de 21 y 19 años, llegaron a Cartagena de Indias el 9 de julio de 1735; allí se reunieron más tarde con los componentes de la comisión fran-



Instrumentos antiguos del Real Instituto y Observatorio de la Armada. San Fernando

mir funciones militares que les obligaron a viajar por gran parte de la región. Estos viajes les permitieron levantar una cartografía de las costas e islas del Pacífico y conocer de primera mano las costumbres y formas de vida de los pueblos del Virreinato del Perú.

Acordaron Ulloa y Jorge Juan regresar a Europa en barcos distintos para preservar la seguridad del valioso material científico que llevaban en sus equipajes. Jorge Juan hizo el viaje sin contratiempos, pero Ulloa, que embarcó en la nave francesa *Délivrance*, fue apresado por los ingleses, que le hicieron prisionero de guerra. Antes de ser apresado, el científico lanzó al agua todos aquellos papeles que pudieran comprometer la seguridad de las colonias.

Conducido a Inglaterra, fue confinado y le fueron decomisados todos los documentos de carácter científico. Pero en poco tiempo, Ulloa consiguió el reconocimiento intelectual de los ingleses, y en abril de 1746 fue autorizado a viajar a Londres, donde se le devolvió la documentación confiscada y fue recibido con honores en la *Royal Society*, de la que incluso le nombraron miembro (*fellow*). Resulta de justicia subrayar el sorprendente papel desempeñado por los científicos ingleses que, a pesar de estar en guerra Inglaterra con España, apostaron por la ciencia. Se le autorizó igualmente a volver a España.

A su vuelta a España, intentó promover la investigación científica y emprendió una activa tarea de innovación tecnológica, reorganizó los Colegios de Cirugía y Medicina, así como los arsenales de El Ferrol y Cartagena. Participó en varios proyectos y en la

creación de instituciones punteras en materia científica como el Jardín Botánico de Madrid, el Museo de Ciencias Naturales y el Observatorio Astronómico de Cádiz. También fue el fundador del primer laboratorio metalúrgico que funcionó en España.

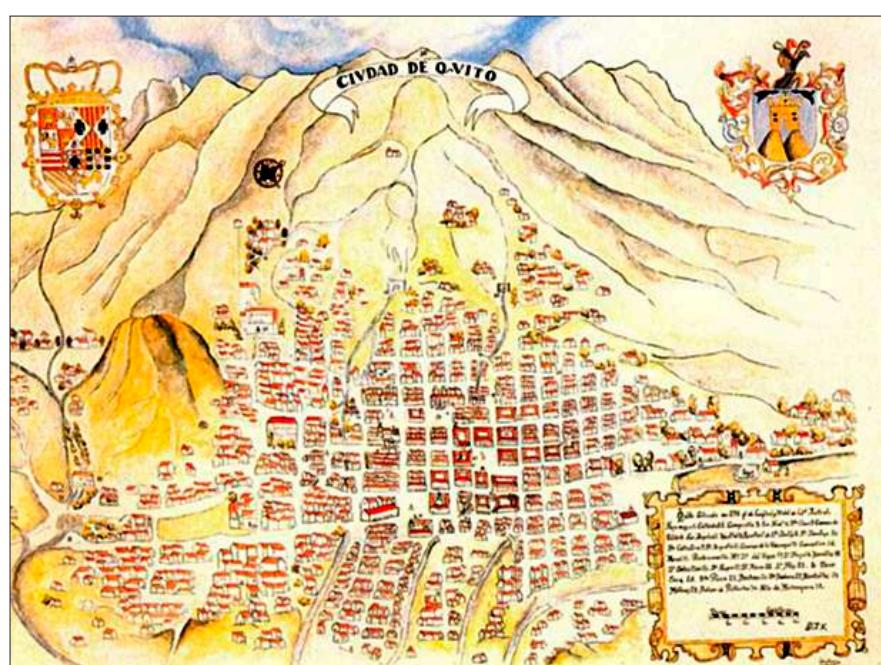
Ulloa regresó, en consecuencia, investido de un prestigio que lo legitimaba como científico y con una notable experiencia. Al poco tiempo, fue ascendido por el rey Fernando VI a capitán de fragata e inició una brillante carrera que lo llevaría a desempeñar cargos de gran responsabilidad. El citado monarca le comisionó para que recorriera Europa, viajó por numerosos

países para estudiar sus adelantos en ciencias, artes y agricultura. En 1755, durante su estancia en Suecia, fue elegido miembro de la Real Academia de Ciencias de Suecia, como reconocimiento a su talla científica. Perteneció también al Instituto de Bolonia, al Instituto de las Ciencias y Bellas Letras de Berlín y a la Sociedad de Leipzig, de entre las instituciones europeas. La Real Academia de Ciencias de París lo recibió también como miembro correspondiente.

En España, aparte de desempeñar el puesto de director general de la Armada, fue correspondiente de la Academia de Nobles Artes de Madrid y de las Sociedades Patrióticas de Sevilla y Vizcaya, y fundó la Real Fábrica de Paños de Segovia.

El prestigio logrado por Antonio de Ulloa hizo que la corona española le confiara cargos de gran responsabilidad en tierras americanas. En 1758 es nombrado gobernador de la mina de Huancavelica (Perú). No fueron tareas fáciles y le supusieron una gran amargura. Años más tarde fue nombrado gobernador de La Luisiana (1766-1768), y en 1766 fue gobernador de los territorios de La Florida. Poco después regresó a España donde fue ascendido a teniente general de la Armada, cargo desde el que realizó dos cruceros, a las Azores y al cabo de Espartel, y fue el comandante de la última Flota de Indias que zarpó de Cádiz en 1776 con destino a Nueva España.

La vocación científica de Ulloa no decayó nunca, y así lo demuestran los numerosos



Plano de la ciudad de Quito en 1734; levantado por Dionisio de Alsedo y Herrera.

Fuente: Fundación Ignacio Larramendi, José María Blanco Núñez.

Recuperando la memoria de Antonio de Ulloa (1716-1795): polifacético marino y científico ilustrado español

escritos que elaboró a lo largo de su vida. Junto con Jorge Juan publicó las *Observaciones astronómicas y phisicas* (1748) y la *Relación histórica del viaje a América Meridional* (1748), no sin ciertas reticencias de la corte por su vocación copernicana. Esta obra es un profundo estudio y descripción en cuatro volúmenes de los países visitados, incluyendo magníficos estudios sobre la flora y fauna de esta parte de América. Ciertos aspectos de su informe, muy críticos con la Administración y declarados secretos por el Gobierno español, fueron publicados en 1826 por el viajero inglés David Barny bajo el título *Noticias secretas de América*.

En 1772 aparece su obra más famosa, *Noticias Americanas*, un erudito compendio de saberes sobre el territorio, el clima, la etnografía y la historia natural del medio americano que tan bien conocía. Muy interesante es su libro *Conversaciones de Ulloa con sus tres hijos* (1795), obra muy didáctica en la que se resume el saber científico de la época. Erudito en varios campos,

adelantadas estas materias. A Ulloa se le debe también el haber dado a conocer en España los primeros conocimientos de la electricidad y magnetismo artificial, que adquirió en Londres. Dio a conocer el elemento denominado posteriormente por Davy, platino, al que él bautizó *Platina del Pinto*, nombre inspirado en el río de Colombia en cuyas aguas lo halló y describió sus propiedades. Igualmente, se le debe el descubrimiento y recogida de infinidad de conchas marinas petrificadas, de diferentes especies y las primeras noticias de los árboles de la canela de la Provincia de Quixos, y de la resina elástica del caucho.

Antonio de Ulloa gestionó, además, la venida a España de los ingenieros Le Maur por su consejo se contrató al naturalista irlandés Bowles para que estudiara las riquezas naturales del país; dio instrucciones para levantar el mapa de la Península. Nada parecía escapar a la curiosidad de este genuino representante de la Ilustración.

Otra de sus principales preocupaciones fueron las instalaciones portuarias y la construcción naval, una de las inquietudes esenciales de los distintos ministros de Marina hispanos y que, claramente, estaba dirigida tanto a la formación de una óptima armada de guerra como al incremento del comercio con las colonias ultramarinas.

Ulloa da muestra de valentía cuando critica el sistema de obrajés, al igual que otros sis-

temas de trabajo compulsivos impuestos por los españoles a la población nativa del continente, e incluso percibe que algo ha cambiado en lo más íntimo del alma del aborigen, porque "o lo que refieren las Historias de la Conquista sobre sus grandes acciones es en un sentido figurado, o el carácter de estas gentes no es ahora según era entonces".

Curiosamente, como muestra claramente definitoria de su carácter, un par de años antes de fallecer, el día 4 de enero de 1793, elevó un escrito al secretario de Marina solicitando aclaraciones en los honores fúnebres que le corresponde-

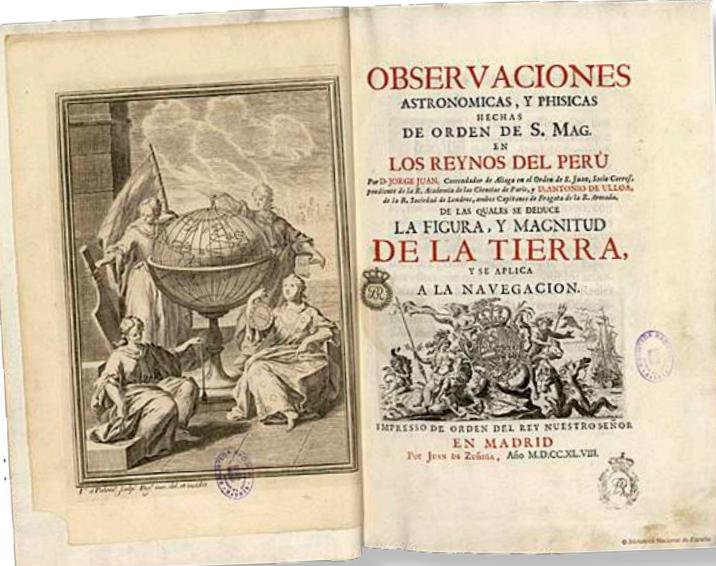


rían a la hora de su fallecimiento.

Tras una larga vida, falleció en la Isla de León (actual San Fernando) el día 5 de julio de 1795, cuando era almirante de la Real Armada, capitán general de Cádiz y director general de la Armada. Afortunadamente, no llegó a ver el desastre en que caería la Real Armada precisamente a partir del año de su fallecimiento, desastre marcado por la dimisión de un impecable ministro, Antonio María de Valdés y Fernández Bazán, provocada por el "affaire Malaspina" y, a continuación, por la nefasta política naval impuesta por Godoy.

Referencias

- <https://biblioteca{jorgejuan.csic.es/home/jorge-juan-santacilla/platino>
- <https://biblioteca{jorgejuan.csic.es/tag/antonio-de-ulloa>
- <https://www.ingeniero{jorgejuan.com/ es/n/1628/index.html>
- <https://www.cervantesvirtual.com/obras/autor/ulloa-antonio-de-1716-1795-36>
- https://es.m.wikipedia.org/wiki/Antonio_de_Ulloa
- <https://www.bne.es/es/Micrositios/Guias/12Octubre/CienciaExploracion/JorgeJuan/>
- Fundación Ignacio Larramendi: Antonio de Ulloa, José María Blanco Núñez, DOI: <http://dx.doi.org/10.18558/FIL156>
- <https://publicaciones.defensa.gob.es/ajax/index/popup/product:id/24441/>
- Folleto de la Exposición Jorge Juan en el Museo Naval de Madrid (marzo 2024)
- <https://dbe.rah.es/biografias/4351/antonio-de-ulloa-y-de-la-torre-guiral>



Frontispicio y portada de *Observaciones Astronómicas y Físicas en los reinos del Perú*, publicado en 1748 por Jorge Juan y Antonio de Ulloa. (Biblioteca Nacional de España, Madrid.)

estudió electricidad y magnetismo, aplicó el microscopio solar de reflexión al estudio de la circulación sanguínea de peces e insectos y proyectó el canal de navegación y riego de Castilla.

Este afán culto y didáctico hizo que Ulloa fuera de los primeros que contribuyeron a perfeccionar la impresión y encuadernación, en todas sus partes, haciendo venir de los países en donde se hallaban más

Michel Talagrand y las desigualdades estocásticas en sistemas de muchas dimensiones

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ DÍAZ

El matemático francés Michel Talagrand (1952, Béziers) ha sido galardonado este año con el premio Abel, uno de los máspreciados galardones en la comunidad matemática. Su área de trabajo ha sido fundamentalmente el análisis funcional y los procesos estocásticos. En esta última área sus resultados más importantes se refieren a desigualdades estocásticas (probabilísticas). En este artículo haré un bosquejo de alguna de sus más conocidas aportaciones en este campo, empezando por comentar el destacado papel que juegan las desigualdades probabilísticas en la teoría de la probabilidad.

Al ser una probabilidad básicamente una medida de la incertidumbre acerca de la ocurrencia de un determinado suceso, al igual que con otras medidas de carácter físico como volumen, peso, etc., a menudo basta una cota aproximada, inferior o superior, para satisfacer nuestras necesidades. De hecho en la teoría de la probabilidad y estadística las desigualdades desempeñan un papel muy importante. Algunas son de carácter elemental, pero no por ello menos útiles en muchos casos. Una de las más básicas es que la probabilidad de la unión de dos sucesos (o sea, que ocurra al menos uno de los sucesos) es menor o igual a la suma de las probabilidades de ambos. Algo menos evidente que esta es la que se obtiene pasando a los sucesos complementarios, que afirma que la probabilidad de la intersección de dos sucesos (que ambos ocurran) es mayor o igual a la suma de las probabilidades menos uno¹. Si por ejemplo sabemos que mañana hay una probabilidad de 60 % de que llueva y de 70 % de que el viento supere los 80 km/h,

entonces sabemos que hay al menos una probabilidad de un 30 % ($60 + 70 - 100$) de que se den ambos fenómenos².

Numerosos teoremas en probabilidad se han podido probar usando desigualdades estocásticas. Una de las más célebres es la desigualdad de Chebyshev, que establece una cota para las desviaciones grandes en valor absoluto de una variable aleatoria respecto de la media. En concreto dice que la probabilidad de que el cociente entre la desviación absoluta respecto de la media y la desviación típica de la variable³ sea mayor que un número k es menor o igual que $1/k^2$. Esta desigualdad por tanto nos permite acotar las desviaciones grandes de una variable aleatoria con tal de conocer su varianza, lo cual puede tener mucho interés. Pensemos en los extremos climáticos sin ir más lejos, aunque para este caso no es muy efectiva y suele haber mejores alternativas si se puede aproximar la función densidad de probabilidad (pdf) de los extremos⁴. En la teoría de las probabilidades uno de los resultados más importantes, la ley de los grandes números (débil), se puede demostrar fácilmente usando la desigualdad de Chebyshev. Esta ley fue probada por Jacobo Bernoulli a principios del siglo XVIII, fue el primero de los teoremas de esta clase que sirven para cimentar la interpretación frecuentista de las probabilidades⁵.

Pasemos ahora a comentar la aportación de Talagrand. El fenómeno de concentración de la medida (o probabilidad) es muy importante en cuanto el número de variables aleatorias que conforman un proceso estocástico crece. En este caso de dimensión grande del proceso nuestra intuición a menudo falla clamorosamente.

Un ejemplo típico es calcular el número mínimo de alumnos en una clase para que haya una probabilidad del 50 % o más de que al menos dos de ellos nazcan el mismo día del año. Sorprendentemente, pese a que la probabilidad de que una pareja concreta de alumnos cumpla años el mismo día es muy baja, $1/365$, basta que haya 22 alumnos en la clase para que se cumpla lo pedido. Es la dimensionalidad del problema la que hace que la probabilidad muestre estas aparentes paradojas. De hecho la Física Estadística se fundamenta en la enorme concentración de la probabilidad en sistemas de un número enorme de partículas. En concreto, si prácticamente toda la probabilidad se concentra en la capa externa del espacio probabilístico⁶.

Unos de los resultados más importantes de Talagrand es una desigualdad de concentración de la medida. Viene a decir que en un espacio probabilístico producto, o sea, que describe los valores posibles de un vector estocástico compuesto por una sucesión de variables aleatorias, el producto de la probabilidad de un subconjunto del espacio por la probabilidad de estar a una distancia del mismo al menos t (según una distancia que introdujo Talagrand), está acotada por arriba por $\exp(-t^2 / 4)$. Esta disminución exponencial con t de la cota superior indica que se vuelve rápidamente más improbable estar fuera de un entorno de cualquier región del espacio probabilístico a una distancia al menos t , implicando por tanto una alta concentración de la pdf de los estados del vector estocástico formado por variables aleatorias independientes. De esta forma se pueden acotar eficientemente las fluctuaciones de procesos estocásticos.

¹ $p(A \text{ y } B) = 1 - p((\text{no } A) \text{ o } (\text{no } B))$ en virtud de la ley de Morgan $\geq 1 - p(\text{no } A) - p(\text{no } B) = p(A) + p(B) - 1$. Si $p(A) + p(B) < 1$ la cota es trivial pues cualquier probabilidad es ≥ 0 .

² Naturalmente podemos tener más información que nos haga elevar la probabilidad de la intersección, como que exista una correlación positiva importante entre ambos sucesos, pero esta cota inferior del 30 % se cumple necesariamente (incluso con la mayor anticorrelación). Por otra parte es claro que la probabilidad de la intersección puede ser como máximo igual a la menor de las dos probabilidades, en este ejemplo 60 %.

³ Si existe, no todas las variables aleatorias tienen varianza finita, aunque sí la mayoría en las aplicaciones.

⁴ Es conocido que una variable normal estándar tiene un 5 % de probabilidad de superar en valor absoluto 1.96. Aplicando la desigualdad de Chebyshev obtenemos una cota máxima para esta probabilidad de $1/1.96^2 \sim 25\%$, no muy aquilatada. Pero la utilidad de la desigualdad de Chebyshev radica en que es válida independientemente de la pdf de la variable aleatoria.

⁵ Esta ley afirma que la media aritmética de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas converge en probabilidad a la esperanza matemática de las mismas.

⁶ Si tomamos una esfera de radio 1 en un espacio de N dimensiones, la proporción de volumen en un casquete esférico de espesor muy pequeño d crece con N . En dos dimensiones tenemos que esa proporción vale $2\pi d / \pi = 2d$; en tres dimensiones $4\pi d / (4/3\pi) = 3d$. En general, al ser V proporcional a r^N se tiene $dV/V = d \ln V = N d$.

Nuevos sistemas de satélites europeos en EUMETSAT



Imagen artística de un satélite EPS-Sterna.

En su reciente reunión de junio de 2024, el Consejo de EUMETSAT, organismo europeo para los satélites meteorológicos, ha aprobado por unanimidad abrir la votación de los estados miembros de la organización para aprobar un nuevo sistema de microsatélites: EUMETSAT Polar System – Sterna (abreviadamente EPS-Sterna) que ampliaría la actual flota de órbita terrestre baja de la organización, con una constelación de microsatélites diseñados para observar la temperatura y la humedad atmosférica con sensores de microondas.

La constelación constaría de seis micro satélites (tres parejas volando en tres planos orbitales diferentes) con 14 micro satélites

adicionales para reemplazarlos cuando lleguen al final de su vida operativa. La constelación se desplegaría en 2029 y la misión continuaría durante 13 años, hasta 2042.

Los perfiles de temperatura y humedad atmosférica proporcionados por el EPS-Sterna mejorarían de forma significativa la precisión de los modelos de predicción meteorológica globales al incrementar el número de observaciones disponibles, particularmente en las altas latitudes. Dichos datos ampliarían y complementarían las observaciones de sondeo por microondas de la flota Metop de segunda generación de EUMETSAT y los datos que se reciben de los satélites meteorológicos en órbita polar de Estados Unidos y China.

Además de los satélites geoestacionarios de Segunda y Tercera Generación, los "Meteosat", EUMETSAT gestiona el Sistema Polar Europeo, también conocido por Metop con satélites de órbita polar y observaciones coordinadas con las de los satélites polares americanos. Actualmente están en vuelo los Metop A, B y C que serán progresivamente reemplazados por los satélites del Sistema Polar de Segunda Generación, Metop-SG.

El sistema EPS-Sterna se ha asociado a los programas EPS, como figura en su propia denominación, porque ambos tienen aspectos asociados y además porque EUMETSAT ha conseguido así que Sterna sea un programa obligatorio para todos los estados miembros, al igual que el EPS, lo que facilita los procesos de aprobación nacionales que suelen ser largos y complicados por el alto coste de los nuevos programas. Se espera que el EPS-Sterna sea oficialmente aprobado por los 30 estados miembros de EUMETSAT en primavera del próximo año 2025.

La crisis climática hace que los días sean más largos, según un estudio

El derretimiento del hielo está desacelerando la rotación del planeta y podría alterar el tráfico de Internet, las transacciones financieras y el GPS

Fuente: <https://www.theguardian.com/environment/article/2024/jul/15>

La crisis climática está provocando que la duración de cada día se alargue, según muestran los análisis, a medida que el derretimiento masivo del hielo polar remodela el planeta. Como han dicho los científicos, el fenómeno es una sorprendente demostración de cómo las acciones de la humanidad están transformando la Tierra, rivalizando con los procesos naturales que han existido durante miles de millones de años.

El cambio en la duración del día es del orden de milisegundos, pero eso es suficiente para alterar potencialmente el tráfico de Internet, las transacciones finan-



Un cambio en la duración del día del orden de milisegundos es suficiente para alterar potencialmente la vida moderna. Fotografía: Bloomberg/Getty Images

cieras y la navegación GPS, todo lo cual depende de un cronometraje preciso.

La duración del día terrestre ha aumentado constantemente a lo largo del tiempo geológico debido a la resistencia gravitacional de la Luna sobre los océa-

nos y los continentes del planeta. Sin embargo, el derretimiento de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida debido al calentamiento global causado por el hombre ha estado redistribuyendo el agua almacenada en latitudes altas hacia los océanos del mundo, lo

que ha provocado que haya más agua en los mares más cercanos al ecuador. Esto hace que la Tierra ralentice su rotación y se alargue el día.

La activista que lideró una campaña popular para salvar la laguna de agua salada más grande de Europa gana el "Nobel Verde"

La campaña de Teresa Vicente hizo que casi 640.000 personas respaldaran una propuesta de ley que otorga protección legal al Mar Menor

Fuente: Euronews Green, 29/04/2024

El Fondo Mundial para la Naturaleza considera que el Mar Menor de España es la laguna de agua salada más grande de Europa. Es el hogar de varias especies de peces, caballitos de mar y la anguila europea en peligro de extinción. La laguna, que cubre 135 kilómetros cuadrados, está separada del mar abierto por una delgada franja de tierra de 22 kilómetros que es un popular lugar de vacaciones lleno de edificios.

Mientras crecía, Teresa Vicente pasó largos días en el Mar Menor nadando en aguas transparentes, sosteniendo caballitos de mar en sus manos y haciendo fiestas bajo el cielo iluminado por la luna. Allí afuera, como ha recordado, el tiempo se detenía. Pero a lo largo de las décadas, la contaminación crónica provocada por la minería, el desarrollo y la escorrentía agrícola convirtieron las aguas cristalinas de la laguna de agua salada en un cementerio. Una muerte masiva de peces en 2019 impulsó a la profesora de Filosofía del Derecho de la Universidad de Murcia a tomar medidas. Durante los siguientes años, Vicente, que ahora tiene 61 años, lideró una campaña de base para salvar del colapso la joya ecológica de la región. Sus esfuerzos ayudaron a que se aprobara una nueva ley, promulgada en 2022, que otorga a la laguna



el derecho legal a la conservación, protección y reparación de daños.

¿Qué supone otorgar personalidad a la laguna del Mar Menor? Un total de 1600 kilómetros cuadrados de la laguna y la cercana costa mediterránea estarán ahora representados legalmente por un grupo de cuidadores, integrado por funcionarios locales, ciudadanos y científicos que trabajan en la zona. El grupo de base que impulsó la medida espera que se mejore así la capacidad de defender la laguna de una mayor degradación. La ley codifica el derecho de la laguna "a existir como eco-

sistema y evolucionar naturalmente" y reconoce su derecho a la protección, conservación y restauración.

Al recibir el premio Teresa Vicente declaró que "significa un reconocimiento internacional de que estamos ante una nueva etapa de la humanidad". Una etapa donde "el ser humano comprende que es parte de la naturaleza. Y este reconocimiento significa que no se trata de una conquista local o nacional, sino europea e internacional". "Al Mar Menor le llaman la laguna de la magia", añadió, "y todos nosotros en este viaje hemos visto mucha magia".

AEMET MEDiNA, Premio Ciencia en Acción 2024

Fuente: AEMET

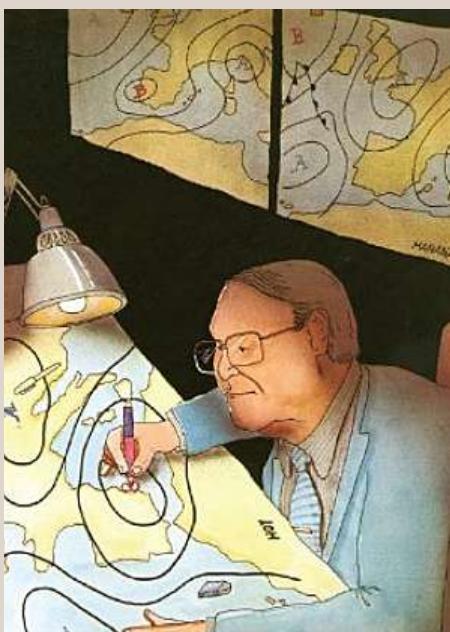
El programa de divulgación de AEMET "MEDiNA" ha sido galardonado con el Premio de Ciencia en Acción de la Red INNPULSO al mejor material de divulgación científica en el ámbito digital. Se trata de un reconocimiento que pone en valor su propósito de acercar la meteorología en sus diferentes aspectos al gran público.

MEDiNA es el acrónico de *Meteorología, Educación y Divulgación* en el ámbito nacional y debe su nombre a Mariano Medina (1922-1994), meteorólogo del Estado, socio de la AME y más conocido por ser el pri-

mer "Hombre del tiempo" de la televisión española.



Comenzó en 2019 y está coordinado por Marta Ferri Llorens. Desde entonces, gracias a la labor del personal de AEMET de servicios centrales y de las delegaciones territoriales, se han organizado más de trescientas visitas de centros educativos y otros colectivos. Además fomentar la divulgación a través de las redes sociales, el pasado año publicó una Unidad Didáctica con el fin de fomentar el buen uso de la terminología meteorológica en las aulas.



IN MEMORIAM

Hasta siempre, Luis Fernández Sánchez

El pasado 12 de febrero nos despertamos con la triste noticia del fallecimiento de nuestro compañero Luis Fernández Sánchez. Nacido en 1949, ingresó en el Cuerpo de Observadores de Meteorología en 1967. En 1989 pasó al Cuerpo de Ayudantes de Meteorología y posteriormente, en 1993, al de Gestión de Sistemas e Informática de la Administración del Estado en el que permaneció hasta su jubilación en 2011.

