

DIA INTERNACIONAL DE LA PRESERVACIÓN DE LA CAPA DE OZONO 2024

PROTOCOLO DE MONTREAL: PROMOVRIENDO LA ACCIÓN CLIMÁTICA

- El 16 de septiembre fue proclamado por la Asamblea General de las Naciones Unidas como el Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono, conmemorando la firma, en esa misma fecha del año 1987, del Protocolo de Montreal.
- Este año se conmemoran los 37 años del Protocolo de Montreal que consigue “unir al mundo para eliminar progresivamente el consumo y la producción de distintas sustancias que agotan la capa de ozono”. Además, el Protocolo ha contribuido a blindar los sumideros de carbono, salvaguardar la salud de la humanidad y prevenir pérdidas económicas.
- El agujero de ozono del año 2023 fue uno de los más grandes observados, mientras que el de 2024 está siendo uno de los más pequeños registrados. Este hecho forma parte de la variabilidad climática y no contradice la recuperación de la capa de ozono que se viene observando.
- AEMET participa de forma activa en la vigilancia mundial de la capa de ozono. Cuenta con una amplia red nacional de observación de la radiación ultravioleta y de la capa de ozono, un Centro Regional de Calibración en Ozono, y gestiona la red mundial EUBREWNET. Además, elabora diariamente predicciones del índice ultravioleta para todos los municipios españoles.
- AEMET ha organizado en el 2024 la primera campaña Iberoamericana de calibración de las medidas de ozono. En esta campaña, celebrada en Brasil, han participado equipos de Brasil, Argentina, Bolivia, Ecuador y Chile.

El 16 de septiembre fue proclamado por la Asamblea General de las Naciones Unidas, mediante la resolución 49/114 de diciembre de 1994, como el Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono, conmemorando la firma, en esa misma fecha del año 1987, del Protocolo de Montreal. Para más información sobre la celebración de dicho acto se puede consultar los siguientes enlaces:

<https://ozone.unep.org/ozone-day/montreal-protocol-advancing-climate-action>

El lema elegido este año para celebrar el Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono de 2024 es **“Protocolo de Montreal: promoviendo la acción climática”**.

El protocolo de Montreal, firmado hace ya 37 años, no solo ha propiciado la recuperación de la capa de ozono, sino que, a través de su enmienda de Kigali, que entró en vigencia el 1 de enero de 2019, también contribuye a la mitigación del cambio climático. Esto se logra con la eliminación gradual de los hidrofluorocarburos (HFC), un grupo de sustancias químicas que, si bien no agotan la capa de ozono, son potentes gases de efecto invernadero y, por tanto, catalizadores del cambio climático.

Según indica el último informe publicado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM): **“Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022”** [1], la capa de ozono se está recuperando, observándose una tendencia positiva en la alta estratosfera. Este avance se debe al éxito del tratado de Montreal, que ha reducido los niveles de SDO (Sustancias Destructoras de la capa de Ozono). El agujero de ozono antártico dejó de crecer en el periodo 1990-2010, y en la última década ha mostrado una recuperación lenta. Se espera que se recupere a los niveles de los años 80 en el periodo 2060-2070.

La sustancial variabilidad interanual en del tamaño del agujero de ozono antártico, su intensidad y duración hace necesario continuar con la observación sistemática del estado de la capa de ozono y de otros parámetros relevantes.



La importancia de la Capa de Ozono

El ozono estratosférico nos protege de los efectos perjudiciales derivados de una sobreexposición a la radiación ultravioleta, principalmente la derivada de aquella radiación más energética y que produce los efectos más adversos sobre los ecosistemas y sobre la salud humana.

Además, su relevancia es aún mayor si tenemos en cuenta la pequeña proporción en la que se encuentra en la atmósfera. A modo de símil, si fuéramos capaces de concentrar toda la capa de ozono sobre la superficie terrestre, ésta apenas ocuparía una capa de 3mm de espesor, mientras que el conjunto de toda la atmósfera que nos rodea alcanzaría un espesor aproximado de 8.000 metros.

