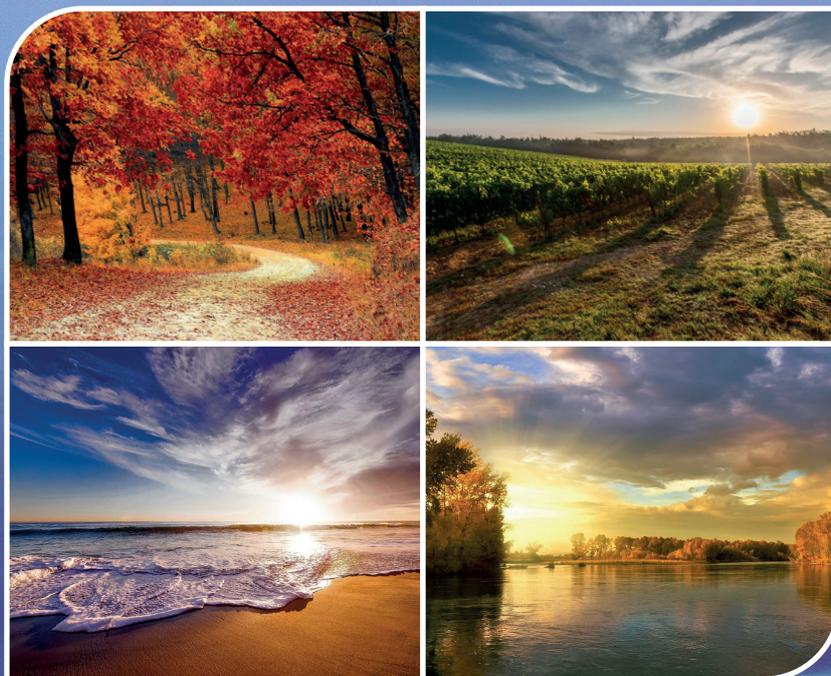




Agencia Estatal de Meteorología



---

INFORME ANUAL

2021

---



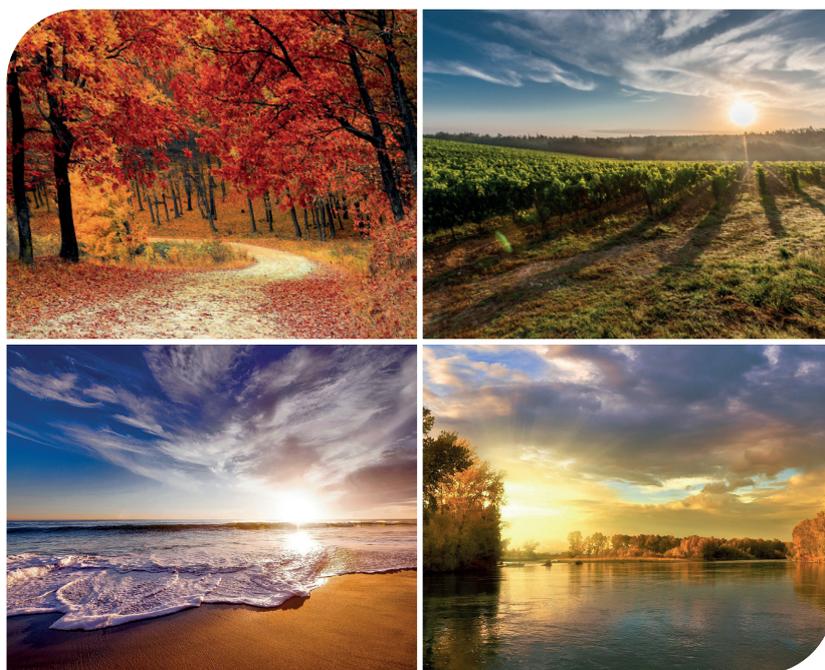
GOBIERNO  
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Agencia Estatal de Meteorología



---

INFORME ANUAL

2021

---



VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO  
MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización

**Edita:**

© Ministerio para la Transición Ecológica  
y el Reto Demográfico  
Madrid, 2022

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es/>

NIPO: 666-20-015-7

Diseño, maquetación e impresión:

Advantia, Comunicación Gráfica, S.A.

Tel.: 91 471 71 00

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

C/ Leonardo Prieto Castro, 8

28040 Madrid

<http://www.aemet.es/>

[@Aemet\\_Esp](https://twitter.com/Aemet_Esp)

<https://www.facebook.com/AgenciaEstataldeMeteorologia>



Agencia Estatal de Meteorología

# INFORME ANUAL 2021



Madrid, 2022

# ÍNDICE

<b>P. PRESENTACIÓN</b> .....	6	4.2.3. Nuevos productos probabilísticos para soporte de la predicción aeronáutica .....	31
<b>1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS</b> .....	10	4.2.4. Incertidumbre de las predicciones meteorológicas en la gestión del tráfico aéreo .....	32
1.1. Temperatura .....	10	4.3. Información para la salud y el medioambiente .....	32
1.2. Precipitación .....	15	4.3.1. Segundo año del proyecto SISPAIR para la mejora de la predicción de calidad del aire a nivel regional .....	32
1.3. "Filomena": un temporal de nieve de magnitud excepcional .....	17	4.4. Apoyo a la defensa .....	34
<b>2. LOGROS DESTACADOS EN 2021</b> .....	24	4.4.1. Servicio de apoyo a la Guardia Civil en materia de predicción marítima .....	34
<b>3. PRINCIPALES CIFRAS E INDICADORES 2021</b> .....	26	<b>5. ACTIVIDADES CLAVE</b> .....	36
3.1. Cifras clave .....	26	5.1. Observación e infraestructuras .....	36
3.2. Indicadores .....	27	5.1.1. Avances en la incorporación de España al sistema europeo de Observación Integrada de Carbono (ICOS) .....	36
<b>4. SERVICIO PÚBLICO</b> .....	28	5.1.2. El RBCC-E retoma la actividades de calibración detenidas por la pandemia .....	38
4.1. Apoyo a la seguridad frente a fenómenos meteorológicos adversos .....	28	5.1.3. Cirrus, el nuevo sistema de supercompulsación .....	40
4.1.1. Integración de los avisos por ola de calor y las alertas sanitarias .....	28	5.1.4. Mejora en la red de estaciones de observación de alta montaña .....	41
4.2. El servicio a la navegación aérea .....	29	5.1.5. Nueva autosonda en Santander .....	43
4.2.1. Certificado de calidad ISO 9001:2015 y como proveedor de servicios a la navegación aérea .....	29		
4.2.2. Previsión de la visibilidad en el aeropuerto de Badajoz-Talavera .....	30		



5.2. Predicción y vigilancia . . . . .	44	5.4.3. Nuevo sistema para monitorizar sequías meteorológicas en tiempo real . . . . .	57
5.2.1. El Teide, la Caldera de Taburiente y el Macizo Galaico-Leonés, nuevas áreas con predicción meteorológica de montaña. . . . .	44	5.5. Comunicación y difusión de datos e información . . . . .	59
5.2.2. Actualización del modelo operativo en el nuevo sistema de supercomputación . . . . .	45	5.5.1. La página web de AEMET cumplió 25 años. . . . .	59
5.2.3. Incorporación al consorcio de predicción numérica ACCORD . . . . .	47	5.5.2. Actividad en redes sociales . . . . .	60
5.3. Investigación y desarrollo . . . . .	48	<b>6. LA DIMENSIÓN INTERNACIONAL . . . . .</b>	<b>62</b>
5.3.1. Prototipo de reanálisis regional de alta resolución para la Península Ibérica y Baleares: IBERA (IBerian ReAnalysis) . . . . .	48	6.1. AEMET contribuye a la formación de profesionales nicaragüenses en Meteorología . . . . .	67
5.3.2. Mejora de la asimilación de datos utilizando un algoritmo 4DVar . . . . .	50	<b>7. ACTIVIDADES DE APOYO . . . . .</b>	<b>68</b>
5.3.3. Intercomparación de medidas nocturnas de aerosoles en columna. . . . .	52	7.1. Gestión económica. . . . .	68
5.3.4. Se prolonga 5 años más la actividad del SAF de Nowcasting . . . . .	52	7.2. Gestión de recursos humanos. . . . .	68
5.4. Servicios climáticos . . . . .	54	<b>8. APOYO METEOROLÓGICO DURANTE LA ERUPCIÓN VOLCÁNICA EN LA PALMA. . . . .</b>	<b>74</b>
5.4.1. Servicio climático de apoyo en la gestión de embalses aplicando predicción estacional. . . . .	54	<b>A1. ANEXO 1. Publicaciones científicas y técnicas (con revisión por pares) . . . . .</b>	<b>80</b>
5.4.2. Prototipo de servicio climático para la mejora del rendimiento de cosechas de cereal en Castilla y León . . . . .	56	<b>A2. ANEXO 2. Publicaciones del catálogo AEMET . . . . .</b>	<b>90</b>
		<b>A3. ANEXO 3. Siglas y acrónimos . . . . .</b>	<b>92</b>

# P RESENTACIÓN

La Agencia Estatal de Meteorología, AEMET, es un organismo público que se rige por el Real Decreto 186/2008, de 8 de febrero, por el que se aprueba el Estatuto de la Agencia Estatal de Meteorología, adscrito al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Tiene su sede en Madrid y está presente en las 17 comunidades autónomas del Estado español.

AEMET tiene como misión “el desarrollo, implantación, y prestación de los servicios meteorológicos de competencia del Estado y el apoyo al ejercicio de otras políticas públicas y actividades privadas, contribuyendo a la seguridad de personas y bienes, y al bienestar y desarrollo sostenible de la sociedad española”.

En virtud del artículo 7 de la Ley 21/2003, de 7 de julio, de Seguridad Aérea, AEMET es la autoridad meteorológica aeronáutica en el territorio nacional. Como Servicio Meteorológico Nacional y autoridad meteorológica del Estado, a la Agencia le compete:

- la provisión de servicios meteorológicos a la navegación aérea, como proveedor certificado,
- el apoyo meteorológico a la defensa nacional, tanto en las operaciones nacionales como internacionales.
- la atención a las instituciones públicas competentes en materia de protección civil,
- la satisfacción de las necesidades básicas de información meteorológica y climatológica de la sociedad, mediante el suministro de avisos de fenómenos adversos, predicciones de carácter general, y de información climatológica.



Además, AEMET ejerce la representación de España a nivel internacional en materia de meteorología y climatología, participando en los grupos internacionales de investigación y representando a España en la Organización Meteorológica Mundial, OMM, en la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos, EUMETSAT y en el Centro Europeo de Predicción del tiempo a Plazo Medio, CEPPM (ECMWF por sus siglas en inglés), entre otros. Para el cumplimiento de todos estos servicios dispone de una infraestructura meteorológica con cobertura estatal, debidamente coordinada y con altos niveles de exigencia técnica.

■ ■ De todos los fenómenos meteorológicos de 2021 destaca, por su trascendencia social, la borrasca Filomena

De entre los fenómenos meteorológicos de 2021, resalta la borrasca Filomena por la trascendencia social que llegó a adquirir. Fue nombrada por AEMET el martes 5 de enero por avisos emitidos para el 6 de enero. Todos los fenómenos anunciados por la Agencia tuvieron lugar entre el 6 y el 10 de enero, destacando la nevada histórica de los días 8 y 9, en la que se acumularon hasta 50 cm de nieve en Madrid capital y otras zonas del interior peninsular. Tras su paso, se inició una ola de frío entre el 11 y el 17 de enero que también puede considerarse histórica por los registros alcanzados.

En septiembre de 2021 entró en operación su nuevo superordenador Cirrus, que es el tercero más potente de España y permitirá mejorar la predicción numérica del tiempo, tanto en su alcance temporal como en su resolución geográfica y magnitud probabilística, reforzando la actuación de AEMET en ámbitos como el cambio climático, la predicción marítima y medioambiental o la colaboración internacional. La potencia final del sistema, compuesto de 338 nodos, es de 168 Teraflops, lo que multiplica 65 veces al anterior superordenador de la Agencia mientras que reduce el consumo energético entre el 20 y el 40%.

El último trimestre del año estuvo marcado por la erupción del volcán Cumbre Vieja. Con objeto de gestionar más eficazmente la emergencia, AEMET se coordinó con las instituciones españolas e internacionales y con las autoridades locales, regionales y

nacionales. Para el análisis de la composición y la monitorización del penacho, AEMET ha desplegado abundante instrumental en la isla de La Palma. Además, el seguimiento de la nube de emisión se ha realizado mediante el modelo de dispersión atmosférica MOCAGE, ejecutado en Cirrus. Todo ello se ha puesto a disposición de la seguridad aérea, mediante el diseño de productos a medida y la elaboración de avisos especiales, imprescindibles para mantener la operatividad de la navegación y en los propios aeropuertos.

Este informe anual tiene por objeto informar a todos los ciudadanos, en una política obligada en el contexto actual de evaluación de la eficiencia y efectividad de los servicios públicos, de cuál ha sido la evolución de los principales indicadores de prestación y mejora de la gestión.

# 1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

## 1.1

### Temperatura

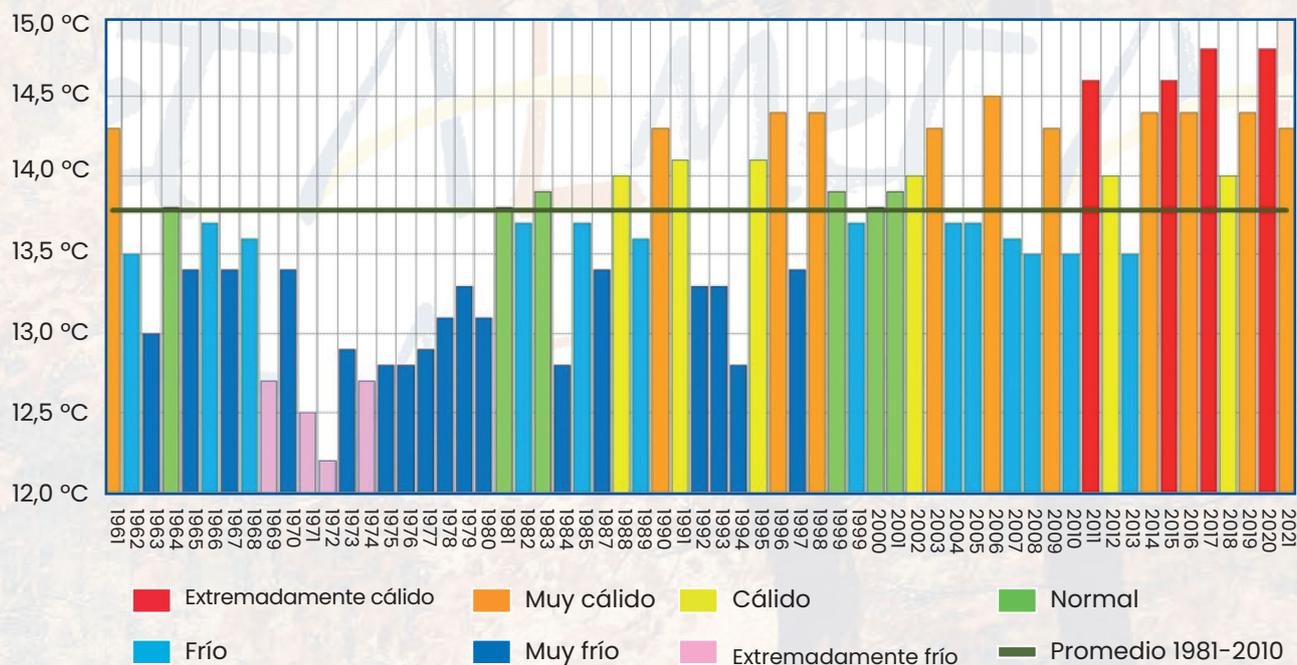
El año 2021 ha sido muy cálido, con una temperatura media en la España peninsular de 14,2 °C, valor que queda 0,5 °C por encima del valor medio anual (periodo de referencia 1981-2010). Se ha tratado del décimo año más cálido desde el comienzo de la serie en 1961, y del octavo más cálido del siglo XXI. Este ha sido el octavo año seguido con una temperatura media anual por encima del valor medio.

2021, muy cálido, ha sido el octavo año seguido con una temperatura media anual por encima del valor medio

Provincia	TEMPERATURA MEDIA		
	T media (°C)	Anomalía (°C)	Carácter
BALEARES			
España peninsular	14,2	+0,5	Muy cálido
Baleares	17,3	+0,3	Muy cálido
Canarias	18,6	+0,3	Cálido

El año 2021 resultó muy cálido o extremadamente cálido en Andalucía y Región de Murcia y entre cálido y muy cálido en el resto del territorio peninsular español y en Baleares, aunque con algunas zonas aisladas en las que fue normal. En Canarias tuvo un carácter variable de unas zonas a otras, resultando en conjunto cálido. Las anomalías tomaron valores próximos a +1 °C en la mayor parte de

## TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN ESPAÑA



Serie de temperatura media anual en la España peninsular desde 1961.

Extremadamente cálido: las temperaturas sobrepasan el valor máximo registrado en el periodo de referencia 1981-2010.

Muy cálido:  $f < 20\%$ . Las temperaturas registradas se encuentran en el intervalo correspondiente al 20% de los años más cálidos.

Cálido:  $20\% \leq f < 40\%$ .

Normal:  $40\% \leq f < 60\%$ . Las temperaturas registradas se sitúan alrededor de la mediana.

Frío:  $60\% \leq f < 80\%$ .

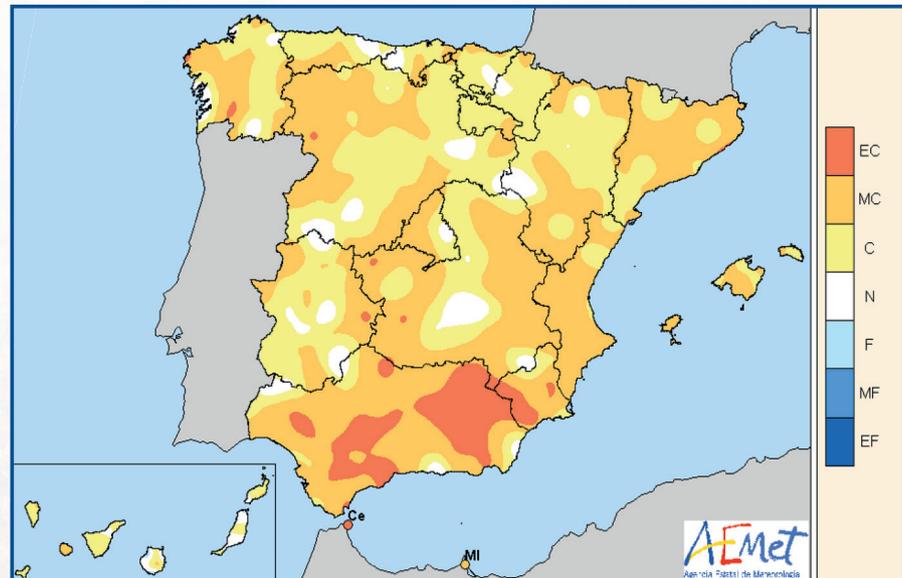
Muy frío:  $f \geq 80\%$ .

Extremadamente frío: las temperaturas no alcanzan el valor mínimo registrado en el periodo de referencia 1981-2010.

Andalucía, Región de Murcia, Comunitat Valenciana y Cataluña, y valores comprendidos entre +1 °C y 0 °C en el resto de la España peninsular, Baleares y Canarias.

Las temperaturas máximas diarias se situaron en promedio 0,4 °C por encima del valor normal, mientras que las temperaturas míni-

## CARÁCTER DE LA TEMPERATURA - AÑO 2021



EC= Extremadamente cálido; MC= Muy cálido; C= Cálido; N= Normal; F= Frío; MF= Muy frío; EF= Extremadamente frío.

mas diarias fueron 0,5 °C superiores a las normales, resultando una oscilación térmica diaria 0,1 °C inferior a la normal.

En la estación principal de Morón de la Frontera la temperatura media anual fue la más alta desde el comienzo de la serie en 1956. En esta estación y en la de Palma de Mallorca/aeropuerto, la media anual de las temperaturas mínimas diarias resultó también la más alta desde el comienzo de las respectivas series.

En cuanto a la evolución a lo largo del año, enero fue un mes frío, con una temperatura media que se situó 0,6 °C por debajo del valor normal del mes. Febrero fue muy cálido, resultando el tercer mes de febrero más cálido desde el comienzo de la serie en 1961, con una anomalía de +2,5 °C. La primavera meteorológica (entre el 1 de marzo y el 31 de mayo) tuvo un carácter cálido, con una temperatura media en la España peninsular de 12,5 °C, valor que queda 0,4 °C por encima de la media. El verano (1 de junio a 31 de agosto) tuvo un carácter normal en conjunto, con una temperatura media en la España peninsular de 22,1 °C, 0,3 °C por encima de la media; julio fue en conjunto frío mientras que agosto fue muy cálido. El otoño (1 de septiembre a 30 de noviembre) tuvo un carácter normal, con una temperatura media sobre la España peninsular de 14,4 °C, solo 0,1 °C por encima de la media de esta estación; mientras que septiembre y octubre fueron

cálidos, noviembre fue muy frío. Por último, diciembre tuvo en conjunto un carácter muy cálido, con una temperatura media en la España peninsular 1,9 °C por encima de la media de este mes.

### Episodios de temperaturas extremas

A comienzos de año se produjo un largo episodio frío, que había comenzado a finales de 2020 provocado por un intenso flujo del norte, y que se prolongó e intensificó durante la primera quincena de enero con la llegada de la borrasca Filomena, la cual dio lugar a intensas nevadas en amplias zonas del interior peninsular. Tras retirarse la borrasca se estableció sobre la Península un anticiclón, lo que unido a la gran capa de nieve existente en amplias regiones dio lugar a temperaturas excepcionalmente bajas, que alcanzaron valores por debajo de -20 °C en algunas zonas.

En 2021 hubo dos olas de frío, ambas dentro del episodio frío de enero: la primera, de corta duración, se extendió entre los días 5 y 8, mientras que la segunda, de intensidad excepcional, se observó entre los días 11 y 18, después de las nevadas de la borrasca Filomena. Las temperaturas más bajas se observaron en la madrugada del día 12 enero en las zonas del interior peninsular afectadas por las nevadas de la borrasca Filomena, destacando entre estaciones principales los -25,2 °C de Molina de Aragón, los -21,0 °C de Teruel, los -14,1 °C de Albacete/base aérea y los -13,7 °C observados en Torrejón de Ardoz. En las estaciones principales de Madrid/Cuatro Vientos, Madrid/Getafe, Teruel y Toledo la temperatura más baja registrada en ese episodio constituyó un nuevo récord absoluto de temperatura mínima desde el comienzo de las respectivas series. En la estación de Madrid/Torrejón se registró también un récord absoluto de temperatura máxima diaria más baja desde el comienzo de la serie, al observarse una máxima de 0 °C el 8 de enero.

### EFEMÉRIDES DE TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA MÁS BAJA REGISTRADAS EN EL AÑO 2021 (EXTREMOS ABSOLUTOS DE LA SERIE)

Indicativo	Estación	Altitud	Provincia	Mínima 2021		Efeméride anterior		Diferencia (°C)	Datos desde
				°C	Día	°C	Fecha		
3196	MADRID/CUATRO VIENTOS	690	MADRID	-13,0	12-enero	-11,4	05/02/1963	-1,6	1945
8368U	TERUEL	900	TERUEL	-21,0	12-enero	-19,0	26/12/2001	-2,0	1986
3260B	TOLEDO	515	TOLEDO	-13,4	12-enero	-9,6	27/01/2005	-3,8	1982

## 1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y MEDIOAMBIENTALES

En cuanto a las altas temperaturas, se registraron dos olas de calor en la península ibérica y Baleares, y tres en Canarias. Destacó especialmente la intensa ola de calor de mediados de agosto, provocada por la irrupción de una masa de aire muy cálido procedente del norte de África que afectó a la península y Baleares los días 11-16 y, posteriormente, se desplazó hacia el este afectando también a Canarias durante los días 15-19; tanto las temperaturas máximas como las mínimas tomaron valores extraordinariamente altos, superándose los 40 °C en gran parte territorio peninsular y en ambos

### EFEMÉRIDES DE TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA REGISTRADAS EN EL AÑO 2021 (EXTREMOS ABSOLUTOS DE LA SERIE)

Indicativo	Estación	Altitud	Provincia	Mínima 2021		Efeméride anterior		Diferencia (°C)	Datos desde
				°C	Día	°C	Fecha		
8175	ALBACETE/LOS LLANOS	702	ALBACETE	43,3	14-agosto	42,6	17/07/1978	0,7	1939
2444	ÁVILA	1130	AVILA	38,8	14-agosto	37,6	24/07/1995	1,2	1983
3469A	CÁCERES	394	CACERES	43,7	14-agosto	43,2	13/07/2017	0,5	1982
8096	CUENCA	948	CUENCA	41,5	13-agosto	39,7	10/08/2012	1,8	1955
5530E	GRANADA/AEROPUERTO	567	GRANADA	46,0	14-agosto	45,7	12/07/2017	0,3	1972
5514	GRANADA/BASE AÉREA	687	GRANADA	43,8	13-agosto	43,5	13/07/2017	0,3	1931
3129	MADRID/BARAJAS	609	MADRID	42,7	14-agosto	42,2	24/07/1995	0,5	1945
3196	MADRID/CUATRO VIENTOS	690	MADRID	42,2	14-agosto	40,8	03/08/2018	1,4	1945
3200	MADRID/GETAFE	620	MADRID	42,6	14-agosto	41,6	24/07/1995	1,0	1951
3175	MADRID/TORREJÓN	607	MADRID	42,8	14-agosto	41,9	28/06/2019	0,9	1951
7178I	MURCIA	61	MURCIA	46,2	15-agosto	45,7	04/07/1994	0,5	1984
7228	MURCIA/ALCANTARILLA	75	MURCIA	47,0	15-agosto	46,1	04/07/1994	0,9	1940
9263D	PAMPLONA, AEROPUERTO	459	NAVARRA	41,6	14-agosto	41,4	10/08/2012	0,2	1975
2465	SEGOVIA	1005	SEGOVIA	38,7	13-agosto	38,6	24/07/1995	0,1	1988
2030	SORIA	1082	SORIA	38,5	13-agosto	38,0	28/07/1951	0,5	1943
8368U	TERUEL	900	TERUEL	41,3	14-agosto	40,2	13/07/2017	1,1	1986
3260B	TOLEDO	515	TOLEDO	44,2	13-agosto	43,1	10/08/2012	1,1	1982

archipiélagos y llegando a superarse los 45 °C en amplias zonas de Andalucía y Murcia y en puntos de la Comunitat Valenciana, Castilla-La Mancha y Canarias.