CÉSAR RODRÍGUEZ BALLESTEROS, JOSÉ ANTONIO LÓPEZ DÍAZ



Luis Fernández, en
el homenaje por su
jubilación en 2011

Su primer y breve destino tras su ingreso en 1967 fue el Centro de Análisis y Predicción, del que pasaría al Centro de Cálculo, en tareas relacionadas con la informática. En 1986 recaló en la Sección de Banco de Datos de Climatología¹, en la que desarrolló el resto de su carrera profesional, ocupando diversos puestos: programador de primera hasta 1988, analista funcional hasta 1991, analista de sistemas hasta 1997, jefe de sección hasta 2007 y jefe de servicio hasta su jubilación en 2011.

Profesionalmente, Luis fue un trabajador competente como el que más, sumamente cordial en el trato, del que nunca surgió una palabra más alta que otra y al que avalan los resultados, ya que

durante su jefatura, el Banco Nacional de Datos Climatológicos experimentó una gran transformación, pasando del Fujitsu y los JCL a Adabas y Natural primero y posteriormente, hacia el año 2006, al actual ORACLE.

Si la faceta profesional de Luis ha sido sobresaliente, creemos que aún destacó más por su lado humano, como se pone de manifiesto en las breves reseñas que siguen, escritas por compañeros que tuvimos la gran suerte de trabajar con él y conocerle.

De izquierda a derecha: Celia Flores Herráez, César Rodríguez Ballesteros, Pilar García Vega, Ana Isabel Ambrona Rodríguez, Luis Fernández Sánchez, Juan Sánchez Jiménez, Carmen Huerta Rodríguez y Antonio Gómez Romero.

Reseñas (ordenadas alfabéticamente)

Ana Isabel Ambrona Rodríguez: "Compartí con Luis bastante tiempo en la Aemet. Al principio como compañera y más tarde como subordinada suya. No tuve ningún problema en el aspecto laboral, con él todo se resolvía de la forma más cordial posible. Pero lo que más me impresionó de su carácter fue la extremada espiritualidad que transmitía en cualquier circunstancia, tanto a la hora de tratar los conflictos como por su manera de entender la vida. Siempre le recordaré como una persona muy entrañable. Hasta siempre Luis."

Carlos Bautista Fernández: "Yo sí tuve la suerte de trabajar con él desde 1972, que pasé al Centro de Cálculo has-

¹ La actual Agencia Estatal de Meteorología, AEMET, recoge el legado de las instituciones que la precedieron y mantiene y actualiza diariamente el Banco Nacional de Datos Climatológicos, en el que se almacenan las series históricas de las observaciones climatológicas atmosféricas realizadas en España, algunas de más de 150 años de antigüedad. El estudio de tendencias, extremos y variabilidad climática se realiza a partir de estas observaciones tras aplicar controles de calidad y técnicas estadísticas que detectan y corrigen las posibles faltas de homogeneidad y permiten el llenado de las lagunas existentes.

ta que me marché de la Meteo en 2002. Mientras, tuvimos la suerte de conocer a su familia y sobre todo a Almudena, que llegó a ser uña y carne con mi hija, aunque la mejor época juntos fue con la B.D. Climatológica, ya que tuvimos la oportunidad de viajar juntos y hablar de cualquier cosa, o mejor dicho, de todo.

Luisito, te echo de menos.

HASTA SIEMPRE."

Roser Botey Fullat: "Trabajando en diferentes departamentos de AEMET, conocí a Luis cuando estaba en la Sección del Banco de Datos. Era inteligente, trabajador, prudente y generoso. La creación de nuevas aplicaciones requería la interacción con el Banco de Datos. Luis estaba dispuesto a innovar y el Banco de Datos no podía estar en mejores manos, resolvía problemas y todo te lo hacía más fácil. Su presencia transmitía paz y cercanía."

Andrés Chazarra Bernabé: "Coincidí con Luis Fernández en el entonces Servicio de Climatología desde mi ingreso en 1993 hasta su jubilación en 2011, y puedo decir que era una maravillosa persona. Daba gusto trabajar con él, ya que era muy eficiente en sus tareas, pero sobre todo destacaba la gran humanidad con la que hacía todo. Recuerdo con especial cariño las entrañables conversaciones que teníamos a menudo mientras comíamos un menú en el comedor del Meteorológico, en las que raramente hablábamos del trabajo. Te echaremos de menos, Luis."

Raúl Corredor Asenjo: "Recuerdo perfectamente el acto de jubilación de Luis, en el que dio gracias a Dios por su trabajo y por los compañeros que había

tenido a lo largo de tantos años. Eso le define, una persona buena, trabajadora y agradecida, de la que tanto hemos aprendido los que pudimos conocerle y trabajar a su lado. Un ejemplo a seguir en el INM y en AEMET. D.E.P."

Celia Flores Herráez: "Durante el tiempo que trabajé con Luis en el Banco Nacional de Datos Climatológicos fue para mí un ejemplo de profesionalidad, responsabilidad y humildad, un compañero y amigo de los que dejan huella, imposible de olvidar."

Antonio Gamo Baeza: "a Luis, un gran ausente. Buen profesional. Durante su carrera profesional superó los diferentes lenguajes, programas y modelos de ordenadores, hasta llegar a dominar Bancos de Datos, hoy de amplia disponibilidad. Su calidad humana, siempre cordial, favorecía la comunicación mutua, llegando a formar un buen equipo de trabajo, que hacía posible la divulgación conjunta y puntual de datos, base para el análisis del comportamiento y evolución del clima."

Francisco Javier Hinojar García: "Tuve la fortuna de trabajar con Luis durante varios años en la Sección de Banco de Datos. De esa época, solo puedo recordar cosas buenas de él: gran profesional, buen compañero y mejor persona. Luis era muy generoso, siempre estaba dispuesto a ayudar, a escuchar, a aconsejar y siempre con la sonrisa en la boca. Te echaremos de menos y muchas gracias por todo, amigo."

José Antonio López Díaz: "En su faceta profesional Luis fue todo un ejemplo de profesionalidad, siempre eficiente y laborioso. Estuvimos en el mismo servicio (lue-

go área) en Climatología desde 1987 hasta su jubilación. Con los años fui trabajando con él una entrañable amistad, siempre podías entablar con él una conversación, afectuoso, bondadoso y con sentido del humor. Hasta siempre."

Asunción Pastor: "Luis era una persona inteligente, eficiente y honrada. Pero lo que más echaré de menos es su humor, empatía y saber estar. Hay una cita que dice que la cima de la inteligencia es la bondad. Hasta siempre"

Pablo del Río: "Conocí a Luis en el año 1987, cuando era programador en el Banco de Datos. Al principio era muy reservado pero enseguida congeniamos y comencé a acompañarle a tomar café en la pausa de media mañana junto a Carlos Bautista. Aprendí mucho de Luis, no solamente en el plano profesional sino en el aspecto personal. Puedo decir sin ser exagerado que aparte de un gran profesional, ha sido la mejor persona que he encontrado en mi vida. Nunca le oí hablar mal de nadie (aunque a veces tenía motivos) y siempre estuvo dispuesto a apoyarme cuando lo necesité. Nunca lo olvidaré."

Ángel Rivera: "Desde que conocí a Luis me llamó la atención su sencillez, su bonhomía y su profunda humildad. Y aunque nuestras respectivas áreas de trabajo eran distintas, siempre trascendía su trabajo concienzudo, serio y eficientemente realizado. La enfermedad no se lo puso fácil, pero siempre, a través de toda la adversidad, le seguían acompañando esas características suyas a las que antes hacía referencia. Y sobre todo su profunda fe y confianza en Dios, y su completa apertura amorosa hacia todos los que le rodeaban. Descanse en paz."

César Rodríguez Ballesteros: "Iba a decir que tuve la suerte de trabajar con Luis durante varios años, pero no fue suerte, fue todo un privilegio, porque sin lugar a dudas Luis fue una de las mejores personas que he conocido en mi vida, de la que aprendí mucho en todos los sentidos y al que siempre recordaré con mucho cariño. Muchas gracias Luis."



De izquierda a derecha: Celia Flores Herráez, César Rodríguez Ballesteros, Pilar García Vega, Ana Isabel Ambrona Rodríguez, Luis Fernández Sánchez, Juan Sánchez Jiménez, Carmen Huerta Rodríguez y Antonio Gómez Romero.

Carmelo Saldaña Cimorra

AMADEO URIEL GONZÁLEZ

El pasado 10 de mayo, a los 96 años, nos dejaba Carmelo Saldaña Cimorra, funcionario jubilado del Cuerpo de Observadores de Meteorología, cuya vida estuvo estrechamente ligada al observatorio de Daroca (Zaragoza) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).



Carmelo Saldaña tomando notas junto al tambor del pluviógrafo en 1968 (fotografía cedida por el observatorio de Daroca perteneciente a AEMET)

Los que fuimos compañeros, amigos y familiares recibimos con profundo pesar la noticia de su fallecimiento. En las redes sociales relacionadas con el mundillo de la meteorología, amigos, antiguos compañeros y la AEMET, tanto a nivel nacional como de Aragón, le rindieron un emotivo e improvisado homenaje.

