

Calibraciones absolutas de Ozono Total en el Observatorio Atmosférico de Izaña: Gestación del centro europeo de calibración de espectrofotómetros Brewer

A. Redondas⁽¹⁾, E. Cuevas⁽¹⁾, A Labajo⁽²⁾

Observatorio Atmosférico de Izaña - **Instituto Nacional de Meteorología**
Área de Proyectos - **Instituto Nacional de Meteorología**

Durante los últimos años, con el desarrollo vertiginoso de la teledetección, se pone de manifiesto la necesidad de contar con estaciones de referencia de Tierra que permitan el seguimiento y validación de las observaciones desde satélites. En el campo del ozono atmosférico las medidas más antiguas se realizan con los espectrofotómetros Dobson que llevan realizando observaciones de ozono total desde los años 30 del pasado siglo. El control de calidad de la red Dobson es considerado ejemplar. Por este motivo, y a pesar de su antigüedad, sigue siendo la referencia de las medidas de ozono. El sistema de control se basa en un instrumento de referencia mundial que es calibrado de forma absoluta mediante el método Langley en Mauna Loa (Hawai, Estados Unidos). Esta calibración del patrón primario es transferida a patrones regionales, pasando, posteriormente, de éstos a los instrumentos de red mediante intercomparaciones organizadas por la OMM (Organización Meteorológica Mundial). Con los espectrofotómetros Brewer, diseñados en los años 80 como sustitutos de los Dobson, se pretende seguir el mismo esquema. El patrón Brewer consiste en una tríada de instrumentos que son calibrados periódicamente de forma absoluta en Mauna Loa y que se encuentran en Toronto (Canadá). La transferencia de la calibración a los instrumentos de red se realiza mediante patrones viajeros. Sin embargo, no existe en la actualidad una red de centros regionales. El primer centro regional que se va a constituir es el correspondiente a la región VI de la OMM (Europa) y se encontrará físicamente localizada en el Observatorio de Izaña, ya que cuenta, como ventaja añadida, con la posibilidad de realizar calibraciones absolutas y de esta forma mantener una referencia independiente

1. La medida de ozono: los espectrofotómetros Dobson y Brewer

El espectrofotómetro Dobson es el instrumento más antiguo empleado en la actualidad para la medida de Ozono. Este instrumento representa un caso excepcional en la historia de la instrumentación atmosférica ya que es un instrumento diseñado en 1926 por G.M.B. Dobson y actualmente funcionando en un centenar de estaciones alrededor de todo el mundo. La red de instrumentos Dobson tiene un sistema de control de calidad y calibración modélico. A pesar de su gran complejidad, los procedimientos de operación, mantenimiento, calibración y reducción de datos se encuentran perfectamente establecidos y documentados (WMO, 1980). Este hecho hace que la red mundial de instrumentos Dobson este considerada como la fuente más fidedigna de obtención de ozono total en la red mundial de observación GO3OS. (Global Ozone Observation System).

La herramienta principal del sistema de calibración Dobson es la realización de intercomparaciones periódicas de los diferentes instrumentos de la red frente a los instrumentos de referencia. Existe un instrumento patrón mundial desde la década de los 70, el Dobson #86, operado y mantenido en el *World Dobson Spectrophotometer Calibration Center*, perteneciente al CMDL (*Climate Monitoring and Diagnosis Laboratory*) de la NOAA (*Nacional Atmospheric and Oceanic Administration*) Boulder, Colorado (EEUU). Desde los años sesenta prácticamente la totalidad de los instrumentos han sido comparados directa o indirectamente con este patrón. El instrumento patrón primario y los patrones regionales son calibrados conjuntamente por el método Langley. En intercomparaciones periódicas esta calibración es transferida al resto de los instrumentos en intercomparaciones regionales. Estas intercