

Ampliar la vigilancia: cómo la OMM apoya la próxima etapa del Protocolo de Montreal

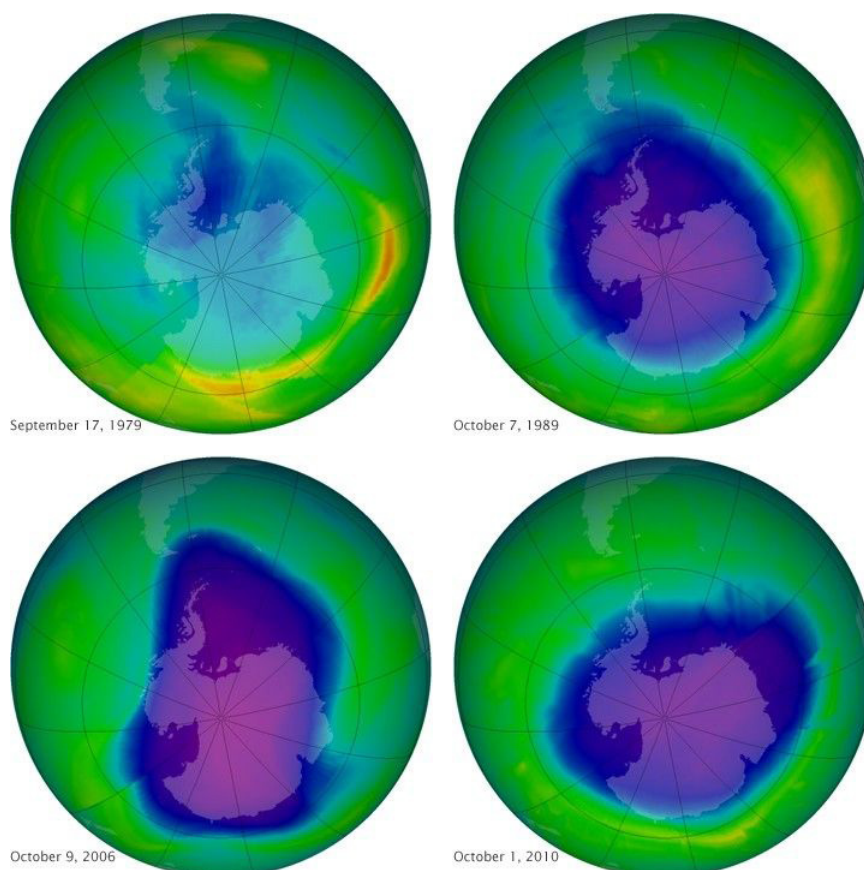
Leilani Dulguerov (OMM), Megha Kaveri (OMM), Sergio Moreno Valero (OMM)

La capa de ozono estratosférica, situada a una altura de entre 10 y 50 km aproximadamente sobre la superficie terrestre, contiene el 90 % del ozono atmosférico. Desempeña un papel fundamental en la protección de la vida en la Tierra al absorber la radiación ultravioleta nociva. El ozono es, además, un importante gas de efecto invernadero, especialmente en la troposfera superior y la estratosfera inferior.

En la década de 1980, los científicos que observaban el ozono estratosférico detectaron una disminución considerable de la capa de ozono. Esta reducción pronto se relacionó con sustancias como los clorofluorocarbonos (CFC) y los halones, cuya fabricación se había generalizado a lo largo del siglo

XX. Los CFC solían utilizarse sobre todo en sistemas de refrigeración y aire acondicionado, mientras que los halones se empleaban como agentes extintores en grandes instalaciones informáticas y en los motores de aviones comerciales, entre otras cosas. Estas sustancias liberan cloro y bromo en la estratosfera, lo que provoca la destrucción del ozono mediante reacciones químicas. Esto provocó una grave reducción del ozono estratosférico sobre la Antártida, lo que dio lugar a la formación del “agujero de ozono” anual.

La necesidad de adoptar medidas a nivel internacional quedó patente y se materializó, en primer lugar, con el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono en 1985, y, posteriormente, con el Protocolo de



Evolución del agujero de ozono antártico entre 1979 y 2010.

Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono en 1987.

Cuando el Protocolo de Montreal entró en vigor en 1989, se establecieron controles sobre la producción y el consumo de una lista concreta de sustancias que agotan la capa de ozono, principalmente CFC, halones y compuestos conexos, lo que puso al mundo en la senda de su eliminación progresiva.