Carmelo, en lo personal, era una persona formidable, bondadosa y con gran capacidad para hacer amigos, siempre dispuesto para ayudar y echar una mano en cualquier gestión, aun estando ya jubilado.

En lo profesional su vida estuvo íntimamente ligada al observatorio de Daroca donde empezó a hacer observaciones

con 16 años el 1 de julio de 1944, y salvo en contadas ocasiones (servicio militar y curso de formación del Cuerpo de Observadores de Meteorología en Madrid), siempre prestó servicio en el citado observatorio hasta su jubilación el 1 de diciembre de 1990.

Fueron años duros y heroicos, con pocos medios, a veces empalmando largos períodos sin vacaciones y siempre al pie del cañón, enviando los partes con regularidad y manteniendo sin lagunas la serie de observación.

Son muchas las anécdotas de Carmelo y del mencionado observatorio que merecen ser conocidas: cómo se organizaba Carmelo con el telegrafista de Daroca para enviar los partes en los

años cincuenta, qué hacer para medir la precipitación cuando se congelaba el pluviómetro, cómo se le pegaron las manos al mismo cuando el 17 de diciembre de 1963 anotó una mínima de -22.4 °C (la más baja de la segunda mitad del siglo XX)... Para conocerlas y disfrutar de la historia del observatorio recomiendo la lectura de dos libros singulares *100 años de observaciones meteorológicas en Daroca* publicado por AEMET en 2009 y *El triángulo de hielo* de Vicente Aupí publicado en 2013.

Su esfuerzo fue reconocido, en parte, cuando el 14 de noviembre de 1986 se le impone la Cruz de la Orden del Mérito Civil, concedida por Su Majestad el Rey de España el 4 de enero de ese mismo año.



El Delegado provincial del Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones de Zaragoza (izquierda) imponiendo la Cruz de la Orden del Mérito Civil a Carmelo Saldaña el 14 de noviembre de 1986 (fotografía cedida por el observatorio de Daroca de AEMET)

En octubre de 2009 se cumplía el centenario del inicio de las observaciones meteorológicas en Daroca y dada la calidad y continuidad de las mismas, así como el hecho de que el entorno del observatorio apenas había variado sensiblemente en ese tiempo, llevaron a que la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en mayo de 2017, concediera a la estación meteorológica de Daroca el reconocimiento como **estación de observación a largo plazo** de la OMM. Todos los que conocíamos la historia del observatorio teníamos muy claro que detrás de este logro de AEMET habían estado la entrega y el trabajo de Carmelo, sin hacer de menos a todos los profesionales y colaboradores que por allí pasaron, destacando entre ellos la actual jefa del observatorio, Yolanda Jiménez Sánchez, digna sucesora y tan entregada al observatorio como él.

Se dice que las desgracias nunca vienen solas y veinte días después su familia afrontaba otra triste noticia, el fallecimiento de su hijo José Antonio. Desde estas páginas queremos hacer llegar un fuerte abrazo a sus familiares, amigos y compañeros.

Carmelo siempre estará con los que lo conocimos. Al pasear por Daroca y mirar a la muralla, siempre pensaremos en él.

No quiero acabar esta nota sin agradecer a Vicente Aupí y a Yolanda Jiménez Sánchez su inestimable ayuda para poder hacerla, cediendo información, comentarios y material gráfico.

Referencias

- *El Triángulo de Hielo*. Vicente Aupí. Editorial Dobleuve Comunicación. 2013
- *100 años de observaciones meteorológicas en Daroca*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2009.



La actual jefa del observatorio de Daroca, Yolanda Jiménez, y Carmelo Saldaña delante de la garita del observatorio en 2013 (fotografía cedida por Vicente Aupí)

LIBROS

Our Fragile Moment: how lessons from the Earth's past can help us survive the climate crisis (Nuestro frágil momento: como las lecciones del pasado de la Tierra pueden ayudarnos a sobrevivir la crisis climática)

MICHAEL MANN, 2023

EDITORIAL: SCRIBE UK, MELBOURNE, LONDRES, 306 PÁGINAS, PRECIO: 19,85 €,
ISBN-10: 1915590515, ISBN-13: 978-1915590510

Como ya hemos comentado en una anterior reseña del mismo autor, Michael E. Mann es un climatólogo, y actualmente profesor asociado en la Universidad Estatal de Pensilvania, especializado en reconstrucciones del paleoclima de los dos últimos milenios y que adquirió mucha notoriedad mediática por el controvertido gráfico del "palo de hockey" que se publicó en 2001 en el tercer informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Mann es un científico muy activo en comunicar y divulgar su campo de investigación, en particular ha desarrollado un especial interés por conocer los mecanismos de comunicación de los que se valen ciertos sectores, gobiernos, grupos de intereses e individuos para neutralizar las conclusiones e informaciones relativas al cambio climático – incluyendo su comprensión, sus causas y las formas de luchar contra él– procedentes de la ciencia. En este libro, sin embargo, el autor se centra en paleoclimatología y nos muestra como en los últimos cientos de millones de años la Tierra ha experimentado grandes cambios climáticos –siendo fría como una bola de nieve, cálida como un trópico, húmeda como una selva tropical y seca como un desierto- que nos permitirán aprender y buscar análogos que nos sirvan para afrontar el incierto clima que nos depara el futuro.

El libro empieza desde la formación de la Tierra 4500 Ma (hace 4500 millones de años) con un Sol joven y muy débil y la paradoja que describe la aparente contradicción entre las observaciones que muestran agua líquida en la historia temprana de la Tierra y las estimaciones astrofísicas que apuntan a que el Sol brillaba solo al 70 % de su intensidad actual durante esa época. Esta debilidad inicial de la radiación solar y su aumento paulatino con el tiempo se vio compensada por un efecto invernadero cambiante que permitió unos rangos de temperaturas favorables. La Tierra también experimentó a lo largo de su evolución glaciaciones generalizadas o superglaciaciones durante las cuales la totalidad de los continentes y océanos de la Tierra quedaron cubiertos por una gruesa capa de hielo con

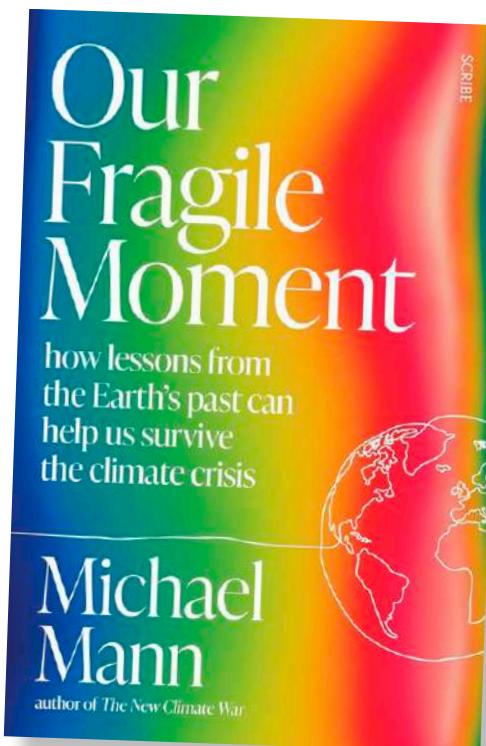
temperaturas muy por debajo de los 0 °C. Con esta situación la Tierra surcaría entonces el espacio como una gran bola blanca de hielo, de ahí su evocador nombre de Tierra bola de nieve. Mann discute ampliamente, tanto estos casos extremos como otros que se dieron en eras subsiguientes, el esencial papel de las retroalimentaciones, que han sido determinantes en establecer la temperatura de la Tierra, y su resiliencia a los cambios.

volcánicas (denominadas *traps* o escaleras) que forman una gran provincia ígnea en Siberia, Rusia.

Nos describe el autor en uno de los capítulos la quinta (y última por ahora) gran extinción que tuvo lugar aproximadamente 66 Ma y que marca la transición entre los períodos cretácico y paleógeno (K-Pg). Se caracteriza esta transición por estratos con una alta concentración de iridio, metal que se encuentra

en concentraciones muy bajas en la corteza terrestre y relativamente altas en los asteroides extraplanetarios. Esta característica que marca la transición K-Pg llevó al físico y premio Nobel Luis Álvarez y a su hijo el geólogo Walter Álvarez a proponer en 1980 la hipótesis –conocida como hipótesis Álvarez– del impacto de un asteroide como causa más probable de esta extinción que entre otras especies terminó con los dinosaurios terrestres. La teoría necesitó un tiempo para aceptarse ampliamente en la comunidad geológica, incluso después de que se identificase diez años después el lugar del impacto del meteorito –denominado Chicxulub– en la costa de Yucatán, México. La energía estimada asociada al impacto del meteorito, que produjo un cráter de aproximadamente 100 millas, se ha comparado con una horquilla de entre 100 y 10 000 millones de bombas como la de Hiroshima. El impacto del meteorito lanzó a su vez a la atmósfera una carga de polvo, hollín y otros materiales que habría permanecido en ella durante años produciendo una situación similar a la descrita como un invierno nuclear asociado a un conflicto nuclear generalizado. Como en todas las extinciones masivas, el autor nos recuerda que, como consecuencia del impacto del Chicxulub, hubo ganadores y perdedores, siendo los dinosaurios terrestres los perdedores del nicho ecológico que poblaban, mientras que los pequeños mamíferos resultaron ser los ganadores y que eventualmente evolucionarían hasta la amplia variedad de mamíferos de la cual descendemos.