En el mes de julio hubo otra ola de calor en la península y en Baleares, mucho menos intensa que la anterior, entre los días 21-23. Y en septiembre destacaron las dos olas de calor que afectaron a Canarias durante los días 5-7 y 11-13, en las cuales las temperaturas se situaron en valores muy por encima de los normales.

Las temperaturas más altas de 2021 se observaron durante la ola de calor de mediados de agosto, destacando entre observatorios principales los 47,0 °C de Alcantarilla/base aérea el día 15, los 46,9 °C de Córdoba/aeropuerto el día 14, los 46,2 °C de Murcia el día 15, y los 46,0 °C de Granada/aeropuerto el día 14. En diecisiete estaciones principales, la mayoría de ellas situadas en el centro y sur de la península, la temperatura máxima registrada durante esta ola de calor constituyó un nuevo récord absoluto de temperatura.

## 1.2

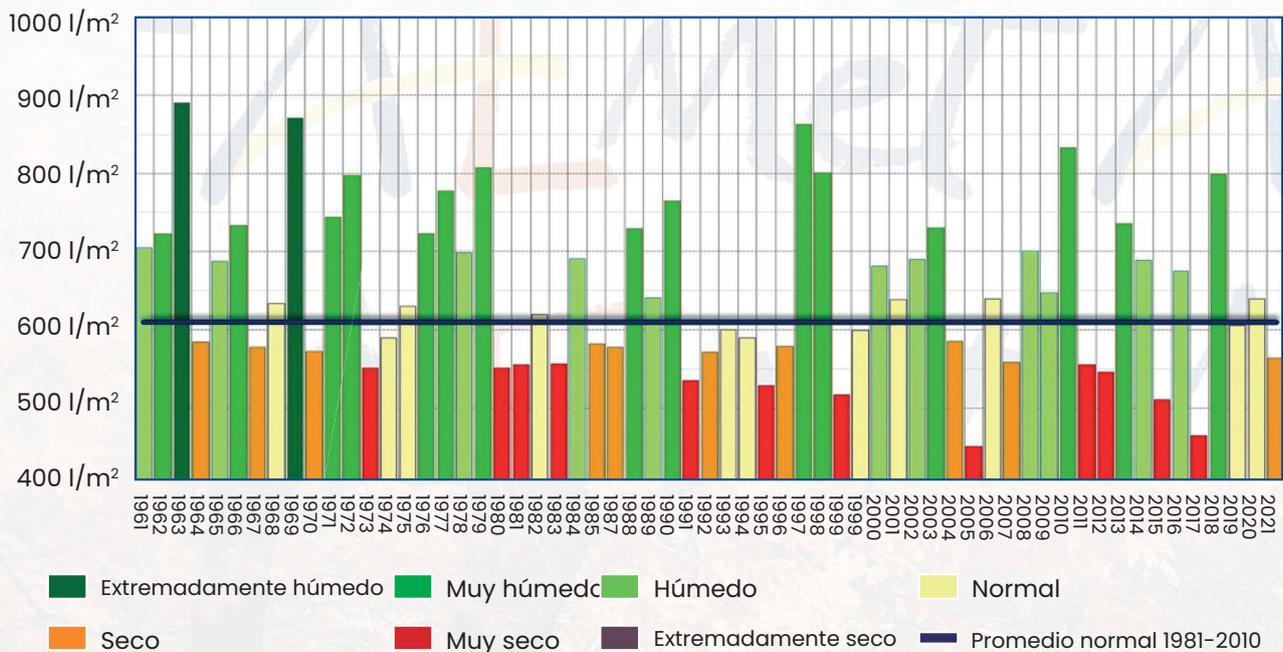
### Precipitación

El año 2021 ha sido seco, con un valor de precipitación media sobre la España peninsular de 569 mm, valor que representa el 89 % del valor normal del mes (periodo de referencia: 1981-2010). Se ha tratado del decimocuarto año más seco desde el comienzo de la serie en 1961, y el octavo del siglo XXI.

Ha sido entre húmedo y muy húmedo en la cornisa cantábrica, parte occidental de Navarra, La Rioja, cuadrante suroeste de Aragón, centro y este de Castilla y León, este de Castilla-La Mancha y sureste de Madrid, además de Murcia, sur de Cataluña y Baleares. Por el contrario, el año ha sido seco o muy seco en Galicia, norte de Castilla-León, norte de Aragón, Cataluña, donde ha alcanzado regiones con carácter extremadamente seco, áreas de la Comunitat Valenciana, Extremadura, casi toda Andalucía y Canarias.

El mes de enero fue húmedo, con una precipitación sobre la España peninsular que quedó un 19 % por encima del valor normal. Febrero tuvo también carácter húmedo, con una precipitación media un

## PRECIPITACIÓN ACUMULADA EN ESPAÑA – ANUAL



Serie de precipitaciones medias anuales sobre España desde 1961.

**Extremadamente húmedo:** las precipitaciones superan el valor máximo registrado en el periodo de referencia 1981 – 2010.

**Muy húmedo:**  $f < 20\%$ . Las precipitaciones se encuentran en el intervalo correspondiente al 20% de los años más húmedos.

**Húmedo:**  $20\% \leq f < 40\%$ .

**Normal:**  $40\% \leq f < 60\%$ . Las precipitaciones registradas se sitúan alrededor de la mediana.

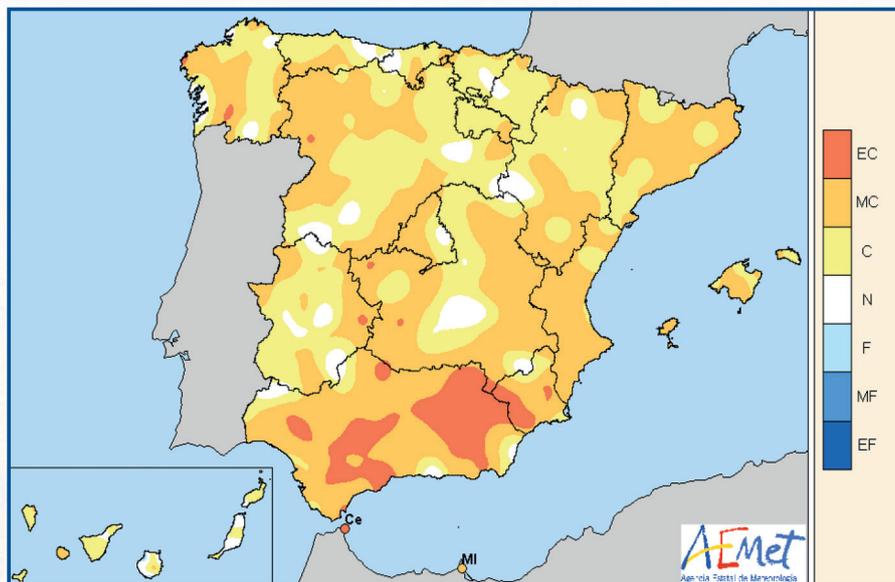
**Seco:**  $60\% \leq f < 80\%$

**Muy seco:**  $f \geq 80\%$ .

**Extremadamente seco:** las precipitaciones no alcanzan el valor mínimo registrado en el periodo de referencia 1981 – 2010.

35 % por encima del valor normal. La primavera fue en conjunto muy seca: la precipitación acumulada media fue de 114,5 mm, valor que representa el 67 % del valor normal del trimestre. Se trató de la cuarta primavera más seca desde el comienzo de la serie en 1961, y la segunda del siglo XXI. El verano fue húmedo, con un valor de precipitación media de 75,7 mm, el 102 % del valor normal del trimestre; junio tuvo carácter muy húmedo, con una precipitación 147 % por encima del valor normal, mientras que julio fue muy seco y agosto seco. El otoño fue seco, con un valor de precipitación media de 172 mm, el 83 % del valor normal del trimestre; septiembre fue muy húmedo (con la precipitación 133 % del valor normal del mes), mientras que octubre y noviembre fueron secos. Diciembre fue normal, con una precipitación media de 62 mm, el 75 % del valor normal.

## CARÁCTER DE LA PRECIPITACIÓN - AÑO 2021



*EH=Extremadamente húmedo; MH=Muy húmedo; H=Húmedo; N=Normal; S=Seco; MS=Muy seco; ES=Extremadamente seco*

### Episodios de precipitaciones intensas

A lo largo de 2021 hubo numerosos episodios de lluvias fuertes, siendo más frecuentes en enero y en los meses de primavera y otoño.

En enero destacó el episodio de los días 5 a 9 de enero, en el que la borrasca Filomena, dio lugar a lluvias fuertes y persistentes en Canarias, sur de Andalucía y Ceuta, y precipitaciones copiosas en forma de nieve en amplias zonas del interior peninsular los días 8 y 9. Por otra parte, entre los días 19 y 26 de enero, se produjo el paso sucesivo de las borrascas Gaetan, Hortense, Ignacio y Justine que dejaron abundantes precipitaciones en gran parte del territorio peninsular y fueron más intensas en la franja norte.

En la primavera destacó el episodio de los días 15 a 18 de febrero, en el que el paso de la borrasca Karim dejó abundantes precipitaciones en todo el territorio peninsular y en ambos archipiélagos y el de los días 25 y 26 de abril, en los que la borrasca Lola produjo importantes tormentas en el suroeste peninsular y el Mediterráneo. Y, en el otoño, el episodio de los días 5 a 9 de noviembre, en el que la borrasca Blas dejó precipitaciones abundantes en Baleares. En diciembre, el paso durante los días 7 a 9 de la borrasca Barra dejó precipitaciones importantes en Navarra y País Vasco.

Entre los valores de precipitación máxima diaria registrados en un observatorio principal en el año 2021 destacan los 134 mm recogidos en Ceuta el día 5 de marzo, los 125 mm de Tortosa el día 22 de noviembre, valor que constituye un nuevo máximo absoluto de precipitación diaria en esta estación desde el comienzo de la serie en 1920, y los 101 mm de Hondarribia el 9 de diciembre y los 95 mm de Daroca registrados el día 1 de septiembre.

### Filomena: un temporal de nieve de magnitud excepcional

La borrasca Filomena, sexta de la temporada 2020-2021, fue nombrada el martes 5 de enero de 2021 a las 10:00 UTC por avisos emitidos para el 6 de enero y siguientes días por temporal de viento, lluvias fuertes y/o persistentes y mar en Canarias, sur de Andalucía y Ceuta, y por nevadas copiosas en amplias zonas del interior peninsular. Todos los fenómenos anunciados tuvieron lugar entre los días 6 y 10 de enero, pero lo más destacado fue la gran nevada ocurrida en el interior peninsular los días 8 y 9, que sin lugar a dudas puede ser calificada como histórica, al acumular hasta 50 cm de nieve en Madrid capital y en otras zonas del centro y este. Tras desaparecer Filomena, cesar las precipitaciones y despejarse los cielos durante el domingo 10 dio inicio una ola de frío meteorológica que duró desde el lunes 11 hasta el lunes 18, que también se puede considerar histórica por los registros alcanzados.

En la siguiente tabla se muestran los valores de precipitación recogida entre las 07 UTC de los días 7 y 12 de enero, con una estimación correspondiente a espesor de nieve. Aunque dejó de nevar el día 10, los pluviómetros tardaron aún dos días en registrar toda la precipitación, según se iba fundiendo. Los valores se ordenan según el de

Indicativo	Nombre	Altitud (m)	Provincia	PCP (mm)	Nieve estimada (cm)
C430E	IZAÑA	2371	SANTA CRUZ DE TENERIFE	92,6	69
9772X	LA POBLA DE CÉRVOLES	673	LLEIDA	63	63
9961X	CABACÉS	363	TARRAGONA	58,2	57,4
C101A	ROQUE DE LOS MUCHACHOS	2223	SANTA CRUZ DE TENERIFE	174,4	56
3195	MADRID, RETIRO	667	MADRID	52,9	52,9
3260B	TOLEDO	515	TOLEDO	55,4	51
8489X	VILLAFRANCA	1131	CASTELLON	49,6	49,6

Indicativo	Nombre	Altitud (m)	Provincia	PCP (mm)	Nieve estimada (cm)
9698U	TALARN	807	LLEIDA	46,8	46
9562X	MORELLA-PASEO ALAMEDA	990	CASTELLON	45	45
9924X	FRAGA	170	HUESCA	45,2	44,4
9855E	LAGUARRES	600	HUESCA	44,6	43,2
9898	HUESCA/PIRINEOS	546	HUESCA	43,6	43,2
9756X	BENABARRE	765	HUESCA	43,2	42
9573X	ALCAÑIZ	334	TERUEL	41,4	41,4
0009X	ALFORJA	406	TARRAGONA	50,8	41,2
3245Y	TEMBLEQUE	635	TOLEDO	52,4	40,4
8486X	MOSQUERUELA, DEPOSITO	1515	TERUEL	40,4	40,4
9707	LLIMIANA	515	LLEIDA	40	40
8395X	CHELVA	515	VALENCIA	45,4	39,4
9843A	SEIRA	825	HUESCA	39,8	39,4
9866C	BARBASTRO	305	HUESCA	43	39
9894Y	SARIÑENA, DEPÓSITO AGUA	300	HUESCA	38,4	38,4
3129	MADRID/BARAJAS	609	MADRID	38,2	38,2
9561X	CASTELLOTE, DEPÓSITO	755	TERUEL	38	38
9569A	CALANDA	466	TERUEL	38,2	38
9729X	MOLLERUSSA	252	LLEIDA	38	38
8178D	ALBACETE,OBS.	674	ALBACETE	38,1	37,9
8376	JABALOYAS	1430	TERUEL	37,6	37,6
9546B	HIJAR, DEPÓSITO	305	TERUEL	37,6	36,6
3266A	ALTO DE LOS LEONES	1532	MADRID	35,6	35,6
4091Y	VILLARROBLEDO	718	ALBACETE	44	35
4007Y	OSSA DE MONTIEL	905	ALBACETE	35,4	34,8
4195E	LA ALCORNOQUERA-PARQUE NACIONAL CABAÑEROS	625	CIUDAD REAL	40,2	34,7

## 1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Indicativo	Nombre	Altitud (m)	Provincia	PCP (mm)	Nieve estimada (cm)
3168D	GUADALAJARA	721	GUADALAJARA	34,4	34,4
8368U	TERUEL	900	TERUEL	34,4	34,4
9808X	AINSA, LA SERRETA	610	HUESCA	35,4	34,4
3344E	VILLANUEVA DE LA CAÑADA	641	MADRID	34,3	34,3
4210Y	ABENOJAR	718	CIUDAD REAL	43,6	34
9585	LA MOLINA	1703	GIRONA	33,6	33,6
9935X	VALDERROBRES, COMARCAL	482	TERUEL	39	33,6
9374X	SANTA EULALIA DEL CAMPO, COMARCAL	1000	TERUEL	32,4	32,4
8177A	CHINCHILLA/CENAD	880	ALBACETE	33,3	32,3
4064Y	ALCÁZAR DE SAN JUAN	640	CIUDAD REAL	43,6	31,8
8472A	ARENOS-PANTANO	601	CASTELLON	46,4	31,4
9908X	LANAJA, DGA	380	HUESCA	31,4	31,4
9689X	CABDELLA-CENTRAL	1273	LLEIDA	32,2	31,2
9771C	LLEIDA	185	LLEIDA	40	31
3272M	TORRELODONES POLIDEPORTIVO	879	MADRID	30,6	30,6
4093Y	OSA DE LA VEGA	763	CUENCA	37,6	30,4
9510X	QUINTO	205	ZARAGOZA	30,4	30,4
9998X	BELLO	1006	TERUEL	30,4	30,4
9901X	HUESCA	463	HUESCA	32,2	30

la nieve estimada, para aquellas estaciones en las que se superaron los 30 cm. Debe tenerse en cuenta que el espesor de nieve es una magnitud altamente variable en el espacio por la heterogeneidad que puede alcanzar debido al viento.

El incremento anual promedio de CO<sub>2</sub> se está acelerando los últimos años

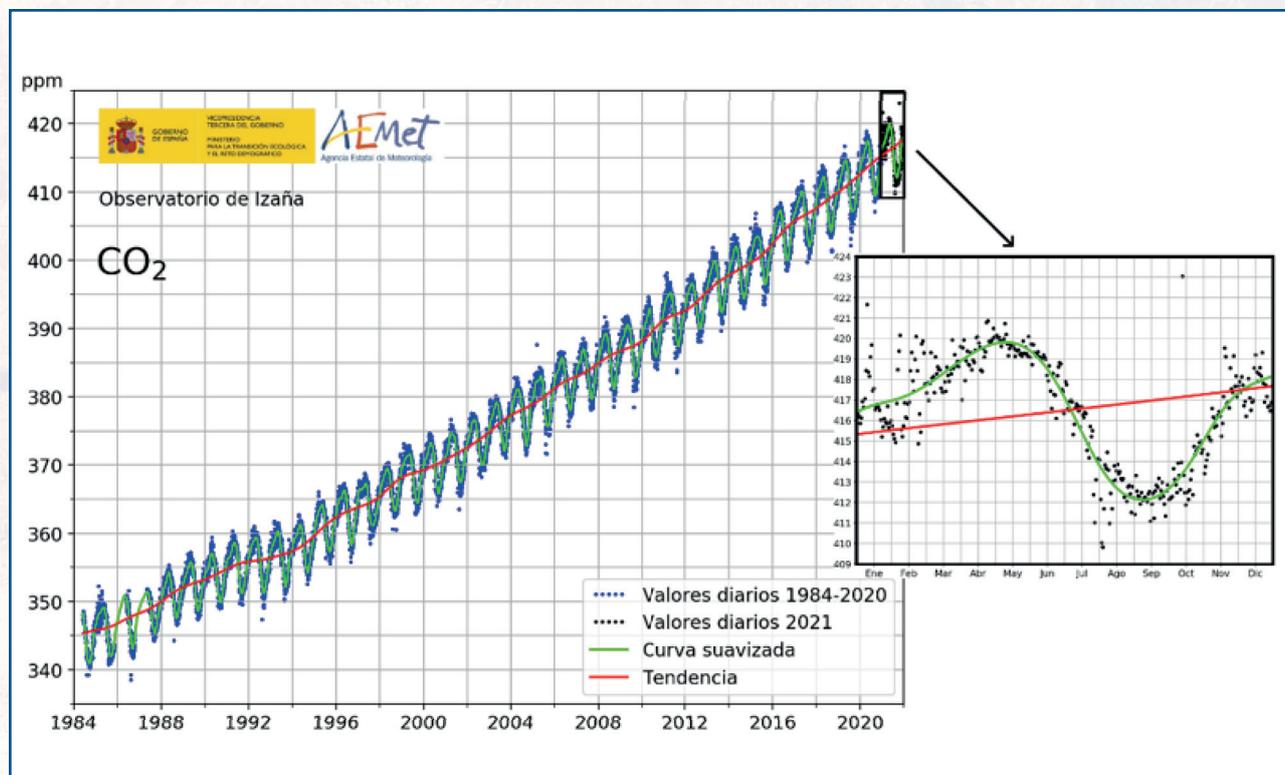
# 1.3

## Concentración de dióxido de carbono

El 25 de abril de 2021 se registraron 420,9 ppm (partes por millón en volumen) de concentración media diaria de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el Observatorio de Vigilancia Atmosférica Global (VAG) de Izaña, nuevo récord histórico de la serie, que se alcanza todos los años en primavera, y que supone un aumento de 2 ppm respecto de 2020. La cifra es similar a las 419.1 ppm registradas por el observatorio de Mauna Loa (Hawái), la estación con la serie de CO<sub>2</sub> más larga del mundo.

Los datos recogidos por el observatorio de Izaña confirman que la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) continúa en aumento

### EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DIARIA NOCTURNA DE CO<sub>2</sub>



*Evolución de la concentración diaria nocturna de CO<sub>2</sub> en el Observatorio de Izaña desde 1984, con detalle ampliado de 2021. Nótese dos puntos anormalmente altos que no representan valores de fondo de la atmósfera, en enero, debido a la borrasca Filomena, y en octubre, por contaminación procedente de la erupción volcánica en La Palma. La curva suavizada en verde y la línea de tendencia en rojo pueden entenderse aproximadamente como representando promedios mensuales y promedios anuales, respectivamente*

y no se ha visto frenada por la disminución de las emisiones de  $\text{CO}_2$  debido a la paralización parcial de la actividad y a la disminución del transporte de mercancías y viajeros a nivel mundial que ha provocado la pandemia de COVID-19. Estudios realizados por el Sistema de Observación Integrado de Carbono (ICOS) y la Base de Datos de Emisiones para la Investigación Atmosférica Mundial (EDGAR) cifran la reducción en torno al 7% de las emisiones de  $\text{CO}_2$  a nivel global debido a un menor uso de combustibles fósiles en 2020, en comparación con 2019.

Antes de la irrupción de la pandemia ya se habían registrado otras reducciones en las emisiones anuales de  $\text{CO}_2$ , como la ocasionada por la crisis económica mundial de 2008, con una disminución porcentual similar a la registrada en 2020. En general, los años en los que el crecimiento económico se ha visto frenado por alguna crisis se observa una ralentización en el ritmo de emisiones de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. Sin embargo, la concentración promedio anual de  $\text{CO}_2$  medida en la atmósfera ha seguido aumentando sin verse afectada por estas variaciones anuales.

Sin embargo, la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera no depende de las emisiones anuales, sino del total de emisiones que se han ido acumulando hasta ese momento en la atmósfera. El  $\text{CO}_2$  es un gas de larga vida y se estima que continúa calentando la atmósfera (forzamiento radiativo positivo) durante más de 100 años. Por tanto, una disminución puntual de las emisiones anuales globales de

CO<sub>2</sub> es solo significativa al compararla con el año anterior, pero es irrelevante cuando se analizan las emisiones anuales acumuladas en la atmósfera a nivel global.

Un resultado llamativo y preocupante es que el incremento anual de CO<sub>2</sub> (ppm/año) entre dos máximos anuales consecutivos no es constante, sino que la diferencia interanual de CO<sub>2</sub> aumenta a medida que pasan los años; el incremento anual promedio de CO<sub>2</sub> se está acelerando los últimos años (el observatorio de Mauna Loa también recoge esta aceleración al tratarse de un fenómeno global).

**TABLA DE INCREMENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO<sub>2</sub> CON EL PASO DEL TIEMPO**

Periodo estudiado	Observatorio de Izaña (ppm/año)	Observatorio de Mauna Loa (ppm/año)
1984-2021	+1,95	+1,93
1990-2021	+2,00	+1,97
2000-2021	+2,19	+2,18
2010-2021	+2,44	+2,40
2015-2021	+2,54	+2,45

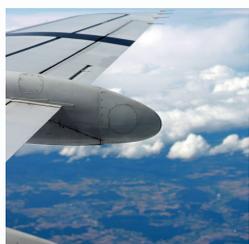
# 2

## LOGROS DESTACADOS EN 2021



### SEGURIDAD

- Integración de los avisos de ola de calor con las alertas sanitarias del Plan nacional de actuaciones preventivas de los efectos de los excesos de temperaturas sobre la salud



### AVIACIÓN

- Desarrollo de una aplicación para la mejora de la predicción de la visibilidad en el aeropuerto de Badajoz-Talavera
- Nuevos productos probabilísticos para el soporte de la predicción aeronáutica
- Contribución al proyecto para una mejor gestión de la incertidumbre meteorológica en el sistema de tráfico aéreo



### DEFENSA Y SEGURIDAD DEL ESTADO

- Servicio de apoyo a la Guardia Civil en materia de predicción marítima.



### OBSERVACIÓN E INFRAESTRUCTURAS

- Entra en operación Cirrus, el nuevo sistema de supercomputación.
- Nuevo concentrador de rayos
- Avances en la incorporación de España al sistema europeo de Observación Integrada de Carbono (ICOS).
- Mejora de la red de estaciones de observación de alta montaña.
- Despliegue instrumental en la isla de La Palma con motivo de la erupción del Cumbre Vieja.