A lo largo de las décadas, esa lista se ha ampliado mediante sucesivas modificaciones y ajustes. El Protocolo regula actualmente cerca de 100 sustancias, entre las que se incluyen, desde hace poco, los hidrofluorocarbonos (HFC), en virtud de la Enmienda de Kigali de 2016. En la 37ª reunión de las Partes, celebrada en 2025, las Partes dieron otro paso importante al impulsar proyectos piloto y mecanismos de financiación para reforzar el monitoreo atmosférico regional de las sustancias reguladas.

La estructura de gobernanza que protege la capa de ozono

Para comprender la urgencia de esta ampliación, es necesario, en primer lugar, entender cómo se regula la capa de ozono a nivel internacional. En la actualidad, las iniciativas mundiales destinadas a proteger la capa de ozono se rigen por los dos tratados mencionados anteriormente: el Convenio de Viena y el Protocolo de Montreal. Cada tratado cuenta con su propio órgano rector: la Conferencia de las Partes en el caso del Convenio de Viena y la reunión de las Partes en el caso del Protocolo de Montreal. Ambas se coordinan a través de la Secretaría del Ozono del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

El fondo fiduciario general para financiar las actividades de investigación y observaciones sistemáticas de interés para el Convenio de Viena, un mecanismo de financiación voluntaria creado en 2003 en el marco del Convenio de Viena, apoya las actividades de investigación y observación sistemática relacionadas con la recuperación de la capa de ozono, teniendo en cuenta las recomendaciones de los Administradores de Investigaciones sobre el Ozono, un foro de científicos especializados en la atmósfera que se dedican al monitoreo de la recuperación de la capa de ozono. Se invita periódicamente a los países en desarrollo y a los países con economías en transición a presentar propuestas de proyectos para recibir apoyo del fondo fiduciario general. El Comité Asesor de dicho fondo evalúa estas propuestas teniendo en cuenta la disponibilidad de fondos.

La aplicación del Protocolo de Montreal cuenta con el apoyo del Fondo Multilateral, que ayuda a los países

en desarrollo a cumplir sus obligaciones de eliminar y reducir progresivamente las sustancias que agotan la capa de ozono. Dirigido por un Comité Ejecutivo, sus actividades se llevan a cabo a través del PNUMA y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), el Banco Mundial y organismos bilaterales.

El papel de la OMM en las observaciones del ozono y la evaluación científica

A través de un monitoreo a largo plazo coordinado en el marco de programas como la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG), la OMM colabora estrechamente con el PNUMA, el Grupo de Evaluación Científica y la comunidad científica en general para suministrar datos de observación y conocimientos científicos que respalden las evaluaciones sobre el estado y la recuperación de la capa de ozono y contribuyan a fundamentar los debates y las decisiones en el marco de los tratados. La aplicación y la evolución del Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono están dirigidas por sus tres grupos de evaluación: el Grupo de Evaluación Científica, el Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica y el Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales. Con el apoyo de la Secretaría del Ozono, la labor de estos grupos de expertos sirve de base para las decisiones del tratado.

En este marco, la OMM colabora estrechamente con el PNUMA para respaldar el proceso de evaluación científica mediante funciones complementarias en los órganos consultivos, la organización conjunta de reuniones clave y la colaboración en los principales resultados de las evaluaciones, como la evaluación científica cuatrienal del agotamiento de la capa de ozono.

El Sistema Mundial de Observación del Ozono se creó en 1957, durante el Año Geofísico Internacional, con el fin de normalizar las observaciones del ozono en todo el mundo. Posteriormente pasó a formar parte de la VAG, con el mandato de supervisar la recuperación de la capa de ozono, incluido el agujero de ozono sobre la Antártida, mediante observaciones a largo plazo y de alta calidad. El mandato de la VAG también respalda el desarrollo continuo de las investigaciones y las observaciones relacionadas con el ozono a través del Grupo Consultivo Científico sobre el Ozono Estratosférico y la Radiación Ultravioleta (SAG-O3UV), entre cuyos miembros se encuentran destacados científicos especializados en la atmósfera y expertos en instrumentación de todo el mundo.

Varios miembros del SAG-O3UV también son miembros activos de los Administradores de Investigaciones sobre

el Ozono y el Grupo de Evaluación Científica, lo que contribuye a mantener la coherencia en este complejo sistema internacional.