Dstrucción de la Capa de Ozono

Como cada año, al aproximarse la primavera austral, comienza la destrucción de ozono sobre la Antártida. Este proceso empieza a gestarse durante el invierno austral, cuando debido al largo período de oscuridad, se dan una serie de condiciones meteorológicas en el vórtice polar del Polo Sur que lo aíslan del resto de la circulación atmosférica, alcanzándose en dicha región temperaturas especialmente bajas (por debajo de -78°C). A estas temperaturas, aunque el aire estratosférico es muy seco, se empiezan a formar nubes mezcla de agua y ácido nítrico denominadas nubes estratosféricas polares (PSC en inglés), en el seno de las cuales ocurren una serie de reacciones químicas que convierten compuestos halogenados inactivos provenientes de los CFCs y Halones en especies muy activas, especialmente compuestos de cloro y bromo. Estos compuestos, una vez inciden los primeros rayos de luz coincidiendo con el final del invierno y el principio de la primavera austral, reaccionan rápidamente liberando átomos de cloro y bromo muy reactivos, que atacan a las moléculas de ozono a través de un ciclo catalítico al final del cual, se vuelve a recuperar dicho átomo halogenado que está nuevamente disponible para destruir otra molécula de ozono. Se estima que un simple átomo de cloro puede llegar a destruir miles de moléculas de ozono.

Esta es la razón por la que el agujero de ozono, definido como aquella área donde la cantidad total de ozono en columna es inferior a 220UD (Unidades Dobson)¹, empieza a producirse en la Antártida durante el mes de agosto con la llegada de los primeros rayos solares a la zona, y alcanza su máxima extensión entre mediados de septiembre y principios de octubre, momento en el que la radiación solar incidente comienza a calentar la masa de aire antártica, rompiendo su aislamiento (vórtice polar) y permitiendo la llegada de aire “limpio” de agentes destructores y rico en ozono proveniente de otras latitudes, lo que permite la regeneración del ozono.

El agujero de ozono ocurre cada año desde principios de los años 80, debido a los altos niveles de las sustancias destructoras de la capa de ozono que la humanidad ha emitido.

Evolución de la Capa de Ozono durante 2023

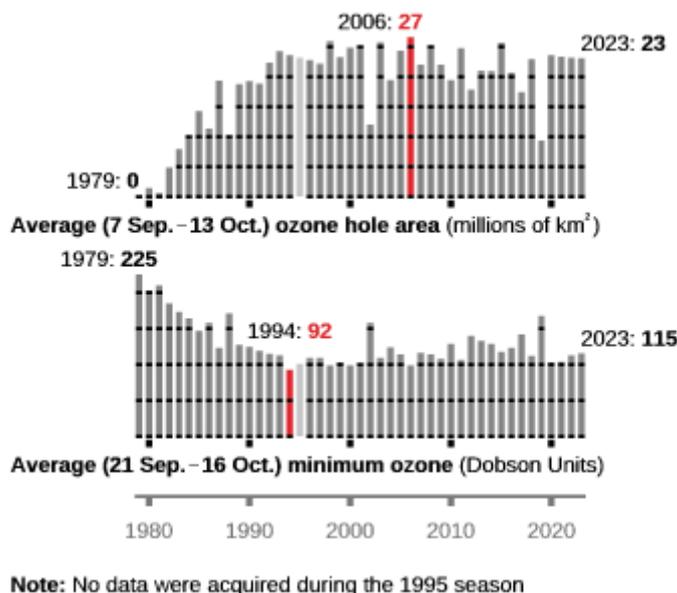
El agujero de ozono de 2023 se abrió pronto y de forma rápida, convirtiéndose en uno de los más grandes registrados a mediados de septiembre, y uno de los de mayor duración observados hasta la fecha. Posteriormente, la superficie del agujero de ozono se redujo significativamente hasta situarse prácticamente dentro de la media, pero fue inusualmente persistente durante noviembre, permaneciendo por encima de los 14,2 m², aproximadamente la superficie de la Antártida, hasta principios de diciembre.

¹ La unidad Dobson (UD) es una medida de la densidad de un gas traza en la atmósfera. Se suele utilizar para medir el ozono total en la columna atmosférica. Para ello se calcula el espesor que tendría el ozono presente en la columna atmosférica en condiciones normales de temperatura y presión (0°C y 1 atmósfera, respectivamente). Así un espesor de 0,01 mm de ozono medido en condiciones normales de temperatura y presión sería equivalente a 1 UD. En nuestras latitudes los valores observados son algo superiores a las 300 UD. El nombre es en honor a Gordon Dobson. Dobson diseñó en los años 20 el primer aparato de medida de ozono total en la atmósfera: el espectrofotómetro Dobson que sigue siendo utilizado hoy en día.