Mann dedica otro capítulo al denominado Máximo Térmico del Paleoceno-Eoceno (PETM,



Analiza con bastante detalle la extinción masiva del Pérmico-Triásico (PT), llamada también de manera informal la Gran Mortandad, que tuvo lugar aproximadamente 250 Ma y que es considerada como la mayor extinción ocurrida en la historia de la Tierra. Este evento posee algunos elementos de analogía con el actual cambio climático tal como el calentamiento y la acidificación oceánica y otros elementos diferenciales como la anoxia atmosférica y la bomba fétida global de sulfuro de hidrógeno. Al parecer, erupciones volcánicas masivas están detrás de este evento como lo atestigua la inmensa acumulación de rocas

de sus siglas en inglés) que fue un brusco cambio climático que marcó el fin del Paleoceno y el inicio del Eoceno, 55 Ma y 10 millones de años después de la transición K-Pg. Se trata de uno de los períodos de cambio climático más significativos de la era Cenozoica, que alteró la circulación oceánica y la atmosférica, provocando la extinción de multitud de géneros de foraminíferos bentónicos, y causando grandes cambios en los mamíferos terrestres que marcaron la aparición de las actuales familias. El PETM se caracterizó, como otros episodios de calentamiento planetario rápido, por la gran cantidad de carbono en forma de gases de efecto invernadero emitido a la atmósfera en un corto periodo de tiempo. El PETM puede quizás considerarse como el mejor análogo natural del calentamiento actual causado por el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, aunque la emisión de carbono en el PETM es fundamentalmente de origen volcánico. El calentamiento que tuvo lugar en el PETM fue de aproximadamente 5 °C si bien se partía de una temperatura que era 10 °C más alta que la actual. Aunque el aumento de la concentración de CO₂ tuvo lugar en miles de años y el calentamiento principal se produjo en unos 10 000 años – lo que nos da un ritmo de aproximadamente 0.05 °C por siglo (a comparar con el calentamiento actual de 1 °C por siglo) – las temperaturas elevadas persistieron al menos unos 100 000 años. Parece que durante el PETM no hubo liberación significativa a la atmósfera de metano procedente de los clatratos localizados en el océano profundo. Este hecho constituye en sí una buena noticia, dado el nivel de calentamiento que hubo entonces, ya que nos alejaría de traspasar en el actual cambio climático el umbral de temperaturas para la tan temida "bomba de metano".

Desde el óptimo climático del Eoceno temprano que tuvo lugar entre 53 y 50 Ma, y que fue posterior a la irrupción del PETM, hubo una tendencia general al enfriamiento, como consecuencia de una caída gradual de los niveles de dióxido de carbono atmosférico a lo largo de millones de años, debido a la tectónico-

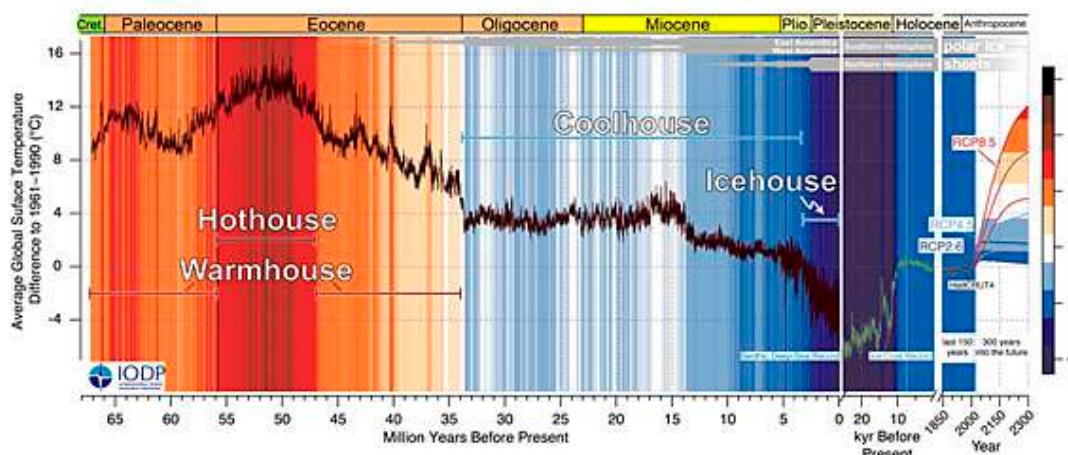
ca de placas y, especialmente, a la colisión del subcontinente indio con Eurasia. Esa colisión creó el espectacular relieve del Himalaya, un fortalecimiento de los monzones asiáticos, un aumento de las precipitaciones, una mayor erosión de las rocas de silicato y una reducción constante del dióxido de carbono atmosférico y el consiguiente enfriamiento de la Tierra. El mayor beneficiario de este paulatino enfriamiento fue el hielo, que tuvo la oportunidad de resurgir después de una pausa muy larga. Poco a poco, el planeta comenzó a parecerse más al planeta en el que vivimos hoy, proporcionando posibles analogías críticas para el clima que podríamos tener.

Se dedica un capítulo a la era glacial Cenozoica cuando aparecieron los mantos de hielo. El Plioceno medio (3 Ma) puede parecer un análogo muy adecuado a la situación actual con un nivel de CO₂ de unas 400 ppm similar al actual, pero con una temperatura global al menos 1 °C más caliente. Según algunos datos, el nivel del mar sería más de 30 metros más alto que el actual. Esto significa que no habría manto de hielo en Groenlandia, que no existiría la capa de hielo de la Antártida Occidental y que faltaría una parte de la capa de hielo de la Antártida Oriental. Estos hechos se citan a veces para deducir que los niveles actuales de CO₂, si simplemente se mantienen donde actualmente están, nos darían un calentamiento adicional de 1 a 1.5 °C y un aumento del nivel del mar de 30 metros. Sin embargo, como las pruebas sedimentarias no tienen en cuenta efectos geológicos como el rebote isostático, el aumento real del nivel del mar podría haber sido de unos diez metros con respecto a la actualidad. Además, las comparaciones con el Plioceno medio ignoran el fenómeno físico de la histéresis. El hecho de que el manto de Groenlandia no existiera cuando los niveles de CO₂ se redujeron lentamente a 400 ppm en el transcurso de la reducción cenozoica de CO₂ no significa que el sistema climático esté condenado a alcanzar niveles similares de temperatura cuando aumenta el CO₂ provocado por la acción humana y existe previamente el

manto de Groenlandia. Una vez que se tiene la capa de hielo, como sucede en la actualidad con el manto de Groenlandia, este manto es resistente hasta cierto punto a fundirse, siendo las temperaturas globales más frías de lo que serían de otro modo. Es importante notar que el papel de la histéresis es fundamentalmente de amortiguación. Es concebible que un calentamiento de aproximadamente 0.5 °C sea suficiente para llevar al manto de Groenlandia a un punto de no retorno. El hecho de que ya se esté produciendo un deshielo considerable en Groenlandia es una advertencia a considerar muy seriamente.

Mann analiza en otro capítulo las proyecciones de cambio climático basadas en las simulaciones climáticas tal y como se recogen en los informes del IPCC, discutiendo las limitaciones de los modelos, los posibles puntos de inflexión (o *tipping points*), la aparición de nuevos procesos relevantes, las retroalimentaciones en el sistema climático, etc. y todo ello comparado con eventos pasados que se han discutido en profundidad en el texto y que presentan más o menos analogías con la situación climática actual.

El autor concluye respondiendo a la pregunta que planea por todo el libro. ¿Se mueve nuestro clima actual al borde de un colapso causado por una espiral de calentamiento descontrolado impulsado por el metano o, por el contrario, será nuestro clima suficientemente resiliente como para tolerar la quema continua de combustibles fósiles con unas consecuencias mínimas? La respuesta, como lo expresó hace décadas el gran climatólogo Stephen Schneider, probablemente no será ninguna de las dos posiciones extremas. Incluso en un escenario sin cambios (*business as usual*) en el que no lleguen a aplicarse las políticas climáticas acordadas, es improbable que el calentamiento del planeta supere los 3 °C y no habrá "bombas de metano", ni un calentamiento descontrolado. Sin embargo, con ese nivel de calentamiento, podemos esperar mucho sufrimiento, extinción de especies, pérdida de vidas, desestabilización de las infraestructuras ➔



Tendencias pasadas y futuras de la temperatura media global que abarcan los últimos 67 millones de años (fuente: Westerhold et al. 2020, reproducido en el libro).

→ sociales, caos y conflictos. Y, como dice el autor, éste no es un mundo en el que queramos vivir y dejar a nuestros hijos y nietos. Aunque es un futuro posible, no es un futuro predestinado. Si basándonos en las medidas que ya se han tomado, descarbonizamos la maquinaria de nuestra civilización en los próximos años y dé-

cadas, termina el autor afirmando que podríamos preservar nuestro frágil momento como indica el título del libro.