La llamada de atención: por qué el monitoreo se convirtió en una prioridad

En 2018, los científicos detectaron un aumento inesperado de las emisiones mundiales de CFC-11, una sustancia que se suponía que ya se había eliminado por completo, que posiblemente procedía de varias regiones del mundo, pero sobre todo de Asia Oriental. Este descubrimiento puso de relieve la importancia que reviste el monitoreo científico riguroso para respaldar la aplicación del Protocolo de Montreal.

En respuesta a ello, el Grupo de Evaluación Científica elaboró un informe técnico titulado *Closing the Gaps in Top-Down Regional Emissions Quantification: Needs and Action Plan* (Cómo subsanar las deficiencias en la cuantificación de emisiones regionales de arriba hacia abajo: necesidades y plan de acción), en el que se concluía, entre otras cosas, que el monitoreo existente a escala regional era insuficiente para identificar las fuentes de emisiones anómalas.

Las Partes respondieron reforzando progresivamente el apoyo al monitoreo regional. A partir de la 33ª reunión de las Partes de 2021, las decisiones marcaron una evolución que pasó de identificar las lagunas en la cobertura del monitoreo a planificar medidas concretas de ampliación. En la Decisión XXXIII/4 se instó, en primer lugar, a estudiar las opciones de monitoreo regional, las lagunas en la cobertura y los costos. Dos años más tarde, en virtud de la Decisión XXXV/14, se amplió esta labor para incluir la localización de posibles emplazamientos de estaciones y la estimación de los

costos que supondría el refuerzo de la red mundial de monitoreo.

En la 36ª reunión de las Partes, el enfoque había pasado de la planificación a la puesta en práctica. Mediante la [Decisión XXXVI/1](#), las Partes promovieron la evaluación de emplazamientos adecuados para el monitoreo y ampliaron el mandato del fondo fiduciario general para incluir el monitoreo atmosférico de las sustancias reguladas, e instaron al Fondo Multilateral a que estudiara las modalidades para apoyar un número limitado de proyectos piloto destinados a mejorar el monitoreo regional. El mensaje era claro: sin mediciones, no se puede verificar la eficacia de las medidas adoptadas a nivel internacional.

OMM: la infraestructura que sustenta la ciencia

El monitoreo de la recuperación de la capa de ozono se basa en una combinación de instrumentos terrestres y satélites que funcionan conjuntamente para ofrecer una visión completa y fiable de la atmósfera. En primer lugar, los científicos miden la columna de ozono total, es decir, la cantidad de ozono que hay sobre un lugar determinado, y su distribución vertical en la estratosfera.

Los instrumentos terrestres, como los espectrofotómetros de Dobson y Brewer, se utilizan desde la década de 1920 y proporcionan registros a largo plazo de gran precisión. Estas mediciones son fundamentales para detectar tendencias lentas, ya que la recuperación del ozono se produce de forma gradual a lo largo de décadas. Los satélites, que llevan en funcionamiento desde finales de la década de 1970, complementan este trabajo al proporcionar una

Autoría: Alberto Redondas Marrero



Los científicos instalan los instrumentos durante la 6ª Campaña de Intercomparación de Instrumentos Dobson para la Medida de Ozono para África y la 20ª Campaña de Espectrofotómetros Brewer para Europa, coordinadas por la VAG y celebradas en El Arenosillo (España), del 15 al 27 de junio de 2025.

cobertura casi mundial, observaciones frecuentes y una alta resolución espacial. Permiten a los científicos realizar el monitoreo del ozono en regiones remotas, incluidos los océanos y las zonas polares, donde las estaciones terrestres son escasas.