## PREDICCIÓN

- Nuevas áreas con predicción meteorológica de montaña en el Teide, la Caldera de Taburiente y el Macizo Galaico-Leonés.
- Incorporación al consorcio de predicción numérica ACCORD.
- Actualización del modelo numérico operativo en el nuevo sistema de supercomputación.



## I+D+I

- Desarrollo del prototipo de reanálisis regional de alta resolución para la Península Ibérica y Baleares: IBERA (IBerian ReAnalysis).
- Mejora de la asimilación de datos utilizando un algoritmo 4DVar.
- Prolongada 5 años más la actividad del SAF de Nowcasting.



## SERVICIOS CLIMÁTICOS

- Servicio climático de apoyo en la gestión de embalses aplicando predicción estacional.
- Desarrollo del prototipo de servicio climático para la mejora del rendimiento de cosechas de cereal en Castilla y León.



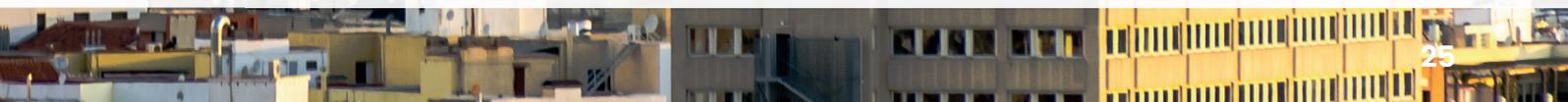
## COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN DE DATOS E INFORMACIÓN

- La página web de la Agencia cumplió 25 años, alcanzándose el máximo diario mensual histórico de páginas visitadas el día 8 de enero de 2021, con más de 33 millones.



## COOPERACIÓN AL DESARROLLO

- Contribución a la formación de profesionales nicaragüenses en Meteorología.



## 3

PRINCIPALES CIFRAS E INDICADORES  
2021

## CIFRAS CLAVE

Datos económicos (en euros)	2021	2020
Presupuesto final	124.687.162	135.887.694
Ejecución	84%	79%
Ingresos procedentes de la aeronáutica	31.090,969	24.259.369
Ingresos tributarios	1.609.863	1.649.164
Ingresos proyectos I+D+i	1.549,799	1.067,296
<b>Recursos humanos</b>	<b>2021</b>	<b>2020</b>
Personal total	1.116	1.113
En servicios centrales	311	323
En delegaciones territoriales	805	790
Meteorólogos	184	173
Diplomados	259	251
Observadores	470	455
Personal con horario especial	504	507
<b>Productos y servicios</b>	<b>2021</b>	<b>2020</b>
Avisos de nivel rojo	167	99
Avisos de nivel naranja	2.590	2.338
Avisos de nivel amarillo	14.092	14.863
Certificados e informes	1.134	1.419
Páginas visitadas en la web (media diaria)	12.823.806	9.651.815
Máximo de páginas visitadas en un día	33.427.524 (8 de enero)	19.711.786 (18 de septiembre)
<b>Redes de observación</b>	<b>2021</b>	<b>2020</b>
Observatorios con personal propio	98	98
Estaciones meteorológicas automáticas	851	848
Estaciones con colaboradores	2.163	2.215
Pluviómetricas	1.266	1.291
Termopluviométricas	893	920
Termométricas	4	4
Radares meteorológicos	15	15
Detectores de descargas eléctricas	19	19

## CIFRAS CLAVE (continuación)

Estación VOS (buques Esperanza del Mar, Juan de la Cosa, Hespérides)	3	3
Estaciones radiosondeo (1 en buque Esperanza del Mar)	9	8
Estaciones radiosondeo de ozono	2	2
Estaciones de medida de radiación	60	60
Estaciones con espectrofotómetros Brewer	6	6
Estaciones con fotómetros CIMEL	10	7
Estaciones EMEP/VAG/CAMP de medida de la contaminación de fondo	13	13
Estación de Vigilancia Atmosférica Global (GAW Global)	1	1
Publicaciones	2020	2019
Artículos en revistas con revisión por pares	61	46
Publicaciones del programa editorial	14	32

## INDICADORES

Disponibilidad y puntualidad de productos y servicios	Objetivo	2021	2020
Disponibilidad de datos de observación en tiempo real			
Disponibilidad de datos radar	90 %	94,8 %	94,4 %
Disponibilidad de datos de estaciones meteorológicas automáticas	81 %	94,6 %	93,6 %
Disponibilidad de mensajes sinópticos	95 %	98,9 %	99,0 %
Disponibilidad de datos ambientales			
Disponibilidad de datos de radiación	87 %	98,3 %	98,1 %
Disponibilidad de datos de ozono	82 %	94,3 %	99,3 %
Disponibilidad de datos de contaminantes	87 %	96,3 %	97,1 %
Puntualidad de productos y servicios generales			
Productos del SNP emitidos sin retraso (o con retraso inferior a 15 min)	95 %	98,7 %	98,5 %
Peticiones atendidas en plazo	95 %	83,7 %	86,9 %
Puntualidad de productos para la aviación			
Mensajes METAR recibidos en hora	98 %	99,4 %	99,3 %
Mensajes TAF recibidos en hora	98 %	98,5 %	99,0 %
Mapas aeronáuticos SIGWX sin retraso (o con retraso inferior a 15 min)	98 %	95,0 %	99,8 %
Calidad de productos y servicios	Objetivo	2021	2020
Predicciones de temperaturas máximas y mínimas			
Predicciones de temperaturas máximas con error inferior a 2°C	75 %	84,8 %	84,3 %
Predicciones de temperaturas mínimas con error inferior a 2°C	75 %	82,3 %	81,8 %
Calidad de las observaciones climatológicas			
Datos validados incorporados al banco nacional de datos climatológicos	93 %	95,6 %	94,3 %
Verificación del TAF			
Pronósticos TAF con un nivel de acierto BUENO	94 %	94,9 %	94,4 %
Avisos de fenómenos meteorológicos adversos	Objetivo	2021	2020
Avisos a escala provincial	Tasa de falsas alarmas	36,9 %	38 %
	Probabilidad de detección	67,0 %	55 %

# 4

## SERVICIO PÚBLICO

### 4.1

#### Apoyo a la seguridad frente a fenómenos meteorológicos adversos

##### 4.1.1

##### Integración de los avisos por ola de calor y las alertas sanitarias

El Plan Meteocalentamiento emite avisos de fenómenos meteorológicos adversos hasta 72 horas antes de que se produzcan. De este modo, los ciudadanos y las instituciones pueden acceder a información actualizada sobre la situación meteorológica. Por otro lado, el Ministerio de Sanidad, en coordinación con AEMET, lleva desarrollando desde el año 2004 el Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos de los Excesos de Temperaturas sobre la Salud. Este sistema de alertas, activo entre el 1 de junio y el 15 de septiembre, busca reducir el impacto de las altas temperaturas en la salud de la población.

En 2021 la Agencia ha iniciado una serie de actuaciones para integrar ambos planes. En este sentido, una de las novedades presentadas es la modificación de los criterios para emitir los Avisos

- La emisión del aviso especial por ola de calor de AEMET coincidió con episodios con valores significativamente elevados de los niveles de riesgo del Plan del Ministerio de Sanidad

Especiales de Ola de Calor del Plan Meteoadvertencia, que a partir de ahora tendrán en cuenta los niveles de riesgo de persistencia establecidos en el Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud. Además, las alertas especiales contendrán un nuevo apartado denominado Niveles de riesgo sobre la salud. En este epígrafe se incluirá un mapa del riesgo en cada territorio, elaborado por el Ministerio de Sanidad. De este modo, la emisión del aviso especial por ola de calor coincidirá con episodios con valores significativamente elevados de los niveles de riesgo del Plan del Ministerio de Sanidad.

## 4.2

### El servicio a la navegación aérea

#### 4.2.1

##### **Certificado de calidad ISO 9001:2015 y como proveedor de servicios a la navegación aérea**

En noviembre tuvo lugar la segunda auditoría de seguimiento del certificado ISO 9001:2015 del sistema de gestión de calidad para los servicios que la Agencia presta a la navegación aérea civil, manteniendo el certificado desde el 2011.

Con este certificado, AEMET reafirma su compromiso estratégico con la mejora de sus servicios y, en particular, con la calidad y la seguridad operacional de los servicios que presta a la navegación aérea. Esta certificación ofrece tres ventajas fundamentalmente: mejora los procesos y elimina los costes de la "no calidad", logra una mayor implicación de los profesionales en la consecución de los objetivos, y transmite los compromisos con la calidad a todas las partes interesadas.

Para mejorar la seguridad aeronáutica se implementaron nuevos productos orientados a informar y acotar la incertidumbre de la predicción

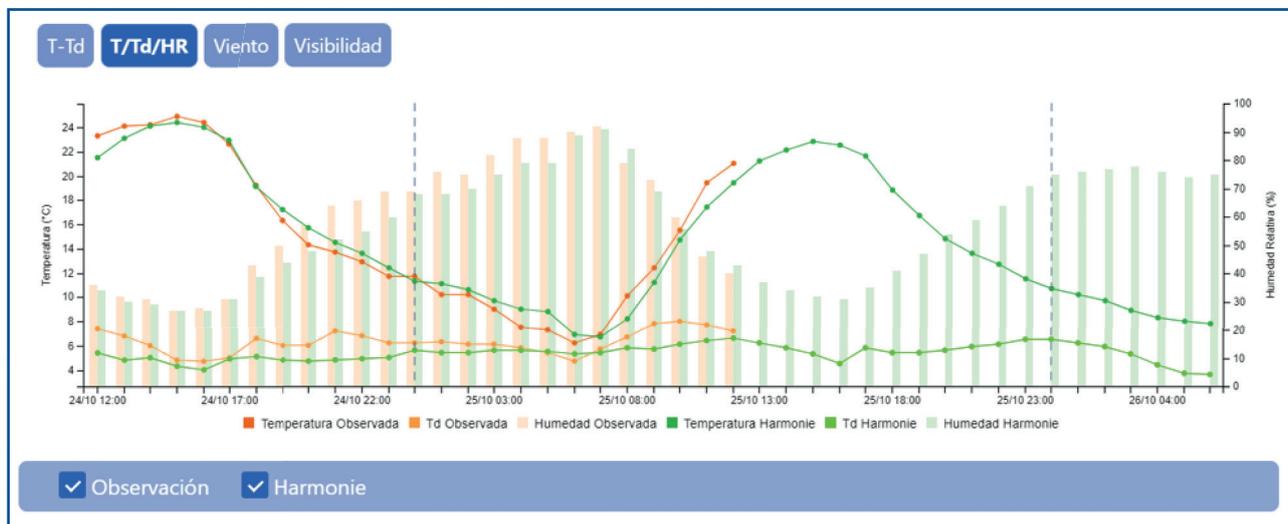
#### 4.2.2

##### Predicción de la visibilidad en el aeropuerto de Badajoz-Talavera

Para impulsar la mejora de la predicción de la visibilidad en el aeropuerto de Badajoz-Talavera, fenómeno que ocasiona múltiples problemas en los meses de diciembre y enero, se ha desarrollado una aplicación específica para que sirva de ayuda a la toma de decisiones de los predictores durante episodios de visibilidad reducida.

Se ha establecido un método de predicción en base a la superación de unos umbrales de variables del modelo Harmonie y se ha desarrollado e implementado una aplicación informática que permite visualizar los datos en tiempo real de observación en las cabeceras de pista, visualizar la visibilidad prevista directamente por el modelo Harmonie y por el algoritmo basado en superación de umbrales y, por último, visualizar en tiempo real la discrepancia entre los cálculos de visibilidad prevista y la observación.

#### VERIFICACIÓN VISIBILIDAD AEROPUERTO DE BADAJOZ



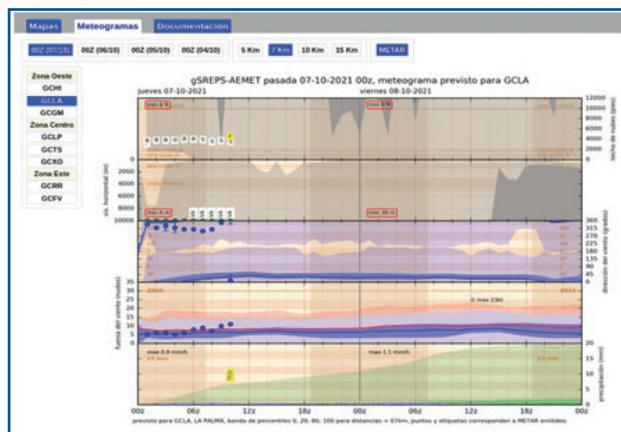
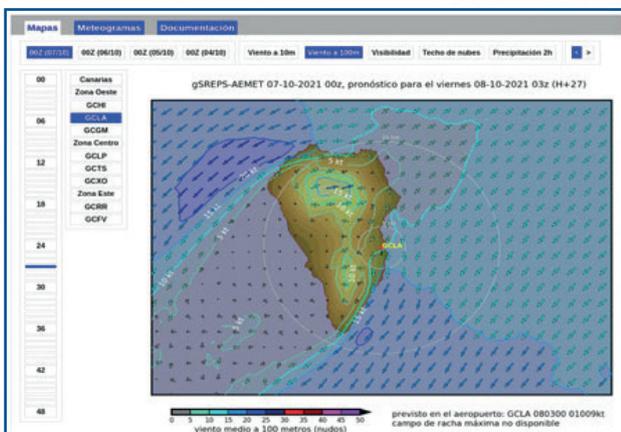
Pantalla de verificación de la aplicación. Gráficas de temperatura ( $T$ ), punto de rocío ( $Td$ ) y humedad relativa ( $HR$ ).

### 4.2.3

#### Nuevos productos probabilísticos para soporte de la predicción aeronáutica

En 2021, con el fin de contribuir a mejorar la seguridad aeronáutica en España, se pusieron a disposición de los predictores nuevos productos aeronáuticos basados en el sistema de predicción por conjuntos probabilístico (AEMET- $\gamma$ SREPS), que informan y acotan la incertidumbre asociada a la predicción. Los productos integran dos fuentes de incertidumbre: la propia inherente al proceso de predicción numérica del tiempo, y la incertidumbre espacial considerando igualmente válidos y representativos todos los datos en el entorno de los aeropuertos en radios de 5, 7, 10 y 15 kilómetros. Mientras que la segunda ya era tenida en cuenta en los productos equivalentes generados con el modelo determinista (HARMONIE-AROME), la primera es una novedad incorporada gracias a los 20 miembros de  $\gamma$ SREPS (20 predicciones diferentes pero igualmente plausibles). Se proporcionan dos tipos básicos de productos: mapas de valores medios de variables de interés aeronáutico en diferentes dominios aeronáuticos, para diferentes alcances de predicción, y meteogramas con la evolución temporal de una selección de variables para cada uno de los aeropuertos españoles para dar soporte a la predicción y ulterior gestión de estos.

#### PRODUCTOS AERONÁUTICOS PARA LA ISLA DE LA PALMA



Ejemplo de los nuevos productos aeronáuticos para la isla de La Palma durante la erupción del volcán Cumbre Vieja. Arriba: viento medio previsto a 100 metros de altura en torno a la isla; abajo: meteogramas con incertidumbre espacial de 7 km y con observaciones (METAR) en el aeropuerto de La Palma.

### 4.2.4

#### **Incertidumbre de las predicciones meteorológicas en la gestión del tráfico aéreo**

En 2021 finalizó el proyecto “Gestión de la incertidumbre meteorológica para un tráfico aéreo más eficiente (MetATS)”, cuyo objetivo ha sido mejorar el sistema de tráfico aéreo, en términos de eficiencia y seguridad, mediante la integración de información meteorológica, y especialmente de la incertidumbre de las predicciones. La Agencia se ha integrado dentro de un consorcio, y su actividad ha estado centrada en el desarrollo de aplicaciones para el cálculo de la probabilidad de la convección y de la turbulencia en aire claro (CAT), y para la obtención de la incertidumbre en las predicciones del “Rapid developing thunderstorms (RDT)”, producto generado en el marco del SAF de Nowcasting.

## 4.3

### **Información para la salud y el medioambiente**

#### 4.3.1

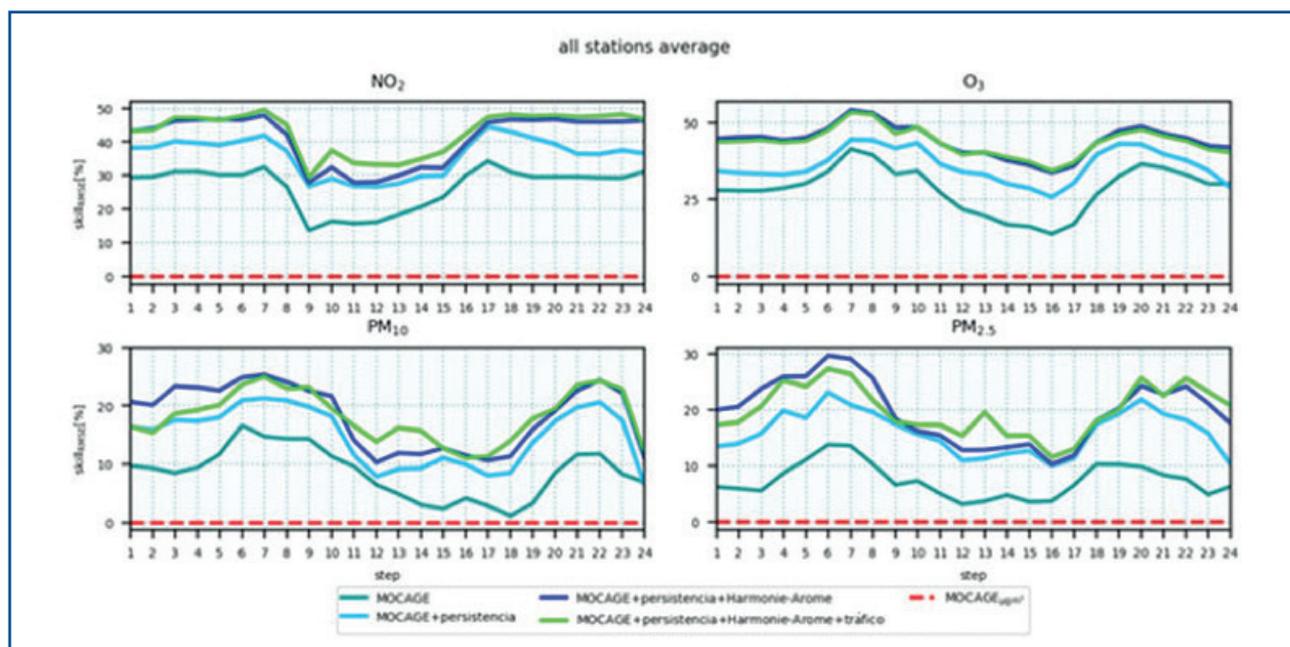
##### **Segundo año del proyecto SISPAIR para la mejora de la predicción de calidad del aire a nivel regional**

En el marco del convenio entre AEMET y la Comunidad Autónoma de Madrid (Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Sostenibilidad) para la realización del proyecto de investigación “Sistema de Predicción de la calidad del Aire a nivel Regional” (SISPAIR), se ha acometido la corrección del sesgo de las salidas del modelo operativo de transporte químico y aerosoles MOCAGE mediante una técnica MOS (Model Output Statistics) en las estaciones de medida de la Comunidad de Madrid. La técnica de regresión lineal aplicada es la conocida como “Lasso” con validación cruzada. El periodo de entrenamiento-validación consta de 21 meses y abarca desde 2018-09-01 hasta 2020-08-31, sin contar el intervalo [2020-03-15 - 2020-06-15]. El periodo de test consta de 9 meses y abarca desde 2020-09-03 hasta 2021-05-31.

Se ha elaborado un MOS distinto para cada conjunto de componente químico-estación-alcance. Finalmente, las variables empleadas en el postproceso han sido las salidas directas de MOCAGE, las observaciones pasadas y algunas variables del mo-

delo meteorológico HARMONIE-AROME, dejando por el momento las variables procedentes del tráfico. El método MOS mejora los resultados del postproceso aplicado hasta ahora, basado en la técnica "Hybrid-Forecast", que da resultados más ambivalentes y presenta problemas en los días en los que hay un cambio de tendencia en las especies químicas debido al cambio en la situación meteorológica. Las mejoras de las salidas postprocesadas con el método MOS frente a las salidas directas del modelo MOCAGE en las estaciones de calidad del aire de la Comunidad de Madrid se pueden ver en la figura, con valores entre el 30% y el 50% para el NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno) y el O<sub>3</sub> (ozono), y entre el 10% y el 30% para los materiales particulados PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.

#### ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE DE LA COMUNIDAD DE MADRID



Muestra de las mejoras en tanto por ciento de las diferentes versiones de las salidas postprocesadas mediante la técnica MOS en las estaciones de calidad del aire de la Comunidad de Madrid, usando diferentes datos: solo salidas directas de MOCAGE (azul grisáceo); MOCAGE y observaciones pasadas (azul claro); MOCAGE, observaciones pasadas y variables de HARMONIE-AROME (azul); y MOCAGE, observaciones pasadas, variables de HARMONIE-AROME y datos de tráfico (verde). Las predicciones brutas de MOCAGE se toman como referencia (rojo).

# 4.4

## Apoyo a la Defensa y la Seguridad del Estado

### 4.4.1

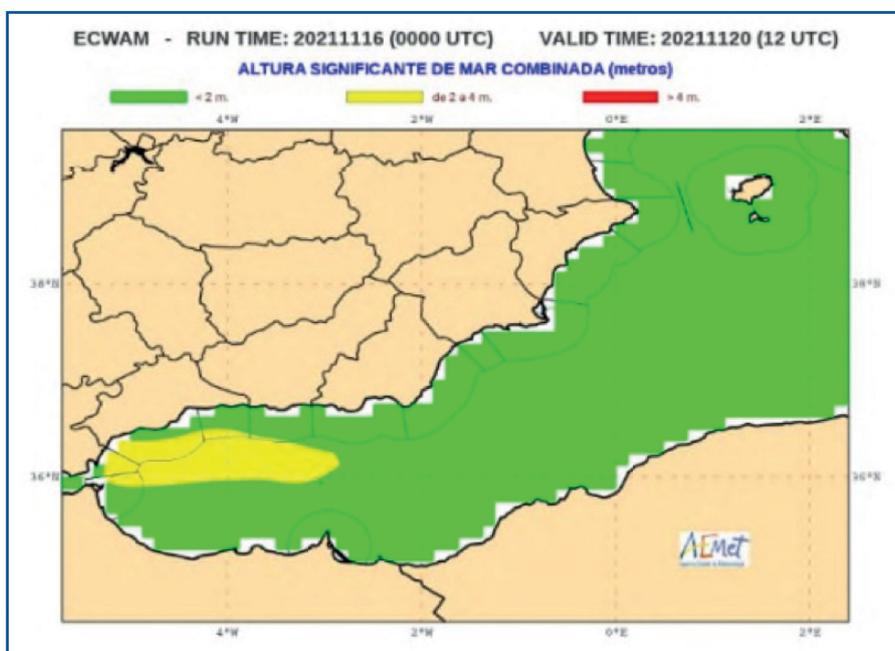
#### Servicio de apoyo a la Guardia Civil en materia de predicción marítima

AEMET, como Servicio Meteorológico Nacional, tiene encomendada la tarea de elaboración, suministro y difusión de información meteorológica y predicciones de interés general en el ámbito nacional. Así mismo, tal y como recoge su catálogo de servicios, también debe facilitar a los ciudadanos y a las instituciones públicas la mejor y más actualizada información posible sobre los fenómenos adversos que se prevean; finalmente, su actuación debe favorecer la formación, consultoría, asesoría y asistencia técnica así como el apoyo al desarrollo de competencias a cualquier entidad de la Administración pública. En atención a esos tres puntos y fruto de una colaboración interadministrativa, la Agencia ha desarrollado un nuevo visor de información marítima, que tiene como objetivo apoyar al Servicio Marítimo de Guardia Civil en la vigilancia fronteras.

- ■ AEMET ha desarrollado un nuevo visor de información marítima para apoyar al Servicio Marítimo de Guardia Civil en la vigilancia de fronteras

En el visor, de uso restringido, se presentan las condiciones marítimas previstas mediante información detallada de predicciones de oleaje, visibilidad o viento, entre otras variables. La información generada permitirá a la Guardia Civil optimizar sus capacidades operativas anticipando de forma proactiva cualquier situación compleja que se presente.

### SALIDA GRÁFICA GENERADA POR VISOR



Ejemplo de salida gráfica generada por el nuevo visor desarrollado por AEMET.

# 5

## ACTIVIDADES CLAVE

### 5.1

#### Observación e infraestructuras

##### 5.1.1

##### Avances en la incorporación de España al sistema europeo de Observación Integrada de Carbono (ICOS)

Actualmente, la investigación atmosférica está centrada en identificar y cuantificar las principales fuentes y sumideros de Gases de Efecto Invernadero (GEIs), así como en adquirir un mayor conocimiento de los procesos de retroalimentación climática. Para lograr este objetivo surge, a nivel europeo, el Sistema Integrado de Observación del Carbono ICOS (Integrated Carbon Observation System; <https://www.icos-cp.eu/>), como un consorcio de infraestructura de investigación formado y financiado por los estados participantes. Esta infraestructura nació con la idea de tener una red de medición consistente y sostenida que opere exactamente bajo los mismos estándares técnicos y científicos para permitir una investigación de alta calidad sobre el cambio climático. Los datos de ICOS servirán para tener mejor visión de la Tierra y su respuesta al cambio climático.