En definitiva, se trata de una apasionante excursión por la historia del clima de la Tierra prestando particular atención a los eventos pasados que permitan establecer analogías

con el actual cambio climático y contribuyan a desvelar nuestro clima futuro, de forma que se complemente con la visión de las proyecciones climáticas basada exclusivamente en las simulaciones con modelos climáticos.

ERNESTO RODRÍGUEZ CAMINO

Los cielos retratados. Viaje a través del tiempo y el clima en la pintura

JOSÉ MIGUEL VIÑAS CRÍTICA. 2024, 304 PÁGINAS, 22,70 EUROS. ISBN: 9788491996491

Estamos ante un libro magníficamente editado por Crítica, donde no se ha descuriado ningún detalle. Hojearlo es un placer. Conviene subrayar el papel primordial que juega una edición cuidada ya que, lamentablemente, se suele descuidar y no valorar en su justa medida. El diseño de la portada y la contraportada – delicada y atractiva gama de colores fríos- le fue sugerido por la editorial al autor que lo aceptó por ser una buena elección. Se basa en un cuadro de un paisajista francés de principios del siglo XX muy influido por los impresionistas que se encuentra en el Museo Thyssen-Bornemisza de Madrid. En cuanto al título – sintético y esclarecedor – es una sutil elección porque eleva a la categoría de retrato a la pintura de los cielos (pintura de paisaje).

El autor, según puede leerse en la solapa del libro, es José Miguel Viñas (Madrid, 1969). Es físico del aire y trabaja como meteorólogo de Meteored; con una larga trayectoria como comunicador y divulgador de ciencias atmosféricas a través de medios de comunicación, y de libros, artículos, conferencias, etc. Desde hace más de 20 años es colaborador del programa de fin de semana *No es un día cualquiera*, dirigido y presentado por Pepa Fernández en Radio Nacional de España (RNE) y, desde 2020, colaborador igualmente en el programa *Agropopular* dirigido por César Lumbreras en la cadena COPE. Es uno de los socios fundadores de ACOMET (Asociación de Comunicadores de Meteorología) y pertenece a la actual Junta Directiva de la Asociación Meteorológica Española (AME).

El libro, un original tratado de arte, se ha estructurado en: prefacio, introducción. 18 capítulos de títulos tan sugestivos como: "Unas pinceladas sobre las nubes", "Las nubes de algodón, un motivo recurrente", "Pareidolias nubosas camufladas", "¡Hágase la luz!", "Las atmósferas azuladas de Patinir", "Los paisajes congelados europeos", "Blanco sobre blanco,

"la nieve en los lienzos", "Platillos volantes en el Quattrocento", "Los estudios de nubes de Howard y Constable", "Cielos velazqueños en clave climática", "Goya, retratista de cumulonimbos", "Tormentas para enmarcar", "Cuadros en los que sopla el viento", "Las nieblas de Friedrich", "Los cielos encendidos de Turner", "Un grito en el cielo", "La mirada a los impresionistas", "Los grandiosos celajes norteamerica-

que esta obra establece un lugar de encuentro entre la ciencia divulgativa, asequible para un público general y el arte. En cierta forma, la frontera artificial entre las ciencias y las humanidades tiende a diluirse.

La introducción, de obligatoria lectura, es muy instructiva porque nos permite asistir al lento proceso de gestación de este libro. Mención a las incesantes visitas al Museo del Prado y al Thyssen-Bornemisza, visitas virtuales, asistencia a exposiciones temporales, ... Un hecho clave es que en 1970, Hans Neuberger, meteorólogo y profesor de la Pennsylvania State University, publicó un artículo titulado "Climate in Art" basado en la cantidad de nubes que aparecían en los cielos de cuadros pintados por distintos artistas entre 1400 y 1967.

Sucintamente, el capítulo primero –básico para la comunidad del arte y que facilitara la lectura– introduce los diez géneros básicos de nubes con una descripción de sus características. La primera clasificación de nubes se debe al farmacéutico británico Luke Howard que adaptó la clasificación taxonómica de Linneo de los seres a las nubes y que puede ser considerado como pintor puesto que dibujó y pintó acuarelas de las nubes. Viñas buscó los prototipos de nubes entre una selección de cuadros. La mayoría de las nubes que aparecen en los cuadros son del género cúmulo (Cu), hecho que no debe de resultarnos extraño porque, especialmente en épocas pasadas, los pintores salían en primavera, época de gran inestabilidad atmosférica. Curiosamente, los Cu son el tipo de nubes que dibujamos cuando somos niños. Se pasa revista a los Cu *humilis*, Cu *mediocris*, Cu *congestus* y Cb, reconocidos por distintos pintores de épocas diversas como Boudin, Martin Rico, Monet, Nolde, Magritte ... Para los Cu *congestus* se seleccionó, entre otros, al pintor holandés Ruisdael, que quería representar con fidelidad las nubes. Respecto al caso de los Cu y Cb, mención al paisajista inglés John Constable (1776-1837)



nos"; epílogo, notas, lecturas recomendadas, listado de pinturas e índice de pintores. En ciertos capítulos se han introducido pequeños cuadros explicativos.

Como recogió Manuel P. Villatoro en su entrevista a Viñas (ABC, 25 de junio 2024), "los cielos retratados por los artistas pretérmitos son mucho más que simples telones de fondo, son el testimonio de sus vivencias atmosféricas y el resultado de horas y horas de investigación". Al ser la segunda afición del autor la historia del arte, se podría afirmar

que tenía la capacidad de captar el dinamismo de las nubes. Hasta 2012 estuvo colgado en el Museo Thyssen, el lienzo de gran tamaño "La esclusa", actualmente en una colección privada. Aquellos que tuvieron la suerte de contemplarlo, no creo que olviden esa sensación de movimiento de las nubes y del agua.

Reflexionando y analizando la manera de mirar un cuadro, los espectadores avezados se detienen en el tema, la composición, la disposición de los personajes, la paleta de colores empleada, el tipo de pincelada, el soporte, la técnica, etc. En este caso, Viñas adopta un enfoque complementario porque se va a detener en la captación de los elementos atmosféricos: las nubes, el viento, la lluvia, la nieve, ..., la época del año, los períodos de la historia en el que fueron pintados: por ejemplo, la Pequeña Edad de Hielo –periodo frío que abarcó desde comienzos del siglo XIV hasta mediados del siglo XIX-, la influencia de la erupción de los volcanes (como la del Tambora), etc. Este tipo de información será de utilidad para los artistas en general.

En esos paseos por el Prado, provisto de cuaderno de notas, captó la atención del autor una piedad, fechada hacia 1458, de van der Weyden, tabla del gótico, en el que, sin embargo, las nubes son sorprendentemente realistas. Por otra parte, Viñas nos hace recapacitar en que no todos los elementos de un cuadro son creíbles, pueden obedecer a algunas licencias que se toman los pintores. Y de hecho, el pintor plasma las nubes o los fenómenos atmosféricos que ha contemplado tantas veces y que puede reproducir en cuadros de otras épocas.

Entre los muchos paisajes invernales, destaca Pieter Brueghel de Oude, llamado el Viejo (siglo XVI), que elevó el invierno a categoría pictórica. Se le considera el primer pintor occidental que se interesó por los paisajes en sí mismos, en lugar de tratarlos como meros telones de fondo de temas religiosos. Hubo un año clave, 1565, en el que el invierno fue muy crudo. Sus paisajes de ese invierno de 1565, estaban cubiertos por el hielo. La tabla más icónica es *Los cazadores en la nieve*, donde al fondo, incorpora unas montañas porque en un viaje a Italia, atravesó los Alpes. Fue muy influyente, de hecho, la imagen que tenemos de una navidad invernal, fue así a partir de él. En *La adoración de los Reyes*, en el arte occidental, aparece la acción de la nevada.

La nieve llama la atención de los impresionistas como Camille Pissarro, por sugerencia de Claude Monet. Viñas ha documentado los análisis con datos de Météo-France. A los pocos meses estalló la guerra franco-prusiana, huyen a Londres. Quedan maravillados por la niebla. 30 años después Monet volvió, y en

Los nenúfares, se encuentra gran parecido con estos cuadros pintados en Londres. Por otra parte, esa captación de los momentos únicos de los impresionistas está presente en Alfred Sisley con las inundaciones de Port Marly en 1872 y otras en marzo de 1876. La última de la serie se encuentra en el Museo Thyssen.

En el caso de la niebla, se detiene en el pintor romántico alemán Caspar David Friedrich, no demasiado conocido en España, del que se conmemora el 250 aniversario de su nacimiento. Era un observador formidable para captar los detalles atmosféricos, además de estar impregnado por un cierto misticismo. Ejemplos como *El caminante sobre el mar de nubes* (1827).

El viento, al principio, un tema mitológico como en *El nacimiento de Venus*. Posteriormente, el viento se representaba por árboles inclinados. En un cuadrito explicativo introduce el concepto de ráfaga o racha. Sorprendente por su maestría es el cuadro *Juana la Loca ante el sepulcro de su esposo, Felipe el Hermoso* (Boceto) cuyo autor fue Juan de Padilla, que fue director del Prado. El efecto del viento sobre el velo de Doña Juana, el titilar de las velas, ... Lienzo clave de la pintura histórica española.

A Goya hay dedicado un capítulo, basado en los cartones (Prado). No podía hacer una pintura demasiado compleja porque tenían que llevarse a los telares. En algunos de ellos, aparecen Cb.