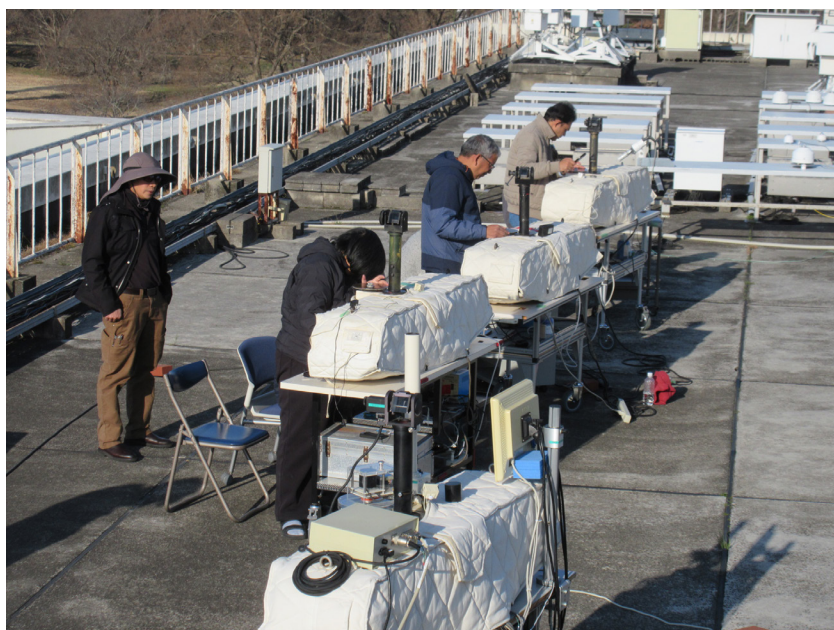
Ambos sistemas son necesarios porque cada uno tiene sus propias ventajas: los satélites ofrecen una cobertura casi global y continua, mientras que las estaciones terrestres proporcionan mediciones de referencia a largo plazo, estables y de gran precisión. Las observaciones terrestres también cumplen un papel importante en la calibración y validación de las observaciones satelitales, ya que contribuyen a garantizar que los datos satelitales sigan siendo precisos y coherentes a lo largo del tiempo. Sin este proceso, sería mucho más difícil distinguir una recuperación real del ozono de los errores de medición.

Creación y mantenimiento de una red mundial de observación

El sistema mundial de monitoreo del ozono se basa en una amplia variedad de redes de observación y colaboraciones científicas, entre las que se incluyen la Red para la Detección de Cambios en la Composición de la Atmósfera (NDACC), la red de ozonosondas adicionales del hemisferio sur (SHADOZ) y la iniciativa Aeronave en Servicio para un Sistema de Observación Global (IAGOS). La OMM ha firmado memorandos de entendimiento con varias de estas redes y forma parte de los comités directivos de la NDACC y la IAGOS.

El núcleo operativo de este sistema es la red de monitoreo del ozono de la OMM, una cadena de más de 50 espectrofotómetros Dobson y 85 Brewer distribuidos en 55 países y gestionados por los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales y otros asociados. Estos instrumentos miden el espesor de la capa de ozono (columnas de ozono total, troposférico y estratosférico), variables climáticas esenciales reconocidas por el Sistema Mundial de Observación del Clima (GCOS)). Como complemento a estas mediciones, se llevan a cabo sondeos del ozono en aproximadamente 50 emplazamientos de todo el mundo, lo que proporciona datos de perfiles verticales que los instrumentos de superficie por sí solos no pueden captar.

Todo ello se sustenta en un sistema de calidad coordinado a nivel internacional en el marco del Programa de la VAG de la OMM. Esto incluye los laboratorios centrales de calibración que mantienen instrumentos de referencia; centros de garantía de calidad/actividad científica, que se encargan de coordinar la calidad de los datos, la formación y las actividades científicas; los centros mundiales y regionales de calibración, que prestan apoyo a las estaciones de la VAG para garantizar la trazabilidad de sus observaciones con respecto a las normas de referencia, llevan a cabo campañas de intercomparación y ofrecen formación y asesoramiento; y el Centro Mundial de Datos sobre el Ozono y la Radiación Ultravioleta (WOUDC), que se encarga de archivar, gestionar y facilitar el acceso a los datos sobre el ozono estratosférico y a los metadatos conexos. Las campañas de intercomparación son esenciales para mantener la calidad y la comparabilidad de los datos a



Científicos realizan mediciones de calibración y comparación durante el taller de la VAG de la OMM relativo a la intercomparación regional de espectrofotómetros Dobson para Asia 2026, que tuvo lugar en Tsukuba (Japón).

nivel transfronterizo. Los instrumentos Brewer deben calibrarse cada dos años, mientras que los Dobson deben hacerlo cada cinco. Estos procesos suelen contar con el apoyo extrapresupuestario del fondo fiduciario general y del fondo fiduciario de instrumentos Brewer del Canadá, que financia las actividades relacionadas con los espectrofotómetros Brewer de la OMM.

A principios de 2026, el fondo fiduciario general había financiado 21 proyectos y actividades de este tipo en todo el mundo, entre los que se incluyen las campañas de intercomparación celebradas en España en 2025 y en el Japón en 2026, ambos coordinados por la OMM. Está prevista otra campaña en la Argentina a finales de 2026 para apoyar a las Asociaciones Regionales III y IV.

Estas campañas son fundamentales, ya que incluso los pequeños errores de medición pueden afectar la detección de las tendencias del ozono a largo plazo. Para que el monitoreo del clima sea fiable, es esencial mantener una precisión de entre el 1 % y el 3 %, así como la estabilidad de las observaciones a lo largo de décadas.

El mantenimiento de una red mundial de tal envergadura plantea desafíos considerables, entre los que se incluyen el mantenimiento de los instrumentos Dobson y Brewer, cada vez más antiguos, y el cierre de centros regionales, como [el centro de garantía de calidad/actividad científica y el centro regional de calibración en el Japón](#), que prestaban servicio a las Asociaciones Regionales II y V. Este cierre supone un riesgo significativo para la continuidad del monitoreo en la región.

La creciente demanda de monitoreo de la calidad del aire

En 2023, las mediciones atmosféricas situaron las emisiones mundiales de HFC-23 en unas 14 200 toneladas, según el [informe del Grupo de Evaluación Científica del PNUMA sobre el HFC-23](#). El HFC-23 es un potente gas de efecto invernadero que se produce principalmente como subproducto de la fabricación del hidroclorofluorocarbono-22 (HCFC-22), un refrigerante. En virtud de la Enmienda de Kigali de 2016 al Protocolo de Montreal, los países están obligados a notificar y reducir estas emisiones.

Sin embargo, si se tienen en cuenta todas las fuentes conocidas y las reducciones comunicadas, las emisiones previstas deberían situarse entre 1 600 y 3 700 toneladas al año. Sin embargo, las mediciones atmosféricas indican que las emisiones son casi cuatro veces superiores. Esta diferencia, estimada entre 9 600 y 13 300 toneladas en 2023, no puede explicarse actualmente por ninguna fuente conocida y lleva años persistiendo.

El descubrimiento de [emisiones imprevistas de CFC-11](#) y la [persistente falta de datos sobre HFC-23](#) han puesto de manifiesto que los compromisos por sí solos no bastan si no se cuenta con sistemas sólidos de monitoreo atmosférico. El estado real de la atmósfera solo puede seguirse de forma fiable mediante un sistema de observación mundial, sostenido, bien calibrado y gestionado por personal cualificado en numerosos países. Los satélites ofrecen una visión global de la atmósfera, mientras que las observaciones terrestres garantizan la precisión y la coherencia a largo plazo necesarias para evaluar los avances de acuerdos internacionales como el Protocolo de Montreal.

La evolución del papel de la OMM en el monitoreo de las sustancias controladas

La importancia de reforzar el monitoreo atmosférico se puso aún más de relieve en 2025, durante la 47ª reunión del Grupo de Trabajo de composición abierta de las Partes en el Protocolo de Montreal, celebrada en Tailandia.

Durante la reunión, en la [Decisión 96/56](#) del Comité Ejecutivo del Fondo Multilateral, se analizó la posibilidad de que la OMM asumiera el papel de organismo ejecutor de proyectos piloto destinados a mejorar el monitoreo atmosférico regional de las sustancias controladas.

Esta función se basaría en la labor que la OMM realiza desde hace mucho tiempo en materia de monitoreo de la composición de la atmósfera. A través del Programa de la VAG, la OMM ya coordina las estaciones que miden los HFC y los HCFC, los principales sustitutos de los CFC, a menudo en el marco del Experimento Mundial Avanzado sobre Gases Atmosféricos (AGAGE), que suministra observaciones continuas desde 1978. La Secretaría del Fondo Multilateral sigue estudiando esta posible función.

A medida que se ha ampliado la lista de sustancias controladas, ha aumentado también la necesidad de efectuar observaciones atmosféricas continuadas. La inversión que la OMM lleva realizando desde hace mucho tiempo en infraestructuras de observación, sistemas de calibración, órganos consultivos científicos y colaboraciones internacionales la sitúa en una posición única para apoyar esta nueva etapa del Protocolo de Montreal.