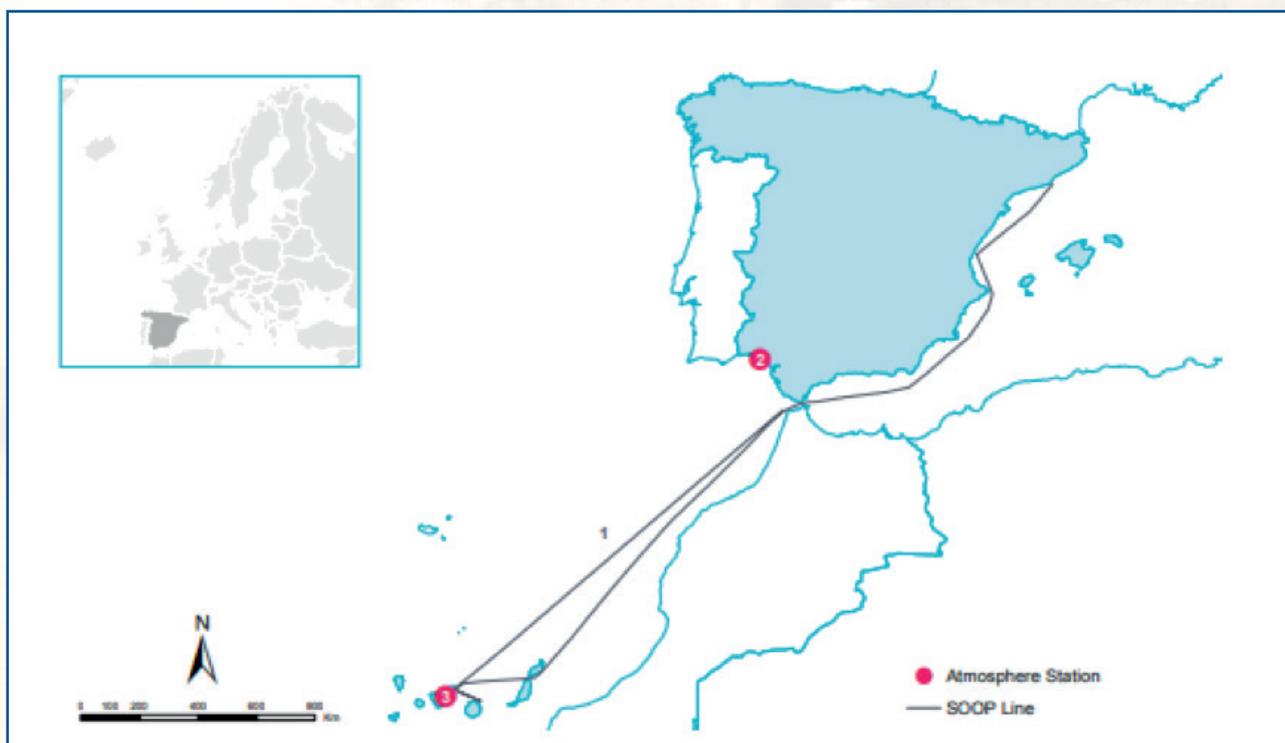
Además, los datos de ICOS generan conocimiento científico, que ayudará a avanzar en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y los Retos de la Sociedad de la Unión Europea, especialmente los relacionados con el cambio climático. En este momento, esta infraestructura de investigación europea está constituida por 14 estados miembros y 150 estaciones de medida gestionadas por más de 110 universidades e institutos de investigación europeos.

La red nacional, ICOS-Spain (<https://icos-spain.aemet.es/>), está integrada por el grupo QUIMA del Instituto de Oceanografía y Cambio Climático perteneciente a la Universidad de Las Palmas (ULPGC), el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y AEMET, encar-



gada de las tareas de coordinación de esta infraestructura nacional. En la actualidad ICOS-Spain está constituida por 3 estaciones de medida, dos estaciones atmosféricas (Izaña y El Arenosillo) y una estación oceánica (CanOA-VOS). La estación oceánica, gestionada por la ULPGC, esta implementada sobre un barco comercial instrumentalizado, que navega siguiendo siempre la misma ruta entre las Islas Canarias y Barcelona, midiendo el contenido de CO<sub>2</sub> diluido, además de otros parámetros, en el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo, siendo de especial interés científico las observaciones realizadas en el Estrecho de Gibraltar, lugar donde se pro-

### RED DE ESTACIONES ICOS-ESPAÑA



Distribución de las estaciones ICOS-Spain. La ruta marítima del barco comercial donde está instalada la estación oceánica CanOA-VOS se representa con trazos rectos. Las estaciones atmosféricas se indican con círculos: (2) Estación de El Arenosillo y (3) Observatorio de Izaña

duce la interacción de dos masas de agua con características diferentes. El observatorio de Izaña proporciona desde 1984 registros de concentraciones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> al actual programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG). Los programas ICOS y VAG operarán en Izaña en paralelo, pero independientemente entre sí. Ambas estaciones, Izaña y CanOA-VOS, están finalizando la última etapa de su proceso de certificación ICOS, donde se garantiza que la precisión de los instrumentos cumple los límites establecidos. En 2021, ICOS-Spain anunció su intención de incorporar la estación de El Arenosillo, gestionada por el INTA, a la red de estaciones europeas de ICOS.

■ ■ La red nacional ICOS-Spain tiene dos estaciones atmosféricas y una estación oceánica, cuyas observaciones de CO<sub>2</sub> diluido en mar en el área del Estrecho de Gibraltar son de especial relevancia científica

Las actuales y futuras estaciones de ICOS-Spain conseguirán expandir la cobertura geográfica de la infraestructura europea del Sistema Integrado de Observación del Carbono ICOS, permitiendo que las observaciones de esta red alcancen hasta la zona subtropical del Océano Atlántico. Además, las estaciones de ICOS-Spain están integradas en otras redes de observación internacionales como son: Total Carbon Column Observing Network (TCCON), COllaborative Carbon Column Observing Network (COCCON), ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace Gases Research Infraestructure) o el programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG), abriendo la posibilidad de interesantes sinergias entre la red europea ICOS y estas redes de observación.

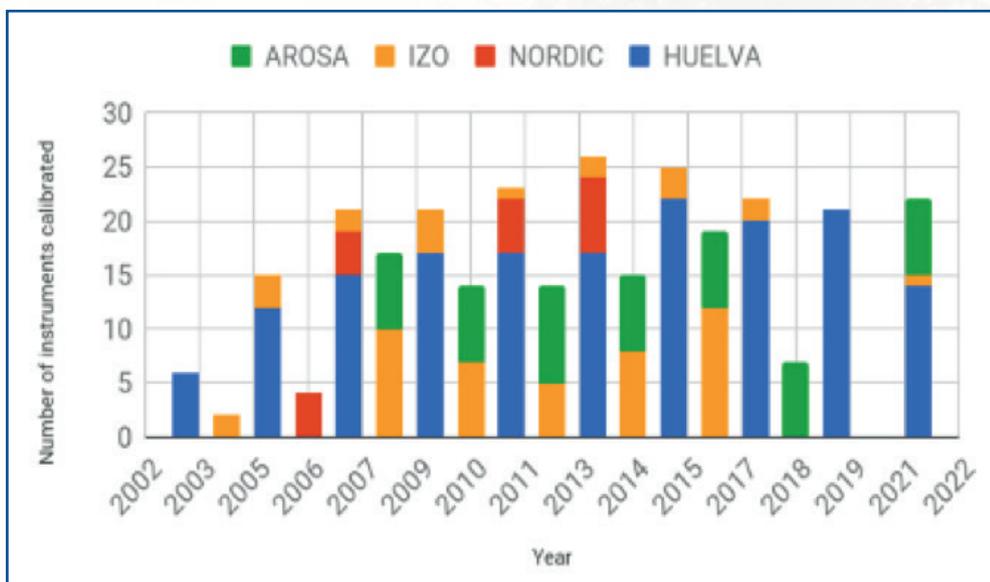
### 5.1.2

#### **El RBCC-E retoma las actividades de calibración detenidas por la pandemia**

El comité científico para las observaciones de ozono de la OMM (O3SAG, Scientific Advisory Group) ha recomendado durante su última reunión celebrada en Ginebra que el RBCC-E sea reconocido como centro de referencia para las observaciones de ozono (Refe-

rence Calibration Laboratory), lo cual implica que, además de actuar como referencia para la región IV, es referencia mundial, labor que comparte al mismo nivel con el Centro de Calibración Mundial de Toronto. Esta nominación reconoce la labor del RBCC-E, que desde 2011 transfiere su propia referencia, realizando anualmente campañas de intercomparación en las que se han calibrado más de 100 instrumentos.

### RBCC-E CALIBRATED BREWERS



*Evolución del número de calibraciones en diferentes lugares de Europa.*

Durante el año 2021 se han retomado las actividades de calibración de la red europea de espectrofotómetros brewer interrumpidas por la pandemia, celebrándose las campañas de Davos y Huelva en las que se han calibrado 22 instrumentos.

**El comité científico para las observaciones de ozono de la OMM ha recomendado que el RBCC-E sea reconocido como centro de referencia mundial**



*Trabajos nocturnos durante la intercomparación de Huelva -septiembre 2021.*

### 5.1.3 Cirrus, el nuevo sistema de supercomputación

En septiembre del 2021 entró en operación el nuevo sistema de supercomputación, adquirido por procedimiento abierto de licitación y adjudicado a favor de la empresa Caixabank Equipment Finance S.A.U., que presentó una propuesta basada en la tecnología de la empresa tecnológica Atos IT Solutions and Services.

El nuevo supercomputador Cirrus, el tercero más potente de España y con una capacidad de cálculo diez veces superior a la actual, está activo desde septiembre de 2021

Uno de los retos más significativos de los servicios meteorológicos es el de proporcionar predicciones meteorológicas cada vez más precisas y detalladas especialmente en la previsión de fenómenos meteorológicos extremos cuya frecuencia e intensidad se ve incrementa-

da como consecuencia del cambio climático. Abordar esta cuestión pasa por disponer de una creciente capacidad de computación que permita mejorar los modelos de predicción, herramienta clave predictiva, mediante el incremento de la resolución espacial con la que trabajan (las dimensiones en kilómetros de los fenómenos que son capaces de reproducir), así como el aumento de la cantidad de observaciones que los alimentan, lo que se traduce en una mayor pericia predictiva del modelo. Lo descrito se hace extensivo a los modelos climáticos que intentan representar el clima del futuro y que resultan claves en el estudio del cambio climático y en la adopción de medidas de adaptación.

El nuevo supercomputador proporcionará una capacidad de cómputo aproximadamente diez veces superior a la actual, consistiendo en dos Clústeres similares equipados con más de 50.000 cores basados en la tecnología EPYC Roma de AMD, con una capacidad de 5,9 PB de almacenamiento bruto; todo ello unido mediante una red de baja latencia Infiniband a 200 Gbits/seg.

Este nuevo HPC servirá para reforzar y ampliar las capacidades actuales en diferentes ámbitos como la predicción meteorológica, especialmente la de fenómenos meteorológicos adversos, el cambio climático, la predicción de oleaje; para fomentar la colaboración con organismos internacionales y para la optimización de grandes volúmenes de información disponibles. La otra gran ventaja de disponer de renovadas capacidad de cálculo es que los modelos empleados pueden sofisticarse para reproducir nuevos aspectos de nuestro sistema atmosférico/climático obtenidos como resultado de los avances científicos en el conocimiento del comportamiento de la atmósfera y del clima. Ese es el caso de la composición química de la atmósfera y su efecto en la calidad del aire o el estado de oleaje en el océano.

#### 5.1.4

##### Mejora en la red de estaciones de observación de alta montaña

AEMET ha conseguido completar las principales necesidades de observación meteorológica automática en altura en todas las comarcas del Pirineo Aragonés, con la instalación de la nueva estación de Astún-La Raca a 2275m de altitud en la comarca de la Jacetania. Astún-La Raca se une a las estaciones ya previamente instaladas en el Alto Gállego en Panticos-Petrosos a 1850 m, en el Sobrarbe en Torla El Cebollar a 1950 m y en la Ribagorza en Cerler-Cogulla a 2375 m. Además en Formigal se ubica también otra estación automática a 1800 m dentro del Centro de Experimentación ubicado en la zona de Sarriós.



*Estación automática de alta montaña en Astún-La Raca.*

Estas estaciones automáticas se encuentran ubicadas en zonas expuestas para poder caracterizar las condiciones meteorológicas, especialmente en condiciones extremas, y complementan a la red manual en altura en Pirineo Aragonés y Navarra ubicada en refugios de montaña de la Federación Aragonesa y Navarra de Montañismo, y en todas las estaciones de esquí. También se caracterizan por unas comunicaciones en tiempo real cada diez minutos, con desarrollo tecnológico propio de AEMET.

Sus aplicaciones son múltiples; seguridad en montaña, seguimiento del clima por ser zonas sensibles al cambio climático, predicción y vigilancia meteorológica, estado del manto nivoso o certificados oficiales son solo unos cuantos ejemplos de su utilidad.

## La red de estaciones de alta montaña de AEMET con tecnología propia está compuesta por 9 estaciones

Una réplica de estas estaciones, basadas en la misma tecnología, se han instalado también en Sierra Nevada (en Dilar a 2856 m) y tres en el Pirineo Catalán (en Cap de Vaqueira a 2467 m, Port Ainé a 2410 m y Cap de Rec a 1940 m), por lo que la red de estaciones de alta montaña de AEMET con tecnología propia se compone actualmente de 9 estaciones.

### 5.1.5

#### Nueva autosonda en Santander

En noviembre de 2021 empezaron a lanzarse las radiosondas de Santander de forma automática, con el nuevo equipo.



Comparando la altitud a la que llegaban los globos cuando se hacía de forma manual, se ha apreciado una notable mejora de la calidad, sobre todo en los niveles de 30 y 10 hPa.

# 5.2

## Predicción y vigilancia

### 5.2.1

#### El Teide, la Caldera de Taburiente y el Macizo Galaico-Leonés, nuevas áreas con predicción meteorológica de montaña

La presencia cada vez mayor de usuarios aficionados que frecuentan la montaña para realizar actividades deportivas (bicicleta, esquí, barranquismo,...), o simplemente buscando aire puro, reposo, grandes espacios, placeres estéticos ha supuesto un aumento significativo de la demanda de información meteorológica específica. Estas actividades se desarrollan en un medio natural que siempre comporta un riesgo. Este riesgo está fuertemente influenciado por los fenómenos meteorológicos, que en la montaña evolucionan muy deprisa y a menudo con violencia. Por ello, la predicción meteorológica es un factor de seguridad, confort y éxito, al anticipar los fenómenos y permitir la difusión rápida de las perspectivas de la evolución del tiempo.



### Incorporación de tres nuevas áreas a la predicción meteorológica de montaña diaria: el Teide, la Caldera de Taburiente y el Macizo Galaico-Leonés

En 2021 la Agencia incorporó tres nuevas áreas a su predicción meteorológica de montaña diaria: el Teide, la Caldera de Taburiente y el Macizo Galaico-Leonés. Desde el febrero de 2021 estas tres nuevas zonas se unen a las nueve ya existentes con contenidos meteorológicos específicos: Ibérica Aragonesa, Ibérica Riojana, Picos de Europa, Pirineo Aragonés, Pirineo Catalán, Pirineo Navarro, Sierra Nevada, Sierra de Gredos y Sierras de Guadarrama y Somosierra.

La predicción meteorológica de montaña que la Agencia Estatal elabora y difunde a través de su página web incorpora predicción a cuatro días relativa al estado del cielo, precipitaciones, tormentas,

vientos y temperaturas. Esta información se completa y detalla para el día en curso y el día siguiente con la predicción del viento en distintos niveles de la atmósfera libre, especialmente útil para la práctica del alpinismo y aficionados al vuelo libre, y los niveles en atmósfera libre de la isoterma de 0 °C y -10°C, magnitudes que indican, entre otras cosas, el ritmo al que se enfría la atmósfera con la altura. Finalmente se añade una predicción de la temperatura máxima y mínima así como la sensación térmica asociada a estos valores en distintos puntos del área montañosa. En ese sentido la sensación térmica da cuenta de la temperatura que realmente siente nuestro cuerpo cuando se ve afectado por el viento que, en situaciones de bajas temperaturas, intensificará la sensación de frío.

Con esta información la Agencia trata de cubrir las principales contingencias que en cualquier actividad lúdica o deportiva puedan aparecer como consecuencia de la meteorología, al tiempo que se ofrece información específica relevante que permita escoger el intervalo temporal y las zonas óptimas de ejecución de dichas actividades en estos entornos tan particulares.

## 5.2.2

### Actualización del modelo operativo en el nuevo sistema de supercomputación

El modelo operativo determinista HARMONIE-AROME ha sido actualizado a la versión 43h2.1 en septiembre de 2021, coincidiendo con la entrada en operación del nuevo superordenador Cirrus. El modelo se integra a 2.5 km de resolución horizontal hasta un alcance de 72 horas, cuatro veces al día. La nueva versión incluye mejoras en la base de datos fisiográfica (ECOCLIMAP Second Generation) y en la base de datos de textura de suelos (SOILGRIDS).



**Actualizaciones en el modelo operativo HARMONIE-AROME han supuesto una mejora en la predicción de la mayoría de las variables, especialmente en intensidad de viento y precipitación**

VERIFICACIÓN OBJETIVA

	Area: Spain-Portugal			
	AS20	ON20	DEF21	MAM21
MSLP	▲	△	△	△
T 2m	▲	△	△	▲
10m <u>wind</u>	▲	▲	▲	▲
10m <u>gust</u>	▲	▲	▲	▲
FF10> 10m/s	▲	▲	▲	▲
<u>Td</u> 2m	▼	▼	△	△
CC	△	△	△	△
Ppt12>3 mm	△	△	△	△
Ppt12>10 mm	△	▼	△	△

Resumen de los resultados de la verificación objetiva comparando las versiones 43h2.1 y 40h1.1 para distintos periodos. Los triángulos rellenos representan una confianza del 90%. Para la verificación categórica (FF10> and Ppt12>) no se ha realizado test de significancia y los resultados proceden de una evaluación subjetiva de las puntuaciones objetivas. Los periodos considerados son: 1 ago / 17 sep 2020 (AS20), 1 oct / 30 nov 2020 (ON20), 1 dic 2020 / 28 feb 2021 (DEF21) y 1 mar / 21 jun 2021 (MAM21).

También se incluye una actualización de la parametrización de los procesos superficiales (SURFEX v8.1) y se añade una nueva tesela para representar la heterogeneidad superficial. Además, incluye una parametrización de la rugosidad orográfica.

La actualización ha supuesto una mejora de la mayoría de las variables del modelo, como se puede observar en la tabla, destacando una disminución de los errores en las predicciones del viento, que reducen su sesgo un 25%. También destaca la mejora en las predicciones de precipitación.

5.2.3

Incorporación al consorcio de predicción numérica ACCORD

AEMET ha firmado el acuerdo para unirse al consorcio ACCORD (A Consortium for COonvection-scale modelling Research and Development) formado por 26 Servicios Meteorológicos Nacionales (SMN) de Europa y el Norte de África, con el objetivo de mejorar los modelos numéricos regionales utilizados para realizar las predicciones del tiempo con máxima resolución y calidad.

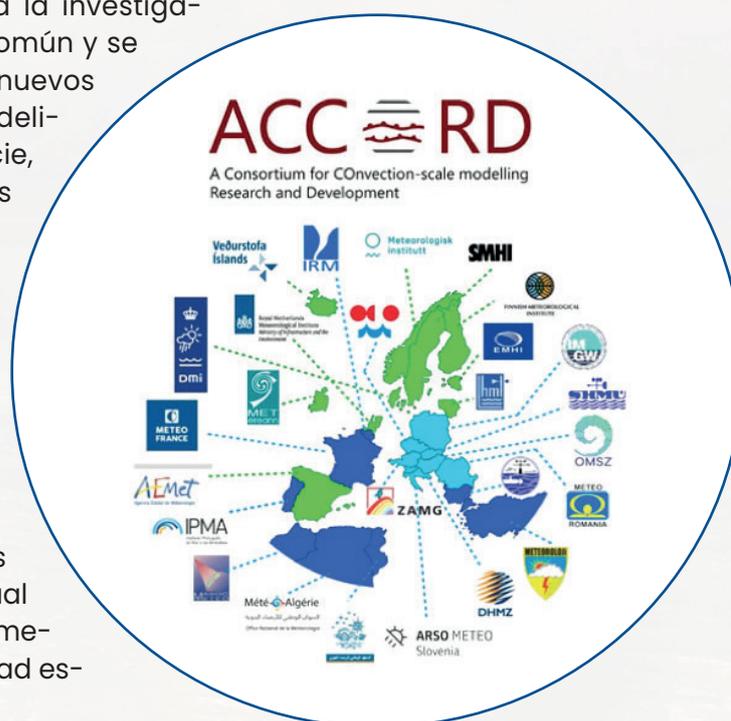
**AEMET ha firmado el acuerdo para unirse al consorcio ACCORD, con el objetivo de mejorar los modelos numéricos regionales**

Europa tiene una larga tradición de colaboración en meteorología: satélites meteorológicos que son operados por EUMETSAT, otras observaciones que son coordinadas por EUMETNET y predicciones meteorológicas globales para el medio plazo (entre 3 y 10 días de predicción) que son producidas por el Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (CEPPM).

Por otro lado, los Servicios Meteorológicos Nacionales (SMN) tienen la responsabilidad de la modelización de alta resolución a escala regional para el corto plazo (hasta 3 días de predicción). Para ello, desde los años 80, los SMN han formado diversos consorcios regionales. El nuevo consorcio ACCORD es el resultado de la fusión de varios de estos consorcios (HIRLAM, ALADIN y LACE).

Con esta colaboración se reforzará la investigación y el desarrollo de un modelo común y se podrá extender la colaboración a nuevos componentes del sistema de modelización de la atmósfera y la superficie, que es un sistema muy complejo. Las predicciones diarias y la distribución de productos seguirán realizándose a nivel nacional.

Con este gran esfuerzo común, AEMET pretende acelerar las mejoras de las predicciones meteorológicas, con el fin último de la salvaguarda de bienes y personas ante fenómenos meteorológicos adversos (cada vez más frecuentes en el actual contexto de cambio climático), y la mejora del servicio prestado a la sociedad española.



# 5.3

## Investigación y desarrollo

### 5.3.1

#### Prototipo de reanálisis regional de alta resolución para la Península Ibérica y Baleares: IBERA (IBerian ReAnalysis)

En 2021 se ha desarrollado un sistema de reanálisis regional de 2.5 km para la Península Ibérica y Baleares, analizando su viabilidad. El valor añadido del sistema evaluado procede de su mayor resolución comparado con otros reanálisis disponibles para la Península Ibérica y Baleares, de la utilización de muchas más observaciones de superficie, y de la sintonización regional realizada.

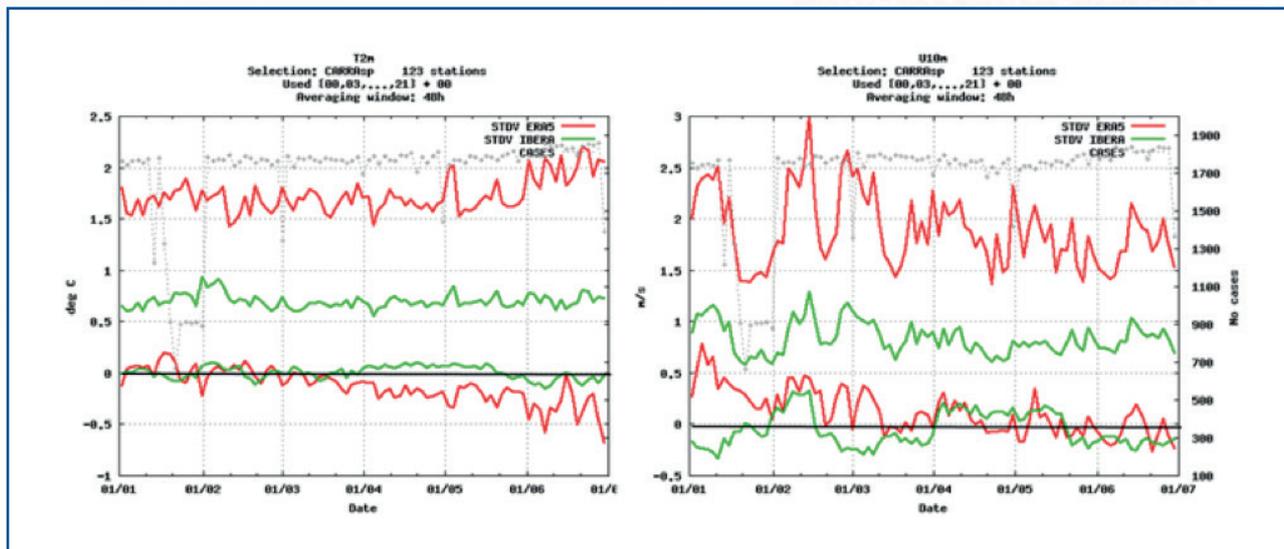
El nuevo sistema de reanálisis regional desarrollado para la Península Ibérica y Baleares mejora versiones previas de menor resolución

El sistema de análisis y predicción utiliza el modelo HARMONIE-AROME partiendo de una versión utilizada por el Copernicus Artic Reanalysis, que ha sido refinada para tener en cuenta las características de nuestro entorno geográfico. El sistema utiliza condiciones de contorno del reanálisis global de Copernicus ERA5. Además, la componente de gran escala de ERA5 también se introduce en el sistema de análisis de HARMONIE-AROME por un método conocido como "blending".