El capítulo dedicado a las atmósferas azuladas del pintor Joachim Patinir (1480-1524), pintor de paisajes y de temas religiosos que entusiasmaba a Felipe II, del que existen varias pinturas en el Museo del Prado (*Las tentaciones de san Antonio Abad, Descanso en la huida a Egipto, El paso de la laguna Estigia*) y en el Monasterio de San Lorenzo de El Escorial. Considerado el primer paisajista flamenco, es un precursor del paisajismo como género independiente. Excelente manejo del color en donde destaca la gama de azules y verdes, siendo capaz de pintar las cortinas de precipitación. El capítulo "Cielos velazqueños en clave climática", que es un verdadero ensayo, nos presenta la capacidad de Velázquez para pintar cielos complejos y enmarañados, con distintos géneros nubosos (Ci, Cs, As), que en su honor reciben el nombre de velazqueños. Nubes que son probablemente, reflejo de su propia vivencia meteorológica. Esos cielos aparecen en cuadros tan emblemáticos como *La rendición de Breda* (1634-1635), los retratos ecuestres de distintos miembros de la realeza, que pinto para el Salón de Reinos del palacio del Buen Retiro, así como los retratos de caza destinados a la Torre de la Parada (Monte del Pardo). En todos ellos dominan los

tonos azules y grisáceos, con una variedad de formas nubosas.

La razón por la que Velázquez enmarañaba los cielos no se sabe a ciencia cierta, aunque como puntualiza Viñas, se barajan dos posibles causas. Una puede ser de índole económica (el polvo de lapislázuli utilizado para el azul claro, era muy caro, en aquella época procedía de una mina situada en la actual Afganistán), esa sería una posible razón por la que racionaba su uso. La segunda posible causa que le parece más plausible al autor y que está íntimamente relacionada con el tiempo atmosférico que reinaba en Madrid, durante los años en los que Velázquez fue pintor de corte. Entre 1632 y 1636 realizó distintos retratos reales en los que aparecen sus famosos cielos velazqueños

Joseph. M. W. Turner (1775-1851), pintor de paisajes que -hoy en día- está considerado como el artista que elevó el arte de paisaje a la altura de la pintura de historia. Es también uno de los grandes acuarelistas ingleses. Considerado como el pintor de la luz, ya anuncia la abstracción. Su influencia fue notoria en pintores impresionistas como en Alfred Sisley. Se ha sugerido que los altos niveles de ceniza en la atmósfera durante 1816 que condujeron a unas inusuales puestas de sol durante dicho periodo, pudieron inspirar el trabajo de Turner.

A finales del XIX, la explosión del Krakatoa pudo fotografiarse. Las cenizas ascendieron a la atmósfera y permanecieron durante varios años. En el capítulo "Un grito en el cielo" dedicado a "El grito", del noruego Edvard Munch, que relató que el cuadro fue un reflejo de un paseo por su ciudad natal, Oslo. Se ha sugerido que el espectacular cielo rojo se inspiró en un recuerdo visual de Munch tras la erupción del Krakatoa en 1883 y la contemplación, al menos en tres ocasiones, de nubes nacaradas estratosféricas. (Artículo en Weather en 2017).

Concluyo aquí el deambular por los capítulos seleccionados y espero haber invitado a su lectura.

En suma, un libro muy original e interesante en su planteamiento que animará a volver a acercarse a las pinturas, con una mirada lenta y reflexiva, a la luz de las lecciones aprendidas en *Los cielos retratados* donde se ha establecido una conexión entre la meteorología y la pintura de gran número de artistas de todas las épocas.

Los cielos retratados fue presentado el miércoles 29 de mayo a las 18 horas en el Salón de Actos de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid.

MARÍA ASUNCIÓN PASTOR SAAVEDRA

REUNIONES Y CONGRESOS

Cuarto Congreso Europeo de Granizo

Durante los pasados días 5 a 7 de marzo de 2024 se celebró en Karlsruhe (Alemania) el 4th European Hail Workshop, en el que participaron técnicos de servicios meteorológicos (Météo-France, MeteoSwiss, Servei Meteorològic de Catalunya, DWD, National Institute of Meteorology and Hydrology de Bulgaria, Bureau of Meteorology de Australia...), investigadores de universidades (Western Ontario, Illinois, Bern, New South Wales, Adam Mickiewicz, Newcastle, ...), personal de aseguradoras (ETH, Agroscope, Munich Re, ...), y otras organizaciones (KIT, ARPA FVG, ESSL, ...), tanto públicas como privadas. Se reunieron cerca de un centenar de asistentes, entre presenciales y virtuales, y los temas tratados fueron: granizo y convección dentro del cambio climático, daños de granizo y prevención, climatología de granizo y su riesgo y pérdidas, detección y predicción de granizo, microfísica y dinámica de tormentas de granizo, investigación e inteligencia artificial y campañas. En total se realizaron 36 presentaciones orales y 38 pósteres.

Entre todos los temas tratados, destacaron principalmente tres:

- Las mejoras de la identificación del granizo mediante diferentes herramientas, tanto operativas como nueva instrumentación. Se presentaron algunos resultados con nuevas tecnologías radar, sensores para introducir dentro o debajo de las tormentas, uso de drones, entre otros.
- Las climatologías basadas en la modelización, especialmente mediante parametrización del ERA-5, para la realización de estudios de mayores resoluciones espacial y temporal. Sin embargo, hasta el momento, los resultados obtenidos no evidencian una mejora, ya que difícilmente pueden captar el entorno de mesoscala baja en que se producen las tormentas. Los mejores resultados se obtienen para Estados Unidos, ya que allí se dispone de muchos registros de casos de granizo muy grande o gigante. Esto abrió un debate referente a la homogeneidad de los registros.
- La introducción de la Inteligencia Artificial en la identificación de patrones de granizo.

El resumen de las presentaciones se encuentra aquí:



Carme Farnell y Tomeu Rigo

https://ehw2024.imk-tro.kit.edu/downloads/EHW2024_AbstractBook.pdf

Por último, cabe destacar que el Servei Meteorològic de Catalunya presentó una nueva tecnología de análisis de las piedras de granizo, mediante escáneres tomográficos computarizados (CTS, del inglés). Esta presentación generó una gran expectación, ya que permite un análisis volumétrico del interior de la piedra, con gran resolución espacial y precisión, facilitando determinar la densidad de la estructura. Además, no afecta la estructura interna como ocurre con otras técnicas, que precisan de la manipulación de la piedra. Además, la calidad de la imagen es la misma o incluso mejor que la obtenida con otras metodologías anteriores. Se presentaron diferentes ejemplos que permitieron entender mejor el proceso de crecimiento de las piedras.

TOMEU RIGO Y CARME FARNEll,
SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA

PRÓXIMAS CITAS

AGOSTO 2024 – ENERO 2025

2 – 6 SEPTIEMBRE, Barcelona, ESPAÑA

- Reunión anual de la Sociedad Meteorológica Europea (EMS)
- <https://www.ems2024.eu/>

3 – 5 SEPTIEMBRE, Leicester, REINO UNIDO

- Conferencia internacional "Metastability and Tipping in Complex Systems"
- <https://reykboerner.github.io/metastability24.html>

5 – 6 SEPTIEMBRE, Barcelona, ESPAÑA

- Conferencia "Communicating Weather and Well-Being". Se celebra como reunión lateral a la conferencia anual de la EMS
- <https://www.emetsoc.org/events/event/communicating-weather-and-well-being/>

30 - SEPTIEMBRE – 4 OCTUBRE, Würzburg, ALEMANIA

- Conferencia anual de satélites meteorológicos de EUMETSAT
- <https://www.eumetsat.int/eumetsat-meteorological-satellite-conference-2024>

Fecha a decidir NOVIEMBRE, Madrid, ESPAÑA

- Conmemoración del 60 aniversario de la fundación de la AME.
- Conferencias y cena de gala
- [Se anunciará en www.ame-web.org](http://www.ame-web.org)

22- 24 enero 2025, San Lorenzo de El Escorial, España

- XIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología
- XIII Congreso Internacional AEC. Cambio climático y sociedad. De la ciencia básica a los servicios climáticos - AECLIM



HAN COLABORADO TAMBIÉN...

Han colaborado también: Alejandro de la Torre, Javier Martínez Martínez, Jesús Manzanéque Arteaga, Carme Molist Vidal, David Esteban Liljedahl, Roberto Porto Mata, David Cabrero Alcolea, Alberto Risueño Ayerbe, Emili Vilamala Benito, José Vicente Albero, Aarón Alegre Salinas, y los usuarios Sinobas: *CarlosPuente, Fernando cp99, Porusc y icampoo*



Título: "Carrasca bajo la aurora boreal"

Autor: David Cabrero Alcolea y Alberto Risueño Ayerbe

La gran tormenta solar de mayo de este año posibilitó que desde muchos lugares de España, en la madrugada del 10 al 11 de ese mes, pudiéramos disfrutar de la visión de auroras boreales, algo que normalmente sólo es posible desde latitudes mucho más altas. La fotografía está tomada junto al castillo de Montearagón (Huesca).

POR DELANTE DEL TIEMPO



Mucho más que
una predicción...