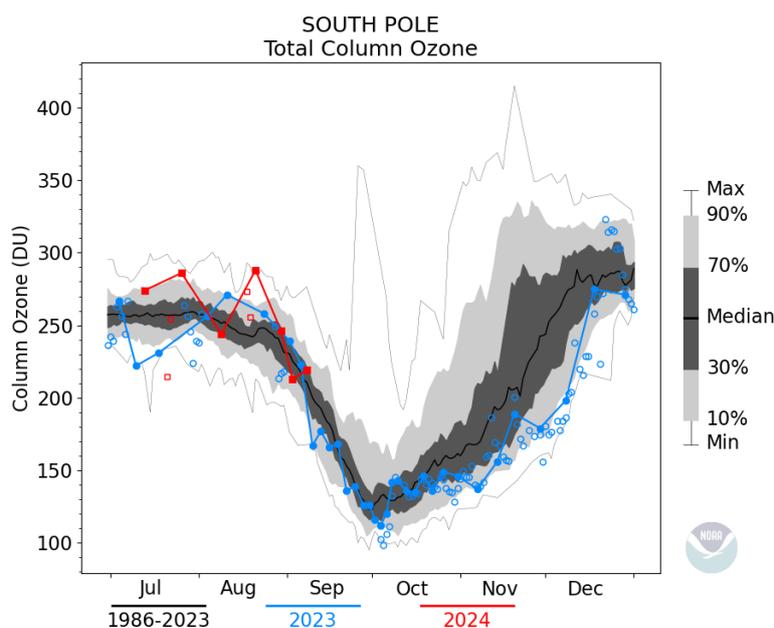


AEMet

De acuerdo a las observaciones de la NASA, el año pasado el agujero de ozono Antártico tuvo una extensión media de 23,1 millones de km², alcanzando un máximo de 26,0 el 21 de septiembre. En cuanto al valor mínimo de ozono en promedio registrado en la región antártica durante el período de máxima destrucción de ozono, este fue de 115 UD, con un valor mínimo en columna de 99 UD en octubre.



Comparativa que muestra la evolución anual de la extensión media del agujero de ozono (millones de km²) y los valores mínimos de ozono en columna medios (UD) obtenidos por la NASA durante los periodos de mayor destrucción de ozono, desde 1979. (Fuente: NASA Ozone Watch, <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>, [2])



Comparativa que muestra los valores de ozono en columna (UD) registrados en el polo sur durante el periodo de mayor destrucción de ozono en 2023 (azul) y lo que va de 2024 (rojo), frente a los valores medios, máximos, mínimos y percentiles (grises) registrados en el periodo 1986-2022. (Fuente: NASA Ozone Watch, <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>, [2])



AEMET

La vigilancia de la Capa de Ozono en AEMET

En España, la Agencia Estatal de Meteorología vigila la Capa de Ozono en tiempo real a través de la red de espectrofotómetros Brewer instalados en A Coruña, Madrid, Zaragoza, Murcia, Izaña (Tenerife), Santa Cruz de Tenerife y El Arenosillo (INTA, Huelva), y mediante la realización semanal de ozonosondeos en las estaciones de Madrid y Puerto de la Cruz (Tenerife). Los datos obtenidos, una vez validados, se envían diariamente a al Centro Mundial de Datos de Ozono y Radiación UV (WOUDC) en Canadá, por encargo de la Organización Meteorológica Mundial, con el fin de confeccionar los mapas de espesor total de ozono en el hemisferio norte.

La información diaria del contenido de ozono en columna en todas las estaciones de la red se publica diariamente en la página web de AEMET, en el siguiente enlace:

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/radiacion/ozono?datos=mapa>

Con el fin de asegurar la calidad y trazabilidad de las observaciones de la red Brewer de AEMET todos los instrumentos participan en las intercomparaciones bienales que tienen lugar en las instalaciones del INTA en El Arenosillo (Huelva), en la que participan también instrumentos de otros países y organismos junto con los patrones mundiales de Ozono.



Participantes de la Campaña XVIII RBCC-E de calibración de Espectrofotómetros Brewer, celebrada en la Estación de Sondeos Atmosféricos del INTA en El Arenosillo (Huelva), del 4 al 15 de Septiembre de 2023.

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI) de la Agencia Estatal de Meteorología, situado en la isla de Tenerife, comparte la referencia mundial con el Centro de Toronto, gestionado por el servicio meteorológico canadiense "Environmental & Climate Change Canada" (ECCC). El Observatorio de Izaña de AEMET, junto con el Observatorio de Mauna Loa en Hawái, que gestiona la NOAA (National Ocean and Atmospheric Administration), son los dos únicos centros capaces de calibrar los estándares de ozono. La erupción del volcán de Mauna Loa, que tuvo lugar el 27 de noviembre de 2022, afectó seriamente la operación de este último, y el CIAI tomó el relevo de las calibraciones que normalmente se realizan en Mauna Loa. Durante el mes de agosto de 2024, se realizó en el Observatorio de Izaña la calibración de los estándares mundiales de ozono de los espectrofotómetros Brewer de ECCC y AEMET.

El CIAI es además el Centro Regional de Calibración de Ozono (RBCC-E) de la Red de Espectrofotómetros Brewer de Europa y norte de África (<https://rbcce.aemet.es/>), que es responsable de transferir las

calibraciones al resto de espectrofotómetros de la red en campañas de intercomparación regulares cofinanciadas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Agencia Espacial Europea (ESA). Durante este año se celebró por primera vez la campaña Iberoamericana en la que participaron equipos de Argentina (2), Brasil (4), Bolivia (1), Ecuador (1) y Chile (1), además de la referencia del RBCC-E (España, AEMET). Conjuntamente con la campaña, AEMET organizó un curso de formación al que asistieron 25 investigadores de diferentes países. Esta iniciativa nace con la vocación de establecerse a largo plazo, y con la idea de que se repita periódicamente en otros países iberoamericanos. Los equipos recientemente calibrados se integraron en la red Eubrewnet, que de esta forma aumenta notablemente su presencia en Sur América.



Primera campaña Iberoamericana de calibración de Espectrofotómetros Brewer, celebrada en la Universidad Federal de Santa María, Brasil, del 20 de Febrero al 8 de Marzo. En ella participaron equipos de Argentina, Brasil, Bolivia, Chile y Ecuador. La campaña incluyó, además de la calibración de los equipos, un curso internacional de formación organizado por AEMET en el que participaron unos 30 de alumnos.

El CIAI también es también el centro de calibración de ozono de la red de espectrofotómetros PANDORA (<https://www.pandonia-global-network.org>) financiada por las agencias espaciales ESA y NASA. Este equipo proporciona, además de O₃, medidas de NO₂, SO₂ y AOD (Aerosol Optical Deep) en columna que son usados en la validación de satélites.

El Observatorio de Izaña es, asimismo, una de las estaciones de referencia de medida de ozono en el mundo ya que reúne las medidas más precisas de ozono con diferentes técnicas instrumentales: Brewer, Ozonosondas, DOAS y FTIR. Estas dos últimas técnicas en cooperación con el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y con el Institute for Meteorology and Climate Research (IMK, Alemania). Estas medidas pertenecen al programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG) de la OMM, así como a la red de excelencia “Network for the Detection of Atmospheric Composition Change” (NDACC).

AEMET dirige y gestiona la red EubrewNet (European Brewer Network), que es red de observación de ozono mundial desarrollada durante la acción Europea COST-ES120. EubrewNet, que comenzó en el año 2014 como un proyecto europeo, hoy engloba a más de 70 instrumentos instalados en los cinco continentes. Esta red permite la distribución de datos en tiempo real, y el procesado centralizado de las observaciones. EubrewNet ha sido reconocida como red de referencia para la medida de ozono del programa Copérnicus (<https://eubrewnet.aemet.es/eubrewnet>).

Además, AEMET dispone de una red de medida de radiación ultravioleta -íntimamente relacionada con el espesor de la capa de ozono- que consta de más de veinticinco estaciones distribuidas a lo largo de todo

el territorio nacional y cuyos datos se muestran en la web de AEMET junto con los valores de ozono total en columna en la siguiente dirección:

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/radiacion/ultravioleta?datos=mapa>



Red Nacional de estaciones de medida de ozono y radiación ultravioleta

Por otro lado, también se encuentra en operación un sistema de predicción del índice ultravioleta (UVI) con cielos despejados para todos los municipios españoles. Este índice se calcula diariamente a partir de los valores de ozono previstos por el modelo numérico global de la atmósfera del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio. Estos datos están disponibles en la página web de AEMET:

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/radiacionuv>

Finalmente existe en AEMET un modelo de transporte químico¹ que proporciona información de composición química de la atmósfera para realizar predicciones operativas de calidad del aire sobre la Península. Adicionalmente, y de manera no operativa, también se dispone de un sistema de predicción que abarca otras regiones de interés, como es en este caso la región antártica.

Referencias

- [1] Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022. Organización Meteorológica Mundial (OMM), <https://ozone.unep.org/system/files/documents/Scientific-Assessment-of-Ozone-Depletion-2022.pdf>
- [2] Ozone Hole Watch. Goddard Space Flight Center. National Aeronautics and Space Administration, <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>
- [3] Current State of the ozone Layer <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/climate-change-mitigation-reducing-emissions/current-state-of-the-ozone-layer>
- [4] Copernicus :Monitoring the ozone Layer: <https://atmosphere.copernicus.eu/monitoring-ozone-layer>

¹ El modelo de transporte químico utilizado en AEMET es MOCAGE, desarrollado por Météo France y utilizado en AEMET en virtud de un convenio de colaboración entre ambas instituciones.