Las variables de superficie analizadas son presión, temperatura y humedad a 2 m, viento a 10 m, espesor de nieve y temperatura/humedad del suelo. El sistema se completa con un análisis de superficie offline conocido como SPAN, que es utilizado en el análisis de los campos de precipitación y temperaturas extremas.

Además de las observaciones de superficie utilizadas por el reanálisis ERA5, se utilizan observaciones de la red mesoescalar de

## VERIFICACIÓN OBJETIVA FRENTE A OBSERVACIONES



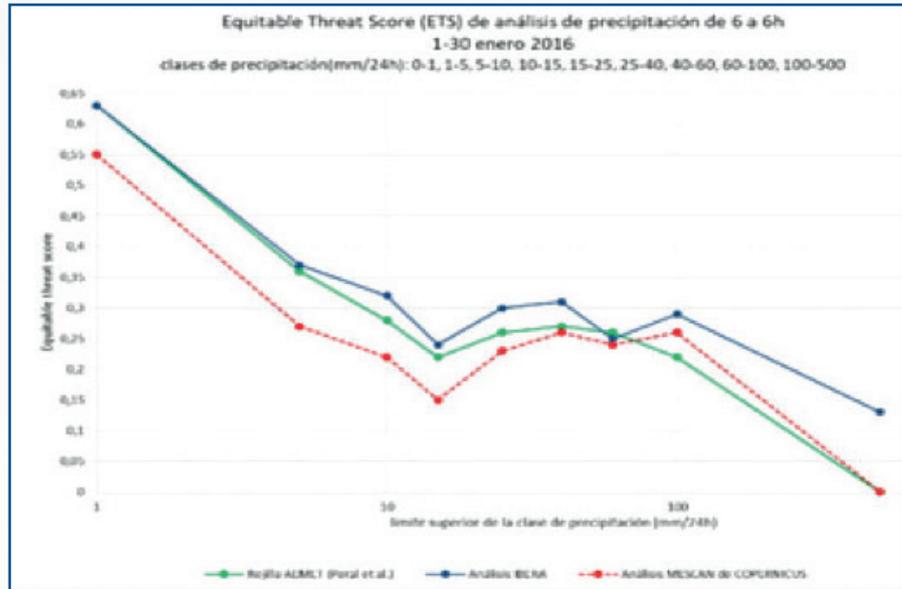
Verificación objetiva frente a observaciones de los análisis de temperatura (izda.) y viento (dcha.) de ERA5 e IBERA para el periodo 1 enero - 30 junio 2016. Se muestran la desviación estándar y el sesgo para los análisis de ERA5 (rojo) e IBERA (verde).

superficie, observaciones de precipitación y temperaturas extremas del Banco Nacional de Datos Climatológicos y observaciones de redes externas a AEMET. Entre estas observaciones externas, que se han empleado como observaciones independientes para la validación del prototipo, destacan las de las Confederaciones Hidrográficas, las de la red del Sistema de información Agroclimática para el regadío (SiAr) del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), y las de la red operada por la Xunta de Galicia.

El valor añadido del sistema IBERA puede verse en la figura, donde se presenta la verificación objetiva para la temperatura a 2 m y el viento a 10 m comparando con ERA5, y en la que puede observarse una reducción muy importante de los errores. El periodo de evaluación es 1 enero - 30 junio 2016.

En la siguiente figura se puede apreciar también la mejora de la precipitación comparada con la del reanálisis MESCAN de 5.5 km de COPERNICUS producido en el proyecto UERRA, así como respecto a la rejilla observacional suministrada por AEMET a través de su web ([http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/datos\\_diarios?w=2](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/datos_diarios?w=2)).

MEJORA DE LA PRECIPITACIÓN COMPARADA CON EL REANÁLISIS



Verificación objetiva frente a observaciones independientes de la precipitación producida por diferentes reanálisis para el periodo 1 al 30 de enero de 2016. Se muestra el valor del índice ETS para cada clase de cantidad de precipitación acumulada en 24 horas del reanálisis IBERA (azul), el reanálisis UERRA-MESCAN (rojo) y la rejilla generada regularmente en AEMET (verde) utilizando únicamente observaciones (Peral et al., 2017). Mayor ETS significa mejor análisis.

5.3.2

Mejora de la asimilación de datos utilizando un algoritmo 4DVar

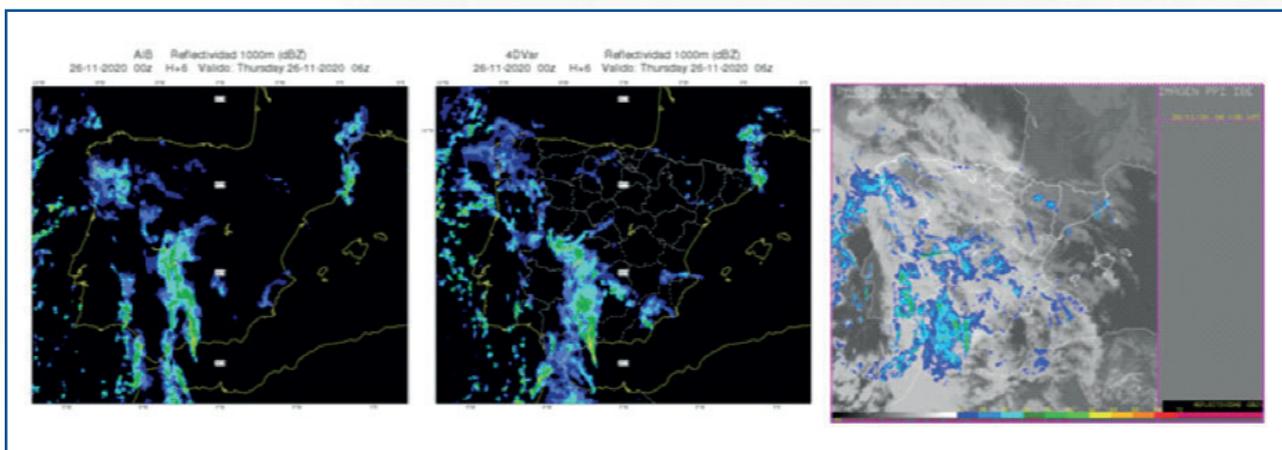
El sistema operativo de asimilación de datos de HARMONIE-AROME está basado en un algoritmo 3DVar que realiza análisis con las observaciones disponibles cada 3 horas considerando los datos entre -2hr y +1hr respecto a la hora para la que se realiza el análisis. Las observaciones incorporadas son observaciones convencionales (SYNOP, SHIP, DRIBU, AMDAR de aviones y sondeos TEMP), GNSS GPS Zonal Total Delay, radiancias de satélite ATOVS e IASI, datos de esca-

**Incorporación de un algoritmo 4DVar de asimilación de datos con la consiguiente mejora de la habilidad predictiva**

terómetros ASCAT y reflectividad de 40 radares de España, Francia y Portugal. Se considera que todas las observaciones se han realizado a la hora nominal del análisis y la información de las observaciones se propaga espacialmente de acuerdo con los errores típicos del modelo.

En cambio, el método 4DVar integra el modelo a lo largo de la ventana de asimilación, que es de 3 horas y se define entre -2hr y +1hr respecto a la hora del análisis. Esta integración permite comparar modelo y observación en el momento real de toma de la observación. Este hecho hace que el número de observaciones asimiladas respecto al 3DVar, se pueda llegar a multiplicar por 3. Además, el algoritmo 4DVar permite tener en cuenta los errores del modelo del día a la hora de propagar las observaciones espacio-temporalmente. Todo ello resulta en un algoritmo que puede mejorar sustancialmente la calidad del análisis y por ende, la predicción. En la figura se puede ver un ejemplo comparando las predicciones basadas en un análisis 3DVar con las basadas en un análisis 4DVar.

### PREDICCIONES DE REFLECTIVIDAD



Comparación de las predicciones de reflectividad para un alcance de 6 horas a partir de análisis 3DVar (izda) y 4DVar (centro) con la observación radar (dcha).

La utilización de algoritmos 4DVar para la asimilación de datos es muy frecuente en los modelos globales pero no tanto en los modelos regionales como HARMONIE-AROME. El desarrollo de 4DVar en HARMONIE-AROME ha sido posible gracias a la colaboración internacional en el marco del consorcio ACCORD en la cual el personal de AEMET está jugando un papel destacado. La desventaja de 4DVar respecto a 3DVar es que necesita mayores recursos de cálculo, pero después de su instalación en el nuevo superordenador se ha comprobado la viabilidad para su futuro uso operativo.

### 5.3.3

#### Intercomparación de medidas nocturna de aerosoles en columna

La Agencia participó en dos campañas internacionales para la intercomparación de medidas diurnas y nocturnas de aerosoles en columna celebradas entre los meses de septiembre y noviembre de 2021 en Roma (Italia) y Davos (Suiza).



*Fotómetros operando durante la campaña de intercomparación de AOD (profundidad óptica de aerosoles) solar y lunar celebrada en Roma en septiembre de 2021.*

### 5.3.4

#### Se prolonga 5 años más la actividad del SAF de Nowcasting

AEMET, en su papel de líder del Centro de Aplicaciones Satelitales de Predicción a muy Corto Plazo (SAF de Nowcasting) acaba de firmar un nuevo acuerdo con la Organización Europea para la Explotación de los Satélites Meteorológicos (EUMETSAT) para prolongar la actuación de este consorcio hasta 2027. La firma supone la generación de nuevas herramientas claves en la vigilancia y predicción temprana de fenómenos meteorológicos extremos, lo que redundará en una mejora en la protección de bienes y la salvaguarda de vidas.

Liderado por España, a través de AEMET, desde su inicio en 1997, el SAF de Nowcasting está integrado por los servicios meteorológicos de España, Francia, Suecia, Austria y Rumania, y pertenece a la Red de Centros de Aplicaciones Satelitales (Satellite Application Facilities, SAF) que EUMETSAT tiene distribuidos por Europa. Se trata de una institución clave y referente en la detección y predicción

## El SAF de Nowcasting, liderado por España a través de AEMET, prolonga su actividad 5 años más

temprana de fenómenos meteorológicos adversos; su papel, fundamental en la salvaguarda de vidas, consiste en el desarrollo, mantenimiento y distribución de Paquetes de Software a la comunidad meteorológica mundial, que permiten la generación de productos derivados de satélite con una aplicación directa en predicción inmediata (nowcasting) y a muy corto plazo; también proporciona soporte científico y formativo a sus usuarios entre los que se encuentran los servicios meteorológicos de múltiples países, universidades, centros de investigación y la comunidad meteorológica en general.

El consorcio se desarrolló a lo largo de 5 fases, de 5 años de duración cada una, a través de 4 fases operacionales tras una primera de desarrollo; esta nueva prórroga, denominada CDOP 4 (Continuous Development and Operations Phase 4) fue aprobada por el Consejo de EUMETSAT y ratificada mediante la firma del acuerdo por el Director General de EUMETSAT y el presidente de AEMET. A su vez, AEMET firmará subacuerdos con cada uno de los socios del consorcio. Entrará en vigor en 2022, momento en el que el SAF de Nowcasting cumplirá 25 años de existencia.

Supondrá mejorar los productos generados aprovechando las nuevas funcionalidades de los satélites de nueva generación que EUMETSAT va a lanzar: MTG (Meteosat third Generation) y EPS SG (EPS Second Generation). En particular el radiómetro FCI del Meteosat de Tercera Generación va a proporcionar datos con mayor resolución espacial y temporal que su equivalente situado en el Meteosat de Segunda Generación, además de contar con canales adicionales que permitirán nuevos desarrollos, así como un sensor para la detección de rayos desde el espacio. Además, el satélite MTG-S contará con un sondeador hiperespectral, un hito en el campo de satélites geoestacionarios sobre Europa que nos proporcionará información sobre la estructura vertical de la atmósfera con una alta resolución temporal de observación.

# 5.4

## Servicios climáticos

### 5.4.1

#### Servicio climático de apoyo en la gestión de embalses aplicando predicción estacional

La Agencia presentó en 2021 el nuevo servicio climático de libre acceso, S-ClimWaRe (Seasonal Climate predictions in support of Water Reservoirs management in Spain), desarrollado en colaboración con la Dirección General del Agua y varias Confederaciones Hidrográficas, que emplea la predicción estacional en el apoyo a la toma de decisiones para la gestión de los embalses, suministrando predicciones sobre las aportaciones de agua a los embalses en el invierno extendido de noviembre a marzo, periodo especialmente crítico al producirse gran parte del llenado de los embalses.

**Nuevo servicio climático S-ClimWaRe, libre, abierto y gratuito, de apoyo en la gestión de embalses basado en predicción estacional**

Una predicción con antelación de cómo se espera que vaya a ser la aportación de agua en cada embalse es una información adicional en el proceso de toma de decisiones. En aquellas zonas en las que esta predicción tiene pericia, su utilización permitirá discriminar mejor el carácter húmedo o seco del próximo invierno y supondrá un valor añadido en los ámbitos que gestionan estos recursos hídricos.

Un visor, accesible vía web, permite predecir las tres probabilidades previstas de que la aportación de agua a un embalse, durante el próximo periodo invernal de llenado, vaya a estar en el intervalo de los años históricos que presentaron un mayor/intermedio/menor

volumen de agua de entrada al embalse. El servicio se completa con información relativa a las probabilidades previstas de que el próximo periodo entre noviembre y marzo sea húmedo, normal y seco (tanto para la precipitación total como en forma de nieve), así como cálido, normal y frío en cualquier punto de la península, y su pericia asociada.

### VISOR DEL SERVICIO CLIMÁTICO PARA LA GESTIÓN DE EMBALSES



Ejemplo del visor del Servicio Climático para la Gestión de Embalses en España.

Este proyecto nació en 2014, en el marco del proyecto de investigación del 7º Programa Marco de la Unión Europea EUPORIAS (European Provision Of Regional Impact Assessment on a Seasonal-to-decadal timescale); una vez finalizado, un grupo de trabajo establecido entre la Dirección General del Agua, las Confederaciones Hidrográficas del Duero, Ebro, Miño-Sil y Tago, y AEMET, continuó los trabajos iniciados y generó una primera versión del visor que ha sido probada de forma experimental por los agentes implicados. La herramienta mejorada y más completa que se ha abierto al público en general a través de los portales web de AEMET (<http://embalses.aemet.es/embalses/sclimwareS5.html>) y de la Dirección General del Agua es fruto del trabajo realizado en el marco del Proyecto MEDSCOPE (MEDiterranean Services Chain based On climate PrEdictions, del Programa ERA4CS (European Research Area for Climate Services) de la Unión Europea.

Éste es el primer servicio climático de AEMET que emplea predicción estacional para generar valor y se engloba dentro de los requerimientos estratégicos que recoge el Plan Nacional de Adaptación del Cambio Climático, que cifra en 10 los nuevos servicios climáticos a desarrollar hasta 2030.

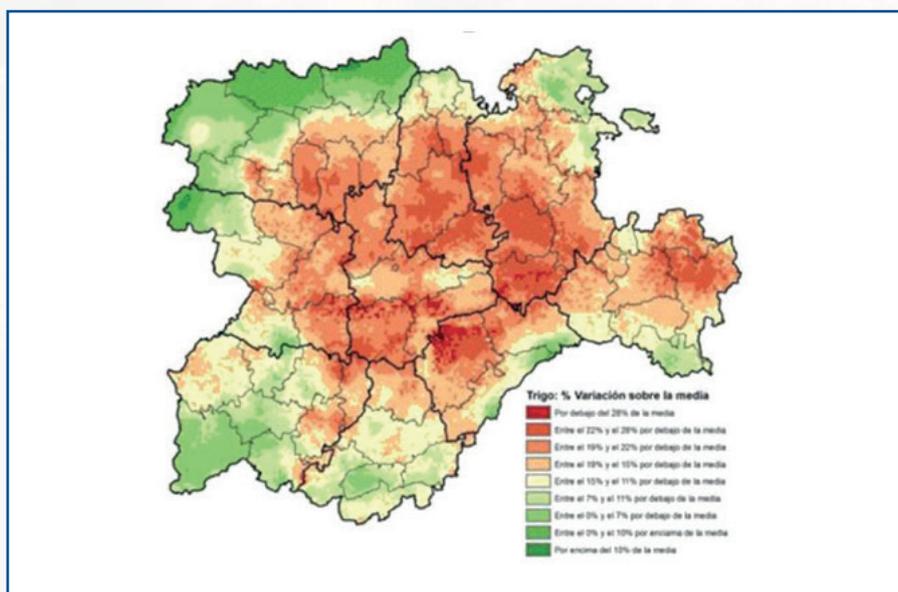
### 5.4.2

#### Prototipo de servicio climático para la mejora del rendimiento de cosechas de cereal en Castilla y León

La Delegación Territorial de AEMET en Castilla y León, en colaboración con el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL), ha desarrollado en los últimos años boletines de predicción de rendimiento de cosechas de cereal en Castilla y León. Para suministrar el rendimiento esperado de las cosechas a finales de junio se hace uso, entre otros datos, de observaciones meteorológicas, predicciones a medio plazo y de la climatología para ejecutar el modelo Aquacrop, desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación (FAO), en una rejilla de 2 km de resolución que cubre Castilla y León. Aquacrop se ejecuta cada día de la campaña (de septiembre a finales de junio). La información meteorológica que alimenta el modelo Aquacrop para los plazos de predicción más allá de 10 días es la climatología.

Dentro del proyecto MEDSCOPE, perteneciente a la iniciativa ERA4CS del Programa Marco Horizonte 2020 de la Unión Europea, se ha desarrollado y validado un prototipo que a comienzos de la primavera utiliza la regionalización de las predicciones estacionales del modelo System-5 del ECMWF para abril-mayo-junio (en vez de las condiciones meteorológicas ocurridas en estos meses en diferentes años del pasado, que es lo que se utiliza operativamente). Ello ha conllevado,

#### PREDICIÓN DEL RENDIMIENTO DE TRIGO



Predicción del rendimiento del trigo en porcentaje respecto al promedio climatológico (1986-2016) en el año 2017.

## El prototipo de servicio climático desarrollado, basado en información meteorológica, contribuye a la mejora del rendimiento de cosechas de cereal

además de la regionalización de los campos de predicción estacional, el rediseño completo del sistema que funciona actualmente, incluidos su postproceso y verificación, y la evaluación de los resultados obtenidos en comparación con el sistema actual. Los resultados y el análisis realizado muestran que la inclusión de la predicción estacional mejora la pericia del sistema en las regiones del centro y oeste de la región, y que aporta valor añadido especialmente en aquellos casos en los que la predicción apunta a situaciones que originan estrés sobre los cultivos al final de la campaña.

### 5.4.3 Nuevo sistema para monitorizar sequías meteorológicas en tiempo real

Este servicio climático de monitorización servirá para el seguimiento, alerta temprana y evaluación de sequías meteorológicas en tiempo real. El monitor, de libre acceso ([monitordesequia.csic.es](http://monitordesequia.csic.es)), proporciona información en tiempo real sobre la severidad de la sequía meteorológica a escala nacional, mediante un indicador basado en información climática y satelital, y adaptado a la variedad de impactos potenciales esperados en diferentes sistemas; todo ello con el objetivo final de una mejor preparación y alerta temprana ante el riesgo de sequía meteorológica en España.

El monitor de sequía meteorológica suministra información en tiempo real a partir de las estaciones meteorológicas automáticas de la red de AEMET y del SIAR. La información se actualiza cuatro veces cada mes y se puede consultar el estado de la sequía meteorológica a partir de dos índices climáticos: el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), que se obtiene con datos de precipitación, y el Índice de Precipitación Evapotranspiración Estandarizado (SPEI), que utiliza datos de precipitación y demanda de agua por parte de la atmósfera. Se aporta la información de los índices a diferentes escalas temporales

## MONITOR DE SEQUÍA METEOROLÓGICA



(1, 3, 6, 9...), aspecto que permite identificar la anomalía climática considerando periodos previos más o menos largos y que informan de la posible severidad de diferentes tipos de sequía meteorológica. Además de ello, se muestra la duración la sequía meteorológica desde el inicio de la misma (considerando un umbral de condiciones secas) y su magnitud acumulada. El monitor permite la visualización del histórico desde 1961 y la selección de un punto concreto, del que se puede visualizar y descargar la serie del índice de sequía meteorológica.

### Nuevo servicio climático de libre acceso para la monitorización de sequías meteorológicas en tiempo real

El nuevo servicio se gestó en el seno del proyecto “Desarrollo de índices de sequía sectoriales: mejora de la monitorización y alerta temprana de las sequías en España- DESEMON” asociado a la convocatoria del Ministerio de Economía y Competitividad de Proyectos de I+D+i “RETOS INVESTIGACIÓN” en el que AEMET participó en coordinación con el CSIC y la Universidad de Zaragoza. Dicho proyecto ha supuesto una contribución decisiva al estudio científico de la sequía meteorológica en España y ha desarrollado herramientas y tecnologías que permiten mejorar la gestión del riesgo de sequía meteorológica en un contexto de adaptación al cambio climático.

## 5.5

### Comunicación y difusión de datos e información

#### 5.5.1

#### La página web de AEMET cumplió 25 años

Cuando se cumplen 25 años de su inicio en octubre de 1996, la web institucional de AEMET sirve una media de casi 13 millones de páginas diarias, consolidándose como uno de los portales de las administraciones públicas más consultado por los ciudadanos a través de internet. El máximo diario histórico de páginas visitadas se alcanzó el día 8 de enero de 2021, con más de 33 millones.



Si se comparan las medias diarias obtenidas desde su puesta en marcha, se percibe una progresión continua de las visitas. Así, en septiembre 2003 se registró una media diaria de 95.000 visitas que ya en septiembre de 2005 ascendieron a 475.000 visitas diarias. En el mismo mes de 2009, 2011 y 2016 se alcanzaron 3,2 millones, 3,3 millones y 7,1 millones respectivamente y en septiembre de 2021 fueron 14,7 millones.

Desde principios de 2015 estas cifras incluyen las visitas a través de la App de "El tiempo de AEMET", con aproximadamente un millón de instalaciones en dispositivos Android y más de setecientas mil en iOS.

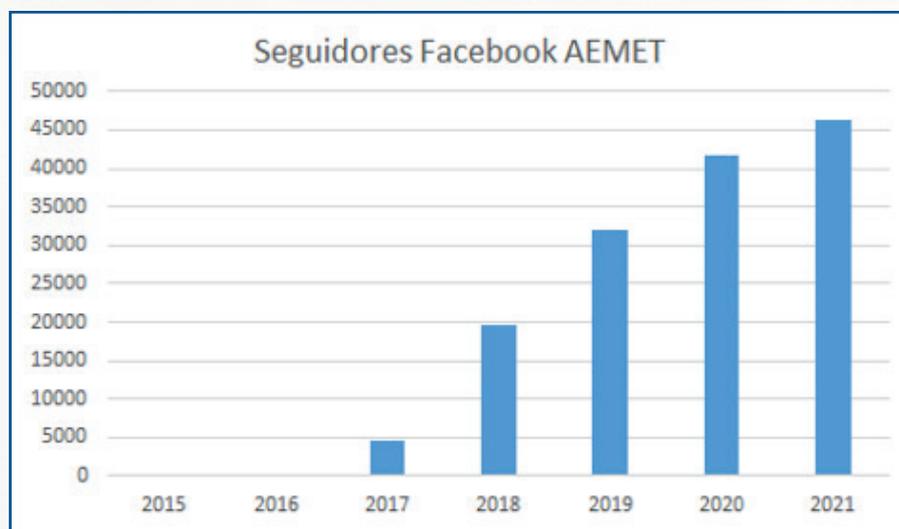
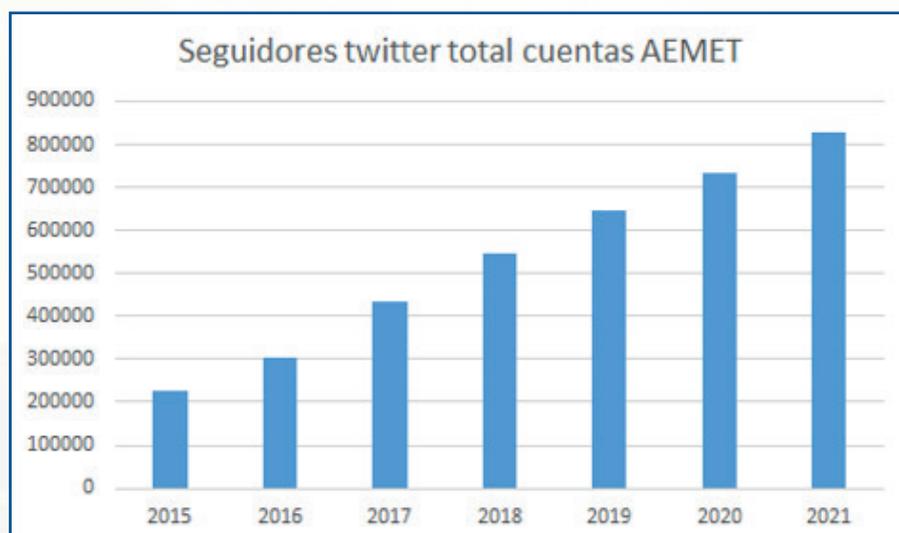


**El máximo histórico de visitas diarias a la web institucional superó los 33 millones**

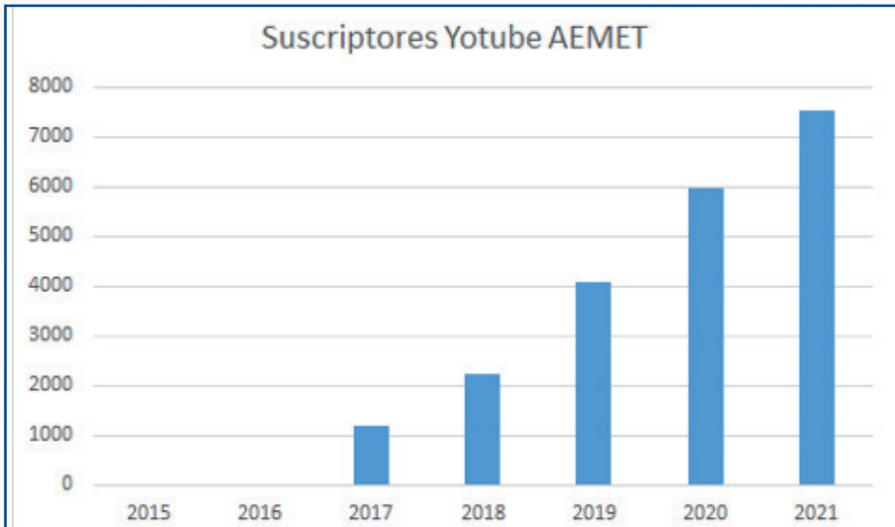
### 5.5.2

#### Actividad en redes sociales

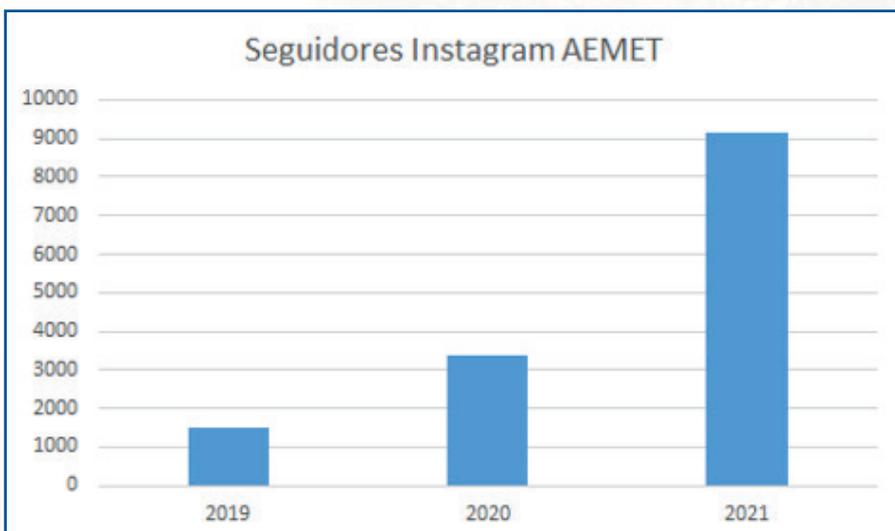
Continuó con fuerza la tendencia creciente en el número de seguidores de AEMET en todas las redes sociales en las que está presente (twitter, facebook, youtube, instagram y blog) con un porcentaje de aumento que va del 10% en facebook al 167% en instagram, la red social donde la Agencia ha entrado más recientemente. Las redes sociales facilitan la comunicación con la ciudadanía, permitiendo información de retorno para seguimiento de fenómenos adversos. Una de sus principales ventajas es que permiten transmitir la información de primera mano, sin intermediarios, al usuario final, que la recibe con gran inmediatez.



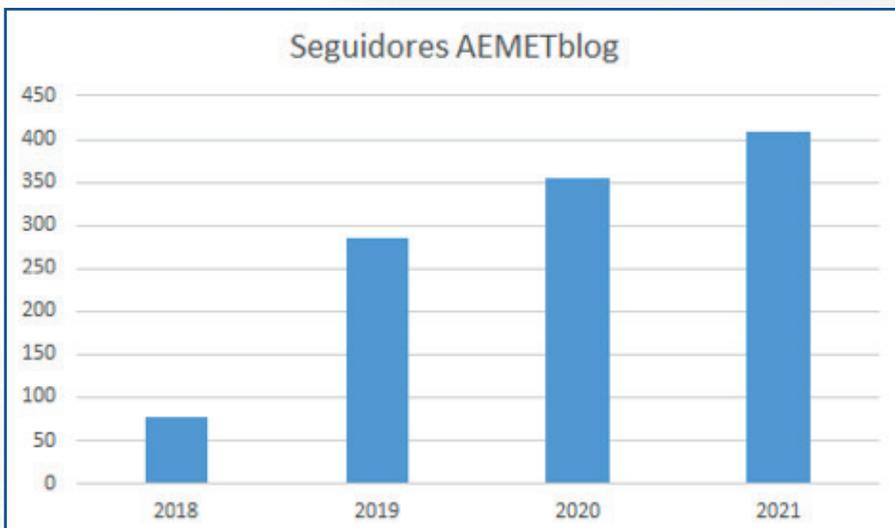
Suscriptores Youtube AEMET



Seguidores Instagram AEMET



Seguidores AEMETblog



# 6

## LA DIMENSIÓN INTERNACIONAL

La actividad internacional de AEMET se desarrolla en torno a cinco grandes ejes de actuación:

- Ejercer, según establece su estatuto, la representación del Estado en los organismos internacionales, supranacionales e intergubernamentales relacionados con la observación, la predicción meteorológica y el estudio y la modelización del clima y su evolución: la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), el Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Plazo Medio (CEPPM) y el Grupo para la Observación de la Tierra (GEO).
- Colaboración con otros Servicios Meteorológicos Nacionales, en asociaciones o de forma bilateral, para cooperación técnica o en proyectos de interés común.
- Participación en otros proyectos internacionales científico-técnicos y/o de cooperación.
- Contribuir a la planificación y ejecución de la política del Estado en materia de cooperación internacional al desarrollo en materia de meteorología y climatología, en coordinación con las organizaciones nacionales e internacionales que desarrollan estas actividades.
- Gestión de las contribuciones de los organismos internacionales, y de los pagos e ingresos a organismos y usuarios internacionales.

### Organización Meteorológica Mundial

El hecho más relevante de 2021 fue la aprobación de la Resolución 1 sobre la política de datos unificada, que proporciona una actualización integral de las políticas que guían el intercambio internacional de datos meteorológicos, climáticos y del sistema terrestre entre los 193 estados miembros y territorios de la OMM.

## Aprobada una nueva política de datos que reafirma el compromiso de la OMM y la comunidad meteorológica con el intercambio de datos libre y sin restricciones

La nueva política reafirma el compromiso de la OMM con el intercambio de datos libre y sin restricciones.

También cabría destacar el evento sobre las actividades de los Centros Regionales del Sistema de Avisos y Evaluación para Tormentas de Polvo y Arena (SDS-WAS) de la OMM en las que se presentaron los resultados principales del Centro Regional de España, gestionado por AEMET-BSC).

### Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio

El año 2021 fue de mucha actividad en el Centro, pudiendo destacarse:

- Progresos en la nueva estructura de sede distribuidas (multisite) del CEPPM: Bolonia (Centro de Datos), Bonn (programas de la Unión Europea y desarrollos científicos) y Reading (proyecto de nueva sede central en la Universidad de Reading).
- Renovación de proyectos con la Comisión Europea: acuerdo de contribución para la participación del CEPPM en el programa Copernicus 2.0 (servicios de Composición atmosférica-CAMS y Cambio Climático-C3S) y acuerdo de contribución para la participación del CEPPM en el programa Destination Earth.

- Preparación de la fase operativa inicial del proyecto European Weather Cloud (EWC), conjuntamente con EUMETSAT y los Estados Miembros.

### **Organismo Europeo para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT)**

En 2021 cabría destacar:

- Aprobación en julio de las propuestas para la nueva Fase Continua de Desarrollo y Operaciones (CDOP4) de los Centros de Aplicaciones de Satélite (SAF), entre ellos el SAF de Nowcasting liderado por AEMET. Esta nueva fase quinquenal entrará en vigor en marzo de 2022.
- Renovación de proyectos con la Comisión Europea:
  - ◆ Acuerdo de contribución para la participación de EUMETSAT en el programa Copernicus 2.0.
  - ◆ Acuerdo de contribución para la participación del CEPPM en el programa Destination Earth.
- Preparación de la fase operativa inicial del proyecto European Weather Cloud (EWC), conjuntamente con el CEPPM y los Estados Miembros.
- Preparación en fase intensa de los nuevos programas MTG y EPS-SG con los primeros lanzamientos retrasados hasta 2023 y 2024 por diversas causas técnicas.

### **Agrupación de interés económico de los servicios meteorológicos de Europa (EUMETNET)**

La nueva fase de los programas de EUMETNET se extenderá hasta final de 2023. AEMET continúa liderando, el módulo SRNWP-EPS del programa NWP COOPERATION, cuyo objetivo es mejorar la cooperación entre los sistemas de predicción por conjuntos, de área limitada, con énfasis en la predicción probabilística de fenómenos de tiempo severo y de alto impacto.

Durante el año 2021 destacó también la preparación de un mecanismo de “Federación de datos”, encaminado a incrementar el volumen y el tipo de datos intercambiados por los miembros de EUMETNET. El proyecto incluye también sinergias con la implementación de las directivas europeas sobre acceso a la información pública y uso de datos masivos (High Value Data Sets, HVD).

### **Cooperación internacional**

La cooperación internacional al desarrollo liderada por la Agencia se centró en 2021 en 27 actividades. De entre ellas, 14 han sido de capacitación técnica (todas ellas impartidas de forma virtual) del Centro Regional de Formación (CRF) (48% del total), 5 actividades en el marco de la Conferencia de Directores de Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Iberoamericanos (CIMHET – <http://www.cimhet.org/>) y 4 en la Conferencia de Directores de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos de África Occidental (AFRIMET – <http://www.afrimet.org/>).

Respecto del Centro Regional de Formación (CRF) de la OMM de AEMET-España, en 2021 su actividad ha continuado afectada por la pandemia de COVID-19. De las 28 actividades de capacitación inicialmente previstas en el Plan Estratégico de Capacitación Internacional (PECI) se han podido impartir 14, todas ellas en formato online. La fase presencial del curso Paquete de Instrucción Básica para Meteorólogos (PIB-M) 3ª edición se tuvo que posponer debido a la pandemia, y la mayor parte de los cursos previstos en los proyectos CREWS y MAC-CLIMA no se pudieron llevar a cabo por la imposibilidad de transportar los equipos. A pesar de estas dificultades, recibieron formación 125 alumnos originarios de 30 países.

Las contribuciones internacionales correspondientes a los acuerdos del Estado o de AEMET, hechas efectivas en 2021, han supuesto un importe de unos 39,3 millones de euros. Como novedad, se ha hecho una contribución al fondo fiduciario de CIMHET y la primera aportación al fondo fiduciario del CRF.

Contribuciones internacionales 2021	Importe (€)
EUMETSAT	32.651.909
CEPPM	3.981.847
OMM	1.329.864
EUMENET	520.388
HIRLAM-C	90.610
ECOMET	21.399
EC-EARTH	15.000
HCLIM	15.000
EMS	1.000
ACCORD	11.000
ICOS	64.826
PENSIONISTAS CEPPM	22.376
PENSIONISTAS EUMETSAT	45.151
OMM_CRF_F.F. FORMACIÓN	100.000
OMM_F.F. CIMHET	400.000
<b>TOTAL</b>	<b>39.270.370</b>

## 6.1

### AEMET contribuye a la formación de profesionales nicaragüenses en Meteorología

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) con el respaldo internacional de AEMET y la Organización Mundial de Meteorología (OMM), y en colaboración con el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), inauguraron la primera Especialidad en Meteorología de Nicaragua.



## Inauguración de la primera Especialidad en Meteorología de Nicaragua, impartida por AEMET con el respaldo de la FAO y la OMM



Este postgrado, con grado académico de “Especialidad en Meteorología”, tendrá una duración de 956 horas, estará dirigido a 30 funcionarios públicos nicaragüenses y será impartido por la Agencia Estatal de Meteorología a lo largo de 2021 en modalidad mixta (asíncrona, síncrona y presencial). Servirá para capacitarse en materia de predicción y observación meteorológica, así como en análisis y concienciación del cambio climático. Se pretende que los especialistas puedan identificar, monitorear, investigar, interpretar y analizar eventos meteorológicos, así como describir y caracterizar sus impactos en territorios, grupos humanos e infraestructura; de esta forma, podrán habilitarse en la gestión de políticas nacionales, municipales y locales relativas a la prevención y análisis de riesgo de fenómenos meteorológicos adversos, facilitando, de esta manera, la información adecuada en la toma de decisiones de las autoridades para el bienestar de la comunidad nicaragüense y el desarrollo económico, social, ambiental del país.

# 7 ACTIVIDADES DE APOYO

## 7.1

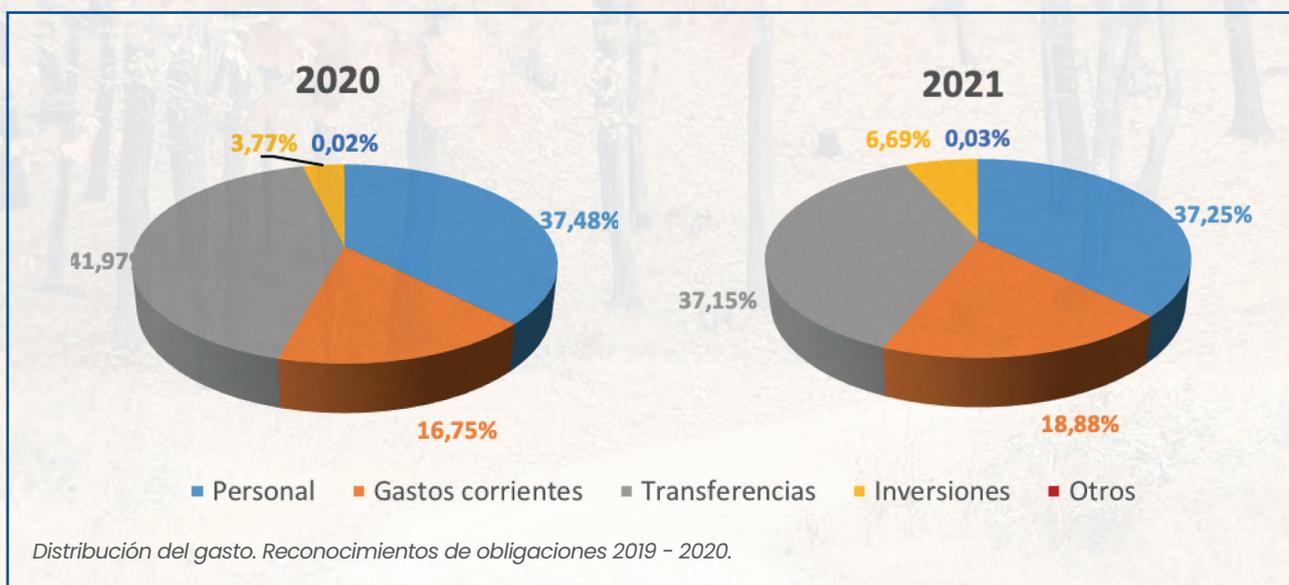
### Gestión económica

Después de venir de varios años con presupuestos prorrogados, se configuró un presupuesto acondicionado a las necesidades actuales, pero tras un ejercicio previo marcado por la pandemia, el presupuesto inicial de AEMET en 2021 fue reducido hasta un total de casi 124 millones de euros.

Pese a encontrarnos en una situación todavía anómala por la evolución de la pandemia durante todo el ejercicio, el porcentaje de ejecución del presupuesto total de AEMET en 2021 fue del 85%.

Respecto a 2020, no ha habido cambios significativos en la distribución del gasto de AEMET, suponiendo los gastos de personal un 37,2% del gasto de la entidad, los gastos corrientes un ligero au-

#### DISTRIBUCIÓN DEL GASTO





mento hasta un 18,9% y las transferencias, tanto corrientes como de capital, reduciéndose a un 37%. Estas transferencias se realizan fundamentalmente para el pago de las contribuciones internacionales que AEMET debe atender en ejercicio de sus competencias. De todas ellas, la de más importe es la contribución a los programas de la Organización Europea para la Explotación de los Satélites Meteorológicos EUMETSAT, que ha supuesto un 28,5% del gasto de AEMET en 2020 y un 26,3% en 2021.

El porcentaje de ejecución de inversiones en 2021 ha sido incrementado con respecto al del año anterior hasta casi duplicarse y representar un 6,7%, debido en gran medida a la recuperación de cierta normalidad de lo que supuso durante el ejercicio anterior el inicio de la pandemia.

## 7.2

### Gestión de recursos humanos

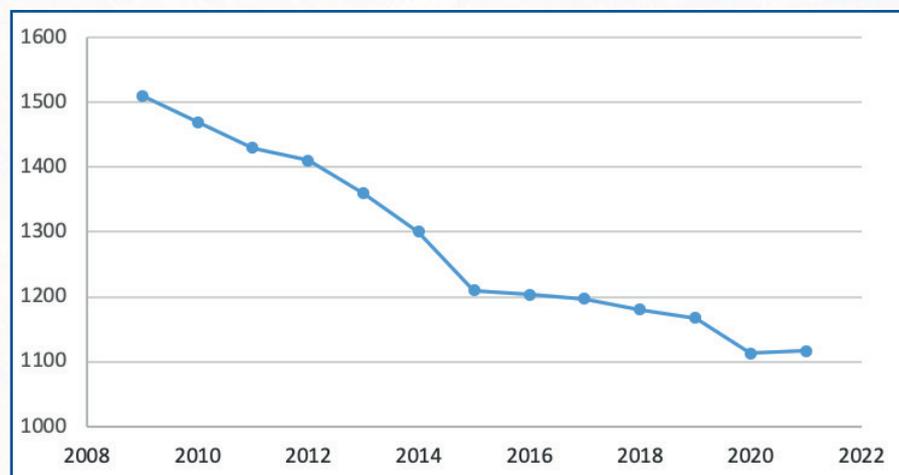
La Agencia contaba a 31 de diciembre de 2021 con 1116 efectivos, entre funcionarios de carrera, funcionarios interinos y personal laboral, con un incremento total de 3 empleados respecto de 2020. La incorporación de efectivos de cuerpos meteorológicos de nuevo ingreso correspondientes a las OEP de 2018 y 2019, con un total de 88 plazas ofertadas, apenas han compensado las 58 jubilaciones de empleados durante 2021 (siendo 21 de ellas de empleados en activo en el Cuerpo de Observadores de Meteorología del Estado), las excedencias solicitadas por funcionarios de nuevo ingreso por pertenencia a otros cuerpos y la escasa incorporación de efectivos de otros organismos mediante concursos, frente a la pérdida de los mismos por este mismo procedimiento.

AEMET cuenta con una estructura organizativa central y territorial para garantizar la prestación de sus servicios. El 28% de la plantilla, 311 trabajadores, 12 menos que en 2020, tienen su puesto de trabajo en los Servicios Centrales, mientras que el resto, 805 efectivos, 15

La incorporación de efectivos en 2021, incluyendo la procedente de otros organismos, apenas ha compensado las jubilaciones y excedencias

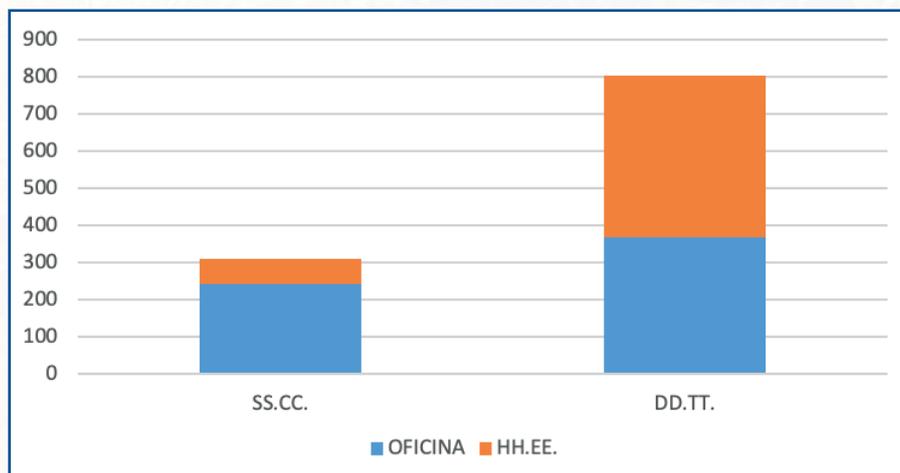
más que en 2020, trabajan en oficinas distribuidas por todo el Estado y coordinadas desde las 17 Delegaciones Territoriales, manteniéndose la pérdida de efectivos en Servicios Centrales, frente a un incremento de los mismos en Delegaciones. Una de las particularidades que caracteriza la plantilla es que el 45% del personal, 504 empleados, presta servicio bajo régimen de horarios especiales; 69 en Servicios Centrales y 435 en Delegaciones.

EVOLUCIÓN EFECTIVOS (2009-2021)



Actualmente, la plantilla está constituida por personal laboral, funcionarios de carrera de Cuerpos Especiales de Meteorología y de Cuerpos Generales y funcionarios interinos. El 94% de los empleados son funcionarios, el 6% personal laboral. La distribución de los efectivos por nivel de titulación entre los funcionarios muestra un claro predominio del colectivo de Subgrupo C1 (título de bachiller o técnico) respecto a cualquier otro de los presentes en la Agencia, siendo el 50% del personal. Los Subgrupos A1 y A2 (titulación universitaria) cuentan con una representación del 17% y 25%, respectivamente. El predominio de empleados de Subgrupo C1 se debe a las necesarias funciones

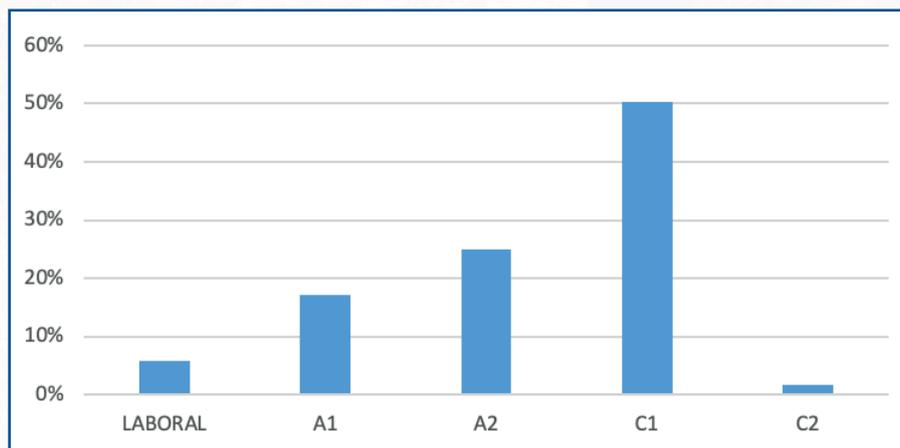
### DISTRIBUCIÓN DEL PERSONAL



operativas atribuidas a los efectivos del Cuerpo de Observadores en Meteorología del Estado.

Respecto a la distribución de empleados por sexos se mantienen porcentajes similares desde el año 2010, momento de creación de la Agencia: en torno a un tercio de mujeres y dos tercios de hombres, con muy leves oscilaciones a lo largo de los años.

### PORCENTAJE DE TIPO DE EMPLEADO Y GRUPO FUNCIONARIO

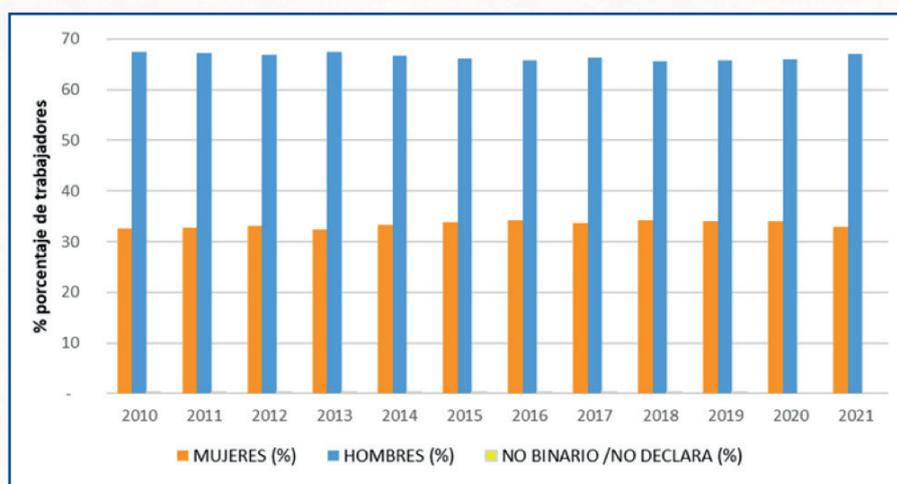


Durante el año 2021 se ha reactivado la gestión de muchos procesos y tramitaciones relacionadas con los recursos humanos, que en 2020 se vieron prácticamente anulados por la situación de pandemia y la necesidad urgente de cubrir los nuevos e importantes retos que supuso dicha situación.

**Cabría destacar las siguientes actuaciones:**

- Resolución del concurso específico para la provisión de puestos de trabajo convocado por la Resolución de 29 de mayo de 2020, de la Presidencia de la Agencia Estatal de Meteorología, en el que se adjudicaron 40 de los 54 puestos convocados; siendo 39 de los 40 adjudicatarios personal de la propia Agencia. No incorpora un número significativo de efectivos, pero da estabilidad a la ocupación de puestos de trabajo.

**EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL PORCENTAJE DE TRABAJADORES DE AEMET DESAGREGADOS POR SEXO**



- Convocatoria y resolución del concurso general para la provisión de puestos de trabajo convocado por la Resolución de 20 de abril de

2021, de la Presidencia de la Agencia Estatal de Meteorología, en el que se adjudicaron 48 de los 59 puestos convocados; siendo 46 de los 48 adjudicatarios personal de la propia AEMET. De nuevo, no incorpora un número significativo de efectivos, pero da estabilidad a la ocupación de los puestos de trabajo.

- Convocatoria y resolución de una nueva bolsa de funcionarios interinos del Cuerpo de Observadores de Meteorología del Estado, de la que forman parte un total de 415 candidatos distribuidos en listas de 7 ámbitos geográficos distintos.
- Incorporación de 15 funcionarios del Cuerpo Superior de Meteorólogos del Estado, 30 funcionarios del Cuerpo de Diplomados en Meteorología del Estado y 63 funcionarios del Cuerpo de Observadores de Meteorología del Estado como consecuencia de la resolución de los correspondientes procesos selectivos asociados a la OEP 2018 y también 2019 en el caso del Cuerpo de Observadores
- Cobertura de puestos de trabajo por razones de urgencia mediante comisiones de servicio. Se tramitaron un total de 140 comisiones de servicio, 122 de ellas con publicación de oferta, de las que se asignaron 43, y 18 mediante asignación directa.
- Nombramiento de funcionarios interinos del Cuerpo de Observadores en Meteorología del Estado por un total de 52,34 jornadas, con un incremento del 6% respecto a 2020, que se han empleado en un total de 137 nombramientos.
- Convocatoria de procesos selectivos para ingreso en los tres cuerpos de funcionariado propios de meteorología asociados a las OEP 2019 y OEP 2020.

# 8

## APOYO METEOROLÓGICO DURANTE LA ERUPCIÓN VOLCÁNICA EN LA PALMA

Durante los tres meses que duró la erupción volcánica en la isla de La Palma, entre septiembre y diciembre de 2021, la Agencia desarrolló una amplia labor operativa de apoyo meteorológico tanto para los servicios de emergencias desplegados en la zona como para la gestión del transporte marítimo y aeronáutico.

En este tiempo AEMET participó en las reuniones diarias del Comité científico que asesoraba a la Dirección del Plan de Emergencias Volcánicas de Canarias (PEVOLCA), ofreciendo la información más actualizada sobre las observaciones de la dispersión de la nube de cenizas y la evolución esperada en las siguientes horas.

En apoyo a las labores de asesoría, se desarrollaron dos productos específicos para el Comité científico del PEVOLCA. Por un lado, se realizaron simulaciones de la dispersión de la nube de cenizas volcánicas para las siguientes 72 h con el modelo MOCAGE, en modo accidente, en el superordenador Cirrus de AEMET. Estas simulaciones se realizaban dos veces al día (a las 4:00 UTC y a las 16:00 UTC) y mostraban la evolución esperada, hora a hora, de la nube de cenizas a diferentes alturas de la atmósfera. Por otro lado, el Grupo de predicción y vigilancia (GPV) de Las Palmas se encargó de elaborar un boletín diario con el pronóstico meteorológico detallado para la isla de La Palma, tanto en superficie como en altura, con especial atención a la dirección e intensidad de los vientos. Este boletín se emitió cada mañana, a las 5:00 UTC, y se acompañaba de las salidas en formato gráfico de las simulaciones del modelo de dispersión para el nivel más bajo, cercano a la superficie.

AEMET también participó activamente en las reuniones de la Célula de coordinación y seguimiento de cenizas volcánicas de La Palma, establecida por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, para el asesoramiento de los gestores de tráfico aéreo, gestores aeroportuarios y las autoridades militares, marítimas y de emergencias. Para estas reuniones se desarrolló un boletín diario que sintetizaba la información disponible de observación, avisos de cenizas en vigor, pronóstico de vientos en diferentes alturas y aeródromos con posibilidad de afectación en los días siguientes y el pronóstico general para

la isla de La Palma. Este producto se complementaba con una exposición sobre las últimas observaciones disponibles y las previsiones actualizadas, enfocadas especialmente al impacto sobre los transportes.

En cuanto al transporte aéreo en particular, AEMET, en su calidad de proveedor de servicios meteorológicos para la navegación aérea certificado, suministró los avisos de cenizas volcánicas para las aeronaves y los pronósticos de evolución de la nube de cenizas en el espacio aéreo de las Islas, en coordinación con el Centro de avisos de cenizas volcánicas (VAAC) de Toulouse, conforme a la normativa internacional vigente. El GPV de Las Palmas, responsable de la producción aeronáutica en el Archipiélago, también elaboró los avisos y los pronósticos para los aeródromos (TAF) afectados por las cenizas volcánicas, especialmente el aeropuerto de La Palma, así como la labor de asesoría al Centro de control de área de ENAIRE en Canarias. Por último, las estaciones meteorológicas situadas en cada uno de los aeropuertos realizaron las observaciones semihorarias de cenizas en los mismos y la difusión de los boletines correspondientes (METAR).

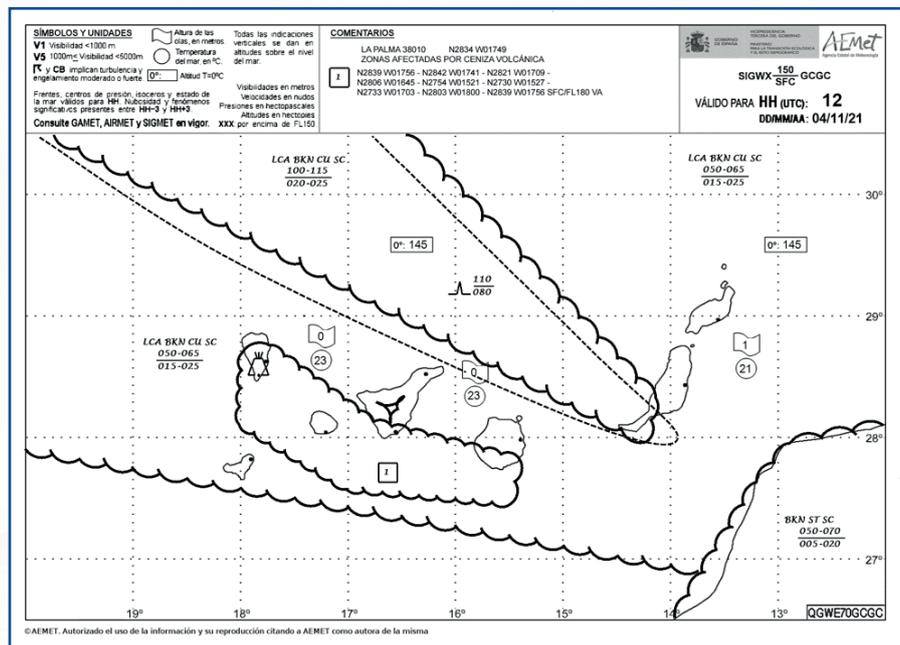
Durante todo el periodo en el que estuvo activa la erupción, AEMET colaboró intensamente tanto con el Instituto Geográfico Nacional (IGN), como con las autoridades de Protección Civil, militares y de emergencias, así como con los gestores de transporte marítimo y de tráfico



Durante los tres meses de erupción volcánica en la isla de La Palma, AEMET desarrolló un notable despliegue instrumental y una amplia labor operativa específica de apoyo y asesoría meteorológica

aéreo, los gestores aeroportuarios, las compañías aéreas y el VAAC de Toulouse para contribuir a la seguridad de las personas y los bienes con las mejores y más actualizadas observaciones y pronósticos de la evolución de la nube de cenizas volcánicas emitidas por el volcán.

### MAPA DE TIEMPO SIGNIFICATIVO PARA BAJA ALTURA



Mapa de tiempo significativo para baja altura (SIGWX 150/SFC) elaborado por el GPV de Las Palmas para el día 4 de noviembre de 2021 a las 12:00 UTC.

Asimismo, la Agencia desplegó en la isla instrumental atmosférico específico para vigilar las emisiones del volcán. La vigilancia del penacho de humo del volcán se realizó, como se ha comentado, mediante el modelo de dispersión atmosférica MOCAGE, que necesita información sobre la altura y tasa de emisión de las emisiones. La incorporación de estos datos al modelo supone una mejora en su capacidad de predicción.

Para ello, se instaló un ceilómetro (herramienta láser usada para determinar la altura de la base de nubes) en el centro de visitantes del volcán San Antonio, al sur de La Palma. Este emplazamiento resultó idóneo para observar la pluma de humo de la erupción, ya que es el lugar de la isla con menor nubosidad. Un equipo de investigadores de óptica atmosférica de la Universidad de Valladolid instaló, junto al ceilómetro, un fotómetro de la red AERONET de la NASA que permite determinar propiedades ópticas y físicas de los

### IMAGEN CAPTADA POR EL SENSOR VIIRS

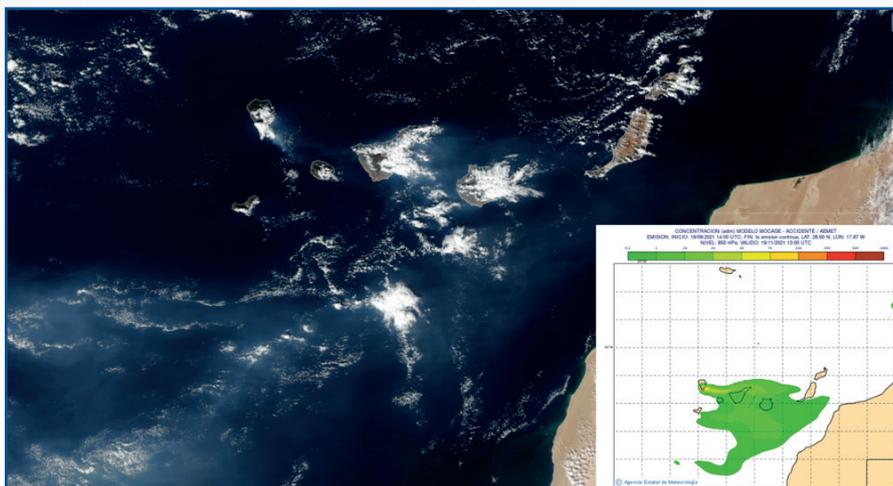


Imagen captada por el sensor VIIRS del satélite SUOMI NPP el día 19 de noviembre de 2021 a las 13:47 UTC. En el recuadro abajo a la derecha, nube de cenizas simulada por el modelo MOCAGE accidente, ejecutado en AEMET, el mismo a las 13:00 UTC, en el nivel de 850 hPa. Fuente imagen satélite: JPSS NOAA.

### IMAGEN CAPTADA POR EL SENSOR MODIS

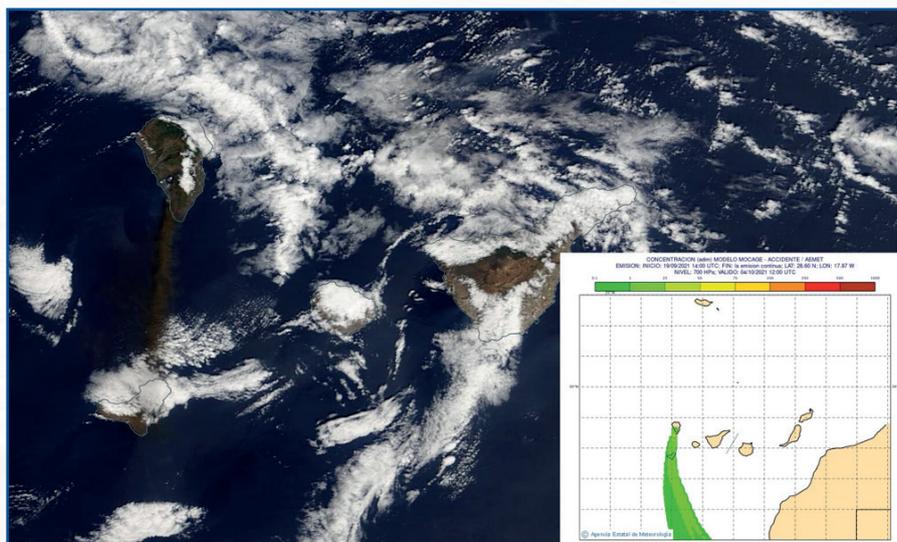
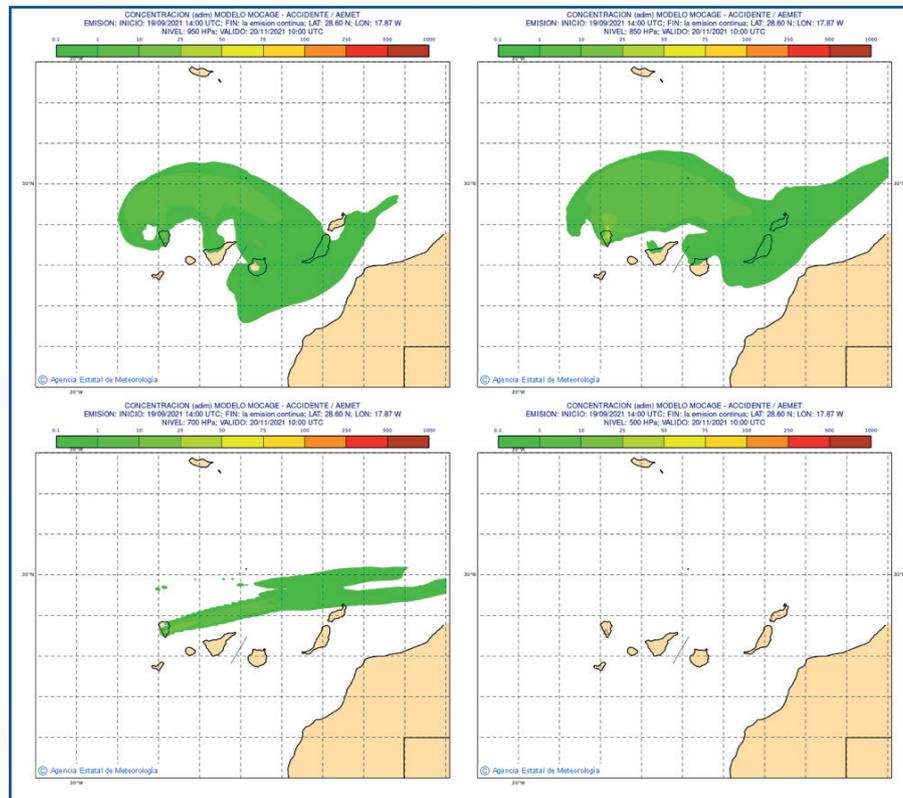


Imagen captada por el sensor MODIS del satélite TERRA el día 4 de octubre de 2021 a las 11:55 UTC. En el recuadro abajo a la derecha, nube de cenizas simulada por el modelo MOCAGE para el mismo día a las 12:00 UTC en el nivel de 700 hPa. Fuente de la imagen de satélite: NASA Worldview.

### PREDICCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA NUBE DE CENIZAS VOLCÁNICAS



Nube de cenizas simulada para el día 20 de noviembre de 2021 a las 10:00 UTC por el modelo MOCAGE en modo accidente, ejecutado en AEMET (pasada del 18 de noviembre de 2021 a las 04:00 UTC). Se muestran los niveles de 950 hPa (arriba a la izquierda), 850 hPa (arriba a la derecha), 700 hPa (abajo a la izquierda) y 500 hPa (abajo a la derecha).

aerosoles. El uso combinado de ambos aparatos permitió obtener información mejorada de gran interés científico, que se está analizando una vez finalizó la erupción.

Además, y de forma complementaria, en este mismo emplazamiento se instaló un espectrómetro de infrarrojo por transformada de Fourier, que permitió determinar qué cantidad de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) contenía el penacho volcánico y, de esa manera, un mejor conocimiento de la fase eruptiva del volcán.

El otro objetivo del despliegue instrumental fue el de complementar la red de calidad del aire de la UME y el Gobierno de Canarias, con el objeto de conocer el impacto de las emisiones volcánicas en la



*Fotómetro y ceilómetro desplegado en La Palma por parte del equipo del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña de AEMET y de la Universidad de Valladolid*



*Penacho del humo del volcán desde Tazacorte dónde están instalados los instrumentos de calidad del aire.*

población. En este caso la estrategia de medida es muy diferente a la empleada en la estación situada al sur con los equipos de teledetección, ya que en este caso lo que interesaba era conocer la calidad del aire que respira la población de la isla bajo el impacto de las emisiones volcánicas. La UME designó un emplazamiento en el Ayuntamiento de Tazacorte para instalar el operativo controlado por AEMET, que midió diferentes parámetros de la calidad del aire (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>) y otros indicadores meteorológicos.

# ANEXO 1. PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS (CON REVISIÓN POR PARES)

- Alfonso, Marta de; Lin-Ye, Jue; García-Valdecasas, José María; Pérez-Rubio, Susana; Luna Rico, Yolanda; Santos Muñoz, Daniel; Ruiz, M. Isabel; Pérez, Begoña; Álvarez Fanjul, Enrique. Storm Gloria: sea state evolution based on in situ measurements and modeled data and its impact on extreme values. *Frontiers in Marine Science*. 2021, 8:646873. doi: 10.3389/fmars.2021.646873
- Alonso, Rafael; García del Pozo, José María; Buisán, Samuel; Álvarez, José Adolfo. Analysis of the snow water equivalent at the AEMet-Formigal field laboratory (Spanish Pyrenees) during the 2019/2020 winter season using a stepped-frequency continuous wave radar (SFCW). *Remote Sensing*. 2021, 13(4), 616. doi: 10.3390/rs13040616
- Alonso-Pérez, Silvia; López-Solano, Javier; Rodríguez-Mayor, Lourdes; Márquez-Martinón, José Miguel. Evaluation of the tourism climate index in the Canary Islands. *Sustainability*. 2021, 13(13), 7042. doi: 10.3390/su13137042
- Alves, Daniela; Almeida, Miguel; Viegas, Domingos Xavier; Novo, Ilda; Luna Rico, Yolanda. Fire danger harmonization based on the fire weather index for transboundary events between Portugal and Spain. *Atmosphere*. 2021, 12(9), 1087. doi: 10.3390/atmos12091087
- Azorín Molina, César; McVicar, Tim R.; Guijarro, José Antonio; Trewin, Blair C.; Frost, Andrew J.; Zhang, Gangfeng; Minola, Lorenzo; Son, Seok-Woo; Deng, Kaiqiang; Chen, Deliang. A decline of observed daily peak wind gusts with distinct seasonality in Australia, 1941–2016. *Journal of Climate*. 2021, 34(8), p. 3103–3127. doi: 10.1175/JCLI-D-20-0590.1
- Barreto, África; Cuevas Agulló, Emilio; García Cabrera, Rosa Delia; Carrillo, Judith; Prospero, Joseph M.; Ilic, Luka; Basart, Sara; Berjón, Alberto; Marrero, Carlos; Hernández Pérez, Carmen Yballa; Bustos, Juan José de; Nickovic, Slodoban; Yela, Margarita. Long-term characterisation of the vertical structure of Saharan dust outbreaks over the Canary Islands using lidar and radiosondes

profiles: implications for radiative and cloud processes over the subtropical Atlantic Ocean. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. 2021. doi: 10.5194/acp-2021-508

- Blumenstock, Thomas; Hase, Frank; Keens, Axel; Czurlok, Denis; Colebatch, Orfeo; García Rodríguez, Omaira Elena, etc. Characterization and potential for reducing optical resonances in Fourier transform infrared spectrometers of the Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (NDACC). *Atmospheric Measurement Techniques*. 2021, 14, p. 1239-1252. doi: 10.5194/amt-14-1239-2021
- Bonsoms, Josep; González Herrero, Sergi; Prohom, Marc; Esteban, Pere; Salvador, Ferrán; López Moreno, Juan Ignacio; Oliva, Marc. Spatio-temporal patterns of snow in the Catalan Pyrenees (NE Iberia). *International Journal of Climatology*. 2021, p. 1-22. doi: 10.1002/joc.7147
- Curci, Gabriele; Guijarro, José Antonio; Di Antonio, Ludovico; Di Bacco, Mario; Di Lena, Bruno; Scorzini, Anna Rita. Building a local climate reference dataset: application to the Abruzzo region (Central Italy), 1930–2019. *International Journal of Climatology*. 2021, p. 1-23. doi: 10.1002/joc.7081
- Diekmann, Christopher; Schneider, Matthias; Ertl, Benjamin; Hase, Frank; García Rodríguez, Omaira Elena; Khosrawi, Farahnaz; Sepúlveda Hernández, Eliezer; Knippertz, Peter; Braesicke, Peter. The global and multi-annual MUSICA IASI {H<sub>2</sub>O, δD} pair dataset. *Earth System Science Dats*. 2021, 13(1), p. 5273–5292. doi: 10.5194/essd-13-5273-2021
- Dogniaux, Matthieu; Crevoisier, Cyril; Armante, Raymond; Capelle, Virginie; Delahaye, Thibault; Cassé, Vincent; Mazière, Martine de; Deutscher, Nicholas Michael; Feist, Dietrich G.; García Rodríguez, Omaira Elena ... etc. The Adaptable 4A Inversion (5A1): description and first XCO<sub>2</sub> retrievals from Orbiting Carbon Observatory-2 (OCO-2) observations. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2021, 14(6), p. 4689–4706. doi: 10.5194/amt-14-4689-2021

- Domonkos, Peter; Guijarro, José Antonio; Venema, Victor K. C.; Brunet, Manola; Sigró, Javier. Efficiency of time series homogenization: method comparison with 12 monthly temperature test datasets. *Journal of Climate*. 2021, 34(8), p. 2877–2891. doi: 10.1175/JCLI-D-20-0611.1
- Evangeliou, Nikolaos; Platt, Stephen M.; Eckhardt, Sabine; Myhre, Cathrine Lund ... Prats Porta, Natalia; Putaud, Jean-Philippe; Selligri, Karine; Sorribas, Mar; Eleftheriadis, Konstantinos; Vratolis, Stergios; Wiedensohler, Alfred; Stohl, Andreas. Changes in black carbon emissions over Europe due to COVID-19 lockdowns. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2021, 21(4), p. 2675–2692. doi: 10.5194/acp-21-2675-2021
- Fernández-Martínez, Miguel Ángel; García-Villadangos, Miriam; Moreno-Paz, Mercedes; Gangloff, Valentin; Carrizo, Daniel; Blanco, Yolanda; González Herrero, Sergi; Sánchez-García, Laura; Prieto-Ballesteros, Olga; Altshuler, Ianina; Whyte, Lyle G.; Parro, Victor; Fairén, Alberto G. Geomicrobiological heterogeneity of lithic habitats in the extreme environment of Antarctic nunataks: a potential early Mars analog. *Frontiers in Microbiology*. 2021, 12, 670982. doi: 10.3389/fmicb.2021.670982
- Follos, F.; Linares, C.; López-Bueno, J.A.; Navas, M.A.; Culqui, D.; Vellón, J.M.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Díaz, J. Evolution of the minimum mortality temperature (1983–2018): Is Spain adapting to heat?. *Science of The Total Environment*. 2021, 784, 147233. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147233
- Galbán, Sofía; Justel, Ana; González Herrero, Sergi; Quesada, Antonio. Local meteorological conditions, shape and desiccation influence dispersal capabilities for airborne microorganisms. *Science of the Total Environment*. 2021, 780, 146653. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146653
- García-Benadi, Albert; Bech, Joan; González Herrero, Sergi; Udina, Mireia; Codina, Bernat. A new methodology to characterise the radar bright band using doppler spectral moments from vertically pointing radar observations. *Remote Sensing*. 2021, 13(21), 4323. doi: 10.3390/rs13214323
- García Cabrera, Rosa Delia; Cuevas Agulló, Emilio; Cachorro, Victoria E.; García Rodríguez, Omaira Elena; Barreto, África; Almanza Rodríguez, Antonio F.; Romero Campos, Pedro Miguel; Ramos López, Ramón; Pó, Mario; Hoogendijk, Kees; Gross, Jochen. Water vapor retrievals from spectral direct irradiance measured

with an EKO MS-711 spectroradiometer—intercomparison with Other Techniques. *Remote Sensing*. 2021, 13(30), 350. doi: 10.3390/rs13030350

- García-Dalmau, Miguel; Udina, Mireia; Bech, Joan; Sola, Yolanda; Montolio, Joan; Jaén, Clara. Pollutant concentration changes during the COVID-19 lockdown in Barcelona and surrounding regions : modification of diurnal cycles and limited role of meteorological conditions. *Boundary-Layer Meteorology*. 2021, p. 1-22. doi: 10.1007/s10546-021-00679-1
- García-Heras, Javier; Soler, Manuel; González Arribas, Daniel; Eschbacher, Kurt; Rokitansky, Carl-Herbert; Sacher, Daniel; Gelhardt, Ulrike; Lang, Jürgen; Hauf, Thomas; Simarro, Juan Pablo; Valenzuela, Alfonso; Franco, Antonio; Rivas, Damián. Robust flight planning impact assessment considering convective phenomena. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2021, 123, 102968. doi: 10.1016/j.trc.2021.102968
- García Rodríguez, Omaira Elena; Schneider, Matthias; Sepúlveda Hernández, Eliezer; Hase, Frank; Blumenstock, Thomas; Cuevas Agulló, Emilio; Ramos López, Ramón ; Gross, Jochen; Barthlott, Sabine; Röhling, Amelie N.; Sanromá, Esther; González Ramos, Yenny; Gómez Peláez, Ángel Jesús; Navarro Comas, Mónica; Puenteadura, Olga; Yela, Margarita; Redondas, Alberto; Carreño Corbella, Virgilio; León-Luis, Sergio F.; Reyes, Enrique ; García Cabrera, Rosa Delia; Rivas Soriano, Pedro Pablo ; Romero Campos, Pedro Miguel; Torres, Carlos ; Prats Porta, Natalia; Hernández Martínez de la Peña, Miguel; López, César. Twenty years of ground-based NDACC FTIR spectrometry at Izaña Observatory - overview and long-term comparison to other techniques. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2021, 21(20), p. 15519–15554. doi: 10.5194/acp-21-15519-2021
- González Herrero, Sergi; Bech, Joan; García-Benadi, Albert; Udina, Mireia; Codina, Bernat; Trapero, Laura; Paci, Alexandre; Georgis, Jean-François. Vertical structure and microphysical observations of winter precipitation in an inner valley during the Cerdanya-2017 field campaign. *Atmospheric Research*. 2021, 264, 105826. doi: 10.1016/j.atmosres.2021.105826
- González Herrero, Sergi; Vasallo, Francisco; Sanz, Pablo; Quesada, Antonio; Justel, Ana. Characterization of the summer surface mesoscale dynamics at Dome F, Antarctica. *Atmospheric Research*. 2021, 259, 105699. doi: 10.1016/j.atmosres.2021.105699

- González Ramos, Yenny; Commane, Roisin; Manninen, Ethan; Daube, Bruce C.; Schiferl, Luke D.; McManus, J. B.; McKain, Kathryn; Hintsa, Eric J.; Elkins, James W.; Montzka, Stephen A.; Sweeney, Colm; Moore, Fred L.; Jiménez, José L.; Campuzano Jost, Pedro; Ryerson, Thomas B.; Bourgeois, Ilann; Peischl, Jeff; Thompson, Chelsea R.; Ray, Eric; Wennberg, Paul O.; Crouse, John; Kim, Michelle; Allen, Hannah M.; Newman, Paul A.; Stephens, Britton B.; Apel, Eric C.; Hornbrook, Rebecca S.; Nault, Benjamin A.; Morgan, Eric; Wofsy, Steven C. Impact of stratospheric air and surface emissions on tropospheric nitrous oxide during Atom. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2021, 21(14), p. 11113–11132. doi: 10.5194/acp-21-11113-2021
- Gutiérrez-Estrada, J. C.; Pulido-Calvo, I.; Peregrín, A. ; García-Gálvez, A. ; Báez, J. C.; Bellido, J. J.; Souviron-Priego, L.; Sánchez-Laulhé, J.M.; López, J. A. Integrating local environmental data and information from non-driven citizen science to estimate jellyfish abundance in Costa del Sol (southern Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2021, 249, 107112. doi: 10.1016/j.ecss.2020.107112
- Hernanz Lázaro, Alfonso; García Valero, Juan Andrés; Domínguez Alonso, Marta; Ramos Calzado, Petra; Pastor Saavedra, María Asunción; Rodríguez Camino, Ernesto. Evaluation of statistical downscaling methods for climate change projections over Spain: present conditions with perfect predictors. *International Journal of Climatology*. 2021, p. 1-15. doi: 10.1002/joc.7271
- Hernanz Lázaro, Alfonso ; García Valero, Juan Andrés ; Domínguez Alonso, Marta ; Rodríguez Camino, Ernesto. Evaluation of statistical downscaling methods for climate change projections over Spain: future conditions with pseudo reality (transferability experiment). *International Journal of Climatology*. 2021, p. 1-14. doi: 10.1002/joc.7464
- Hervella, Beatriz; Luna Rico, Yolanda; Díaz Jiménez, Julio; Linares Gil, Cristina; Belda, Fernando. Spatial variability of COVID-19 first wave severity and transmission intensity in Spain: the influence of meteorological factors. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. 2021, 35(2), p. 27460–27468. doi: 10.26717/BJSTR.2021.35.005667
- Hintsa, Eric J.; Moore, Fred L.; Hurst, Dale; Dutton, Geoff S.; Hall, Bradley D.; Nance, J. David; Miller, Ben R.; Montzka, Stephen A.; Wolton, Laura P.; McClure-Begley, A.; Elkins, James W.; Hall, Emrys G.; Jordan, Allen F.; Rollins, Andrew W.; Thornberry, Troy D.; Watts, Laurel A.; Thompson, Chelsea R.; Peischl, Jeff; Bourgeois, Ilann; Ryerson, Thomas B.; Daube, Bruce C.; González Ramos, Yenny; Commane, Roisin; Santoni, Gregory W.; Pittman, Jasna V.; Wofsy, S.; Kort, Eric; Diskin, Glenn

S.; Bui, T. Paul. UAS Chromatograph for Atmospheric Trace Species (UCATS) – a versatile instrument for trace gas measurements on airborne platforms. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2021, 14(10), p. 6795–6819. doi: 10.5194/amt-14-6795-2021

- Jardines, Aniel; Soler, Manuel; Cervantes, Alejandro; García-Heras, Javier; Simarro, Juan Pablo. Convection indicator for pre-tactical air traffic flow management using neural networks. *Machine Learning with Applications*. 2021, 5, 100053. doi: 10.1016/j.mlwa.2021.100053
- Jones, Chris D.; Hickman, Jonathan E.; Rumbold, Steven T.; Walton, Jeremy; Lamboll, Robin D.; Skeie, Ragnhild B. ... Parodi, José Antonio; Reerink, Thomas J.; Ren, Lili; Romanou, Anastasia; Séférian, Roland; Tang, Yongming; Timmreck, Claudia; Tjiputra, Jerry; Tourigny, Etienne; Tsigaridis, Kostas; Wang, Hailong; Wu, Mingxuan; Wyser, Klaus; Yang, Shuting; Yang, Yang; Ziehn, Tilo. The climate response to emissions reductions due to COVID-19: initial results from CovidMIP. *Geophysical Research Letters*. 2021, 48(8), p. 1-12. doi: 10.1029/2020GL091883
- Keen, Ann; Blockley, Ed; Bailey, David A.; Boldingh Debernard, Jens; Bushuk, Mitchell; Delhaye, Steve; Docquier, David; Feltham, Daniel; Massonnet, François; O'Farrell, Siobhan; Ponsoni, Leandro; Rodríguez González, José María; Schroeder, David; Swart, Neil; Toyoda, Takahiro; Tsujino, Hiroyuki; Vancoppenolle, Martin; Wyser, Klaus. An inter-comparison of the mass budget of the Arctic sea ice in CMIP6 models. *The Cryosphere*. 2021, 15(2), p. 951–982. doi: 10.5194/tc-15-951-2021
- Linares Gil, Cristina; Belda, Fernando; López Bueno, José Antonio; Luna Rico, Yolanda; Sánchez Martínez, Gerardo; Hervella, Beatriz; Culqui, Dante; Díaz Jiménez, Julio. Short-term associations of air pollution and meteorological variables on the incidence and severity of COVID-19 in Madrid (Spain): a time series study. *Environmental Sciences Europe*. 2021, 33 (107), p. 1-13. doi: 10.1186/s12302-021-00548-1
- Linares, Cristina; Culqui, Dante; Belda, Fernando; López-Bueno, José Antonio; Luna, Yolanda; Sánchez-Martínez, Gerardo; Hervella, Beatriz; Díaz, Julio. Impact of environmental factors and Sahara dust intrusions on incidence and severity of COVID-19 disease in Spain. Effect in the first and second pandemic waves. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. doi: 10.1007/s11356-021-14228-3
- Llasat, María del Carmen; Moral, Anna del; Cortès Simó, María; Rigo, Tomeu. Convective precipitation trends in the Spanish Mediterranean region. *Atmospheric Research*. 2021, 257, 105581. doi: 10.1016/j.atmosres.2021.105581

- López Bueno, José Antonio; Follos Pliego, Fernando; Vellón Graña, José Manuel; Navas-Martín, Miguel Ángel; Culqui, Dante; Luna Rico, Yolanda; Sánchez Martínez, Gerardo; Linares Gil, Cristina. Evolution of the threshold temperature definition of a heat wave vs. evolution of the minimum mortality temperature: a case study in Spain during the 1983–2018 period. *Environmental Sciences Europe*. 2021, 33(101). doi: 10.1186/s12302-021-00542-7
- López-Bueno, J.A.; Navas-Martín, M.A.; Linares, C.; Mirón, I.J.; Luna, M.Y.; Sánchez-Martínez, G.; Culqui, D.; Díaz, J. Analysis of the impact of heat waves on daily mortality in urban and rural areas in Madrid. *Environmental Research*. 2021, 195, 110892. doi: 10.1016/j.envres.2021.110892
- López Bueno, José Antonio; Navas-Martín, Miguel Ángel; Díaz Jiménez, Julio; Mirón Pérez, Isidro J.; Luna Rico, Yolanda; Sánchez Martínez, Gerardo; Culqui, Dante; Linares Gil, Cristina. The effect of cold waves on mortality in urban and rural areas of Madrid. *Environmental Sciences Europe*. 2021, 33(72), p. 1-14. doi: 10.1186/s12302-021-00512-z
- Marais, Eloise A.; Roberts, John F.; Ryan, Robert G.; Eskes, Henk J.; Boersma, K. Folkert; Choi, Sungyeon; Joiner, Joanna; Abuhassan, Nader; Redondas, Alberto; Grutter, Michel; Cede, Alexander; Gómez, Laura; Navarro Comas, Mónica. New observations of NO<sub>2</sub> in the upper troposphere from TROPOMI. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2021, 14(3), p. 2389–2408. doi: 10.5194/amt-14-2389-2021
- Marquis, Jared W.; Oyola, Mayra I.; Campbell, James R.; Ruston, Benjamin C.; Córdoba-Jabonero, Carmen; Cuevas Agulló, Emilio; Lewis, Jasper R.; Toth, Travis D.; Zhang, Jianglong. Conceptualizing the impact of dust-contaminated infrared radiances on data assimilation for numerical weather prediction. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2021, 38(2), p. 209–221. doi: 10.1175/JTECH-D-19-0125.1
- Marseille, Charles; Aubé, Martin; Barreto, África; Simoneau, Alexandre. Remote sensing of aerosols at night with the CoSQM sky brightness data. *Remote Sensing*. 2021, 13(22), p. 1–35. doi: 10.3390/rs13224623
- Merino, Andrés; García Ortega, Eduardo; Navarro, Andrés; Fernández-González, Sergio ; Tapiador, Francisco J.; Sánchez, José Luis. Evaluation of gridded rain-gauge-based precipitation datasets: impact of station density, spatial resolution, altitude gradient and climate. *Internacional Journal of Climatology*. 2021, p. 1–17. doi: 10.1002/joc.7003

- Minola, Lorenzo; Azorín Molina, César; Guijarro, José Antonio; Zhang, Gangfeng; Son, Seok-Woo; Chen, Deliang. Climatology of near-surface daily peak wind gusts across Scandinavia: observations and model simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2021, 126(7), p. 1-17. doi: 10.1029/2020JD033534
- Minola, Lorenzo; Reese, Heather; Lai, Hui-Wen; Azorín Molina, César; Guijarro, José Antonio; Son, Seok-Woo; Chen, Deliang. Wind stilling-reversal across Sweden: the impact of land-use and large-scale atmospheric circulation changes. *International Journal of Climatology*. 2021, p. 1-23. doi: 10.1002/joc.7289
- Mourre, Baptiste; Santana, Alex; Buils, A.; Gautreau, L.; Licer, M.; Jansà Clar, Agustí; Casas, Benjamín; Amengual, Bernat; Tintoré, Joaquin. On the potential of ensemble forecasting for the prediction of meteotsunamis in the Balearic Islands: sensitivity to atmospheric model parameterizations. *Natural Hazards*. 2021, 106, p. 1315-1336. doi: 10.1007/s11069-020-03908-x
- Pablo Dávila, Fernando de; Rivas Soriano, Luis; Jiménez Alonso, Carlos ; Mora García, Manuel Antonio ; Riesco Martín, Jesús. Synoptic patterns of severe hailstorm events in Spain. *Atmospheric Research*. 2021, 250, 105397. doi: 10.1016/j.atmosres.2020.105397
- Pertierra, L.R.; Santos-Martín, F.; Hughes, K.A.; Avila, C.; Caceres, J.O.; Filippo, D.De; Gonzalez, S.; Grant, S.M.; Lynch, H.; Marina-Montes, C.; Quesada, A.; Tejedó, P.; Tin, T.; Benayask, J. Ecosystem services in Antarctica: Global assessment of the current state, future challenges and managing opportunities. *Ecosystem Services*. 2021, 49, 101299. doi: 10.1016/j.ecoser.2021.101299
- Roberts, Alexander J.; Fletcher, Jennifer K.; Groves, James; Marsham, John H.; Parker, Douglas J.; Blyth, Alan M.; Adefisan, Elijah A.; Ajayi, Vincent O.; Barrette, Ronald ... Rípodas Agudo, Pilar; Stein, Thorwald H. M.; Woodhams, Beth J. Nowcasting for Africa: advances, potential and value. *Weather*. 2021, p. 1-7. doi: 10.1002/wea.3936
- Rodríguez, Oriol; Bech, Joan; Arús, Joan; Castán, Salvador; Figuerola, Francesc; Rigo, Tomeu. An overview of tornado and waterspout events in Catalonia (2000-2019). *Atmospheric Research*. 2021, 250, 105415. doi: 10.1016/j.atmosres.2020.105415
- Rodríguez González, Sergio; Prospero, Joseph M.; López-Darias, Jessica; García Álvarez, María Isabel; Zuidema, Paquita; Nava, Silvia; Lucarelli, Franco; Gaston, Cassandra J.; Galindo, L.; Sosa, Elisa. Tracking the changes of iron solubility and air pollutants traces

as African dust transits the Atlantic in the Saharan dust outbreaks. *Atmospheric Environment*. 2021, 246, 118092. doi: 10.1016/j.atmosenv.2020.118092

- Sepúlveda, Edgardo; Cordero, Raul R.; Damiani, Alessandro; Ferron, Sarah; Pizarro, Jaime; Zamorano, Felix; Kivi, Rigel; Sánchez, Ricardo; Yela, Margarita ... Redondas, Alberto; Rowe, Penny M. Evaluation of Antarctic ozone profiles derived from OMPS LP by using balloon borne ozonesondes. *Scientific Reports*. 2021, 11:4288. doi: 10.1038/s41598-021-81954-6
- Soula, Serge; Pineda, Nicolau; Georgis, Jean-François; Leroy, Antoine; Vanpoucke, Igor; Montanyà, Joan; Casellas, Enric; Gonzalez, Sergi; Joan Bech. On the conditions for winter lightning at the Eagle Nest Tower (2537 m asl) during the Cerdanya-2017 field experiment. *Atmospheric Research*. 2021, 247, 105208. doi: 10.1016/j.atmosres.2020.105208
- Steinbrecht, Wolfgang; Kubistin, Dagmar; Plass-Dülmer, Christian; Davies, J.; Tarasick, David W. ... Hernández, J. L.; Díaz Rodríguez, Ana María; Nakano, Tatsumi; Chouza, Fernando; Leblanc, Thierry; Torres, Carlos; García Rodríguez, Omaira Elena etc. COVID-19 Crisis Reduce Free Tropospheric Ozone across the Northern Hemisphere. *Geophysical Research Letters*. 2021, 48. doi: 10.1029/2020GL091987
- Suárez Molina, David; Fernández-González, Sergio; Montero, Gustavo; Oliver, Albert; Suárez González, Juan Carlos. Sensitivity analysis of the WRF model: Assessment of performance in high resolution simulations in complex terrain in the Canary Islands. *Atmospheric Research*. 2021, 247, 105157. doi:10.1016/j.atmosres.2020.105157
- Sun, Bomin; Calbet, Xavier; Reale, Anthony; Schroeder, Steven; Bali, Manik; Smith, Ryan; Pettey, Michael. Accuracy of Vaisala RS41 and RS92 upper tropospheric humidity compared to satellite hyperspectral infrared measurements. *Remote Sensing*. 2021, 13(2), 173. doi: 10.3390/rs13020173
- Tapiador, Francisco J.; Marcos Martín, Cecilia; Sancho Ávila, Juan Manuel; Santos Burguete, Carlos; Núñez Mora, José Ángel; Navarro Arnés, Andrés; Kummerow, Christian; Adler, Robert F. The September 2019 floods in Spain: An example of the utility of satellite data for the analysis of extreme hydrometeorological events. *Atmospheric Research*. 2021, 257, 105588. doi: 10.1016/j.atmosres.2021.105588

- Taylor, Thomas E.; O'Dell, Christopher; Crisp, David; Kuze, Akhiko; Lindqvist, Hannakaisa; Wennberg, Paul O.; Chatterjee, Abhishek ... García Rodríguez, Omaira Elena ... etc. An eleven year record of XCO<sub>2</sub> estimates derived from GOSAT measurements using the NASA ACOS version 9 retrieval algorithm. *Earth System Science Data Discussions*. 2021. doi: 10.5194/essd-2021-247
- Di Tomaso, Enza; Escribano, Jerónimo; Basart, Sara; Ginoux, Paul; Macchia, Francesca; Barnaba, Francesca; Benincasa, Francesco; Bretonnière, Pierre-Antoine; Buñuel, Arnau; Castrillo, Miguel; Cuevas Agulló, Emilio; Formenti, Paola; Gonçalves, María; Jorba, Oriol; Klose, Martina; Mona, Lucia; Montané, Gilbert; Mytilinaios, Michail; Obiso, Vincenzo; Olid, Miriam; Schutgens, Nick; Votsis, Athanasios; Werner, Ernest; Pérez García-Pando, Carlos. The MONARCH high-resolution reanalysis of desert dust aerosol over Northern Africa, the Middle East and Europe (2007-2016). *Earth System Science Data Discussions*. 2021. doi: 10.5194/essd-2021-358
- Veld, M.; Carnerero, C.; Massagué, J.; Alastuey, Andrés; Rosa, Jesús Damián de la; Sánchez de la Campa, A. M.; Escudero, Miguel; Mantilla, Enrique; Gangoiti, Gotzon; Pérez García-Pando, Carlos; Olid, Miriam; Moreta González, Juan Ramón; Hernández Pérez, José Luis; Santamaría Lancho, Julián Jesús; Millán, Millán; Querol, Xavier. Understanding the local and remote source contributions to ambient O<sub>3</sub> during a pollution episode using a combination of experimental approaches in the Guadalquivir valley, southern Spain. *Science of the Total Environment*. 2021, 777, 144579. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144579
- Vukovic Vimic, Ana; Cvetkovic, Bojan; Giannaros, Theodore M.; Shahbazi, Reza; Sehat Kashani, Saviz; Prieto Fernández, José Ignacio; Kotroni, Vassiliki; Lagouvardos, Konstantinos; Pejanovic, Goran; Petkovic, Slavko; Nickovic, Slodoban; Vujadinovic Mandic, Mirjam; Basart, Sara; Bolorani, Ali Darvishi; Terradellas, Enric. Numerical simulation of Tehran dust storm on 2 June 2014: a case study of agricultural abandoned lands as emission sources. *Atmosphere*. 2021, 12(8), 1054. doi: 10.3390/atmos12081054
- Zhang, Gangfeng; Azorín Molina, César; Chen, Deliang; McVicar, Tim R.; Guijarro, José Antonio; Kong, Feng; Minola, Lorenzo; Deng, Kaiqiang; Shi, Peijun. Uneven warming likely contributed to declining near-surface wind speeds in Northern China between 1961 and 2016. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2021, 126(11), p. 1-24. doi: 10.1029/2020JD033637

## ANEXO 2. PUBLICACIONES DEL CATÁLOGO AEMET

- AEMET, 2021: Calendario meteorológico 2022. AEMET, 362 pp.
- AEMET, 2021: Guía meteorológica de aeródromo – Aeropuerto de Málaga Costa del Sol. AEMET, publicación electrónica, 31 pp.
- AEMET, 2021: Guía meteorológica de aeródromo – Aeropuerto de Tenerife Norte-Ciudad de La Laguna. AEMET, publicación electrónica, 30 pp.
- AEMET, 2021: Guía meteorológica de aeródromo – Aeropuerto de Tenerife Sur-Reina Sofía. AEMET, publicación electrónica, 35 pp.
- AEMET, 2021: Informe anual 2020. AEMET, publicación electrónica, 72 pp.
- AEMET, 2021: Informe anual 2020. AEMET, tarjeta usb, 72 pp.
- AEMET, 2021: Informe sobre el estado del clima de España 2020. AEMET, publicación electrónica, 144 pp.
- AEMET, 2021: Informe sobre el estado del clima de España 2020 (resumen ejecutivo). AEMET, publicación electrónica, 18 pp.

- AEMET, 2021: Instrucción para la observación NIVOMET del personal colaborador de AEMET. AEMET, publicación electrónica, 117 pp.
- AEMET, 2021: Las nubes (cartel).
- AEMET, 2021: Selecciones del blog, AEMET 2020. AEMET, publicación electrónica, 78 pp.
- AEMET/OMM, 2021: Desert Dust Outbreak in the Canary Islands (February 2020): Assessment and Impacts. Coedición de AEMET y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), publicación electrónica, 123 pp.
- AEMET/OMM, 2021: Fourteenth Intercomparison Campaign of the Regional Brewer Calibration Centre Europe (El Arenosillo Atmospheric Sounding Station, Huelva, Spain, 17-28 June 2019). Coedición de AEMET y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), publicación electrónica, 548 pp.
- Guijarro Pastor, J. A. y otros, 2021: Atlas de Clima Marítimo 1991-2020. AEMET, publicación electrónica, 440 pp.

## ANEXO 3. SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- AEMET: Agencia Estatal de Meteorología.
- AEMET OpenData: API REST (Application Programming Interface. REpresentational State Transfer) a través del cual se accede libremente a datos.
- AMA: Autoservicio Meteorológico Aeronáutico.
- AMHS: sistema de tratamiento de mensajes aeronáuticos.
- ANSMET: Autoridad nacional de supervisión de servicios meteorológicos en apoyo de la navegación aérea.
- ARISTOTLE-eENHSP: Enhanced European Natural Hazard Scientific Partnership. Asociación Científica Europea contra los Peligros Naturales mejorada.
- CEPPM (ECMWF por sus siglas en inglés): Centro Europeo de Predicción del tiempo a Plazo Medio.
- CIAI: Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, de AEMET
- CIMHET: Conferencia de Directores de Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Iberoamericanos.
- CMIP5: quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados, marco para el estudio del cambio climático.
- Copernicus: programa de la UE para el establecimiento de una capacidad europea de observación de la Tierra.
- ENAIRE: Gestor de la navegación aérea en España.
- ESA: Agencia Espacial Europea.
- EuBrewNet: European Brewer Network, gestionada por AEMET.
- EUMETSAT: Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos.
- $\gamma$ SREPS: sistema de predicción por conjuntos de corto plazo operativo en AEMET.

- GCW: Programa de vigilancia global de la criosfera de la OMM.
- GML: lenguaje de marcado geográfico.
- GTS: sistema mundial de telecomunicaciones (meteorológico).
- HARMONIE-AROME: Modelo de predicción numérica del tiempo de área limitada operativo en AEMET.
- IASI: Infrared Atmospheric Sounding Interferometer, que va a bordo de los satélites polares MetOp de EUMETSAT.
- ICOS: sistema europeo de Observación Integrada de Carbono.
- IDE: Infraestructura de Datos Espacial.
- IWXXM: Modelo de Intercambio de Información Meteorológica de la OACI.
- MedCOF: Mediterranean climate outlook forum, iniciativa promovida por la OMM y coordinada por AEMET.
- MOCAGE: Modélisation de la Chimie Atmosphérique Grande Echelle. Modelo de transporte químico operativo en AEMET.
- OACI: Organización de Aviación Civil Internacional.
- OGC: Open Geospatial Consortium.
- OMM: Organización Meteorológica Mundial.
- OVM: Oficina de Vigilancia Meteorológica
- S-ClimWaRe: Seasonal Climate predictions in support of Water Reservoirs management in Spain. Servicio climático en apoyo a la toma de decisiones para la gestión de los embalses.
- SISPAIR: SISTEMA de Predicción de la calidad del Aire a nivel Regional.
- VAG: Programa de vigilancia atmosférica global de la OMM
- WMS: Web Map Services.
- XML: lenguaje de marcado extensible.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA  
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



AEMet  
Agencia Estatal de Meteorología

[www.aemet.es](http://www.aemet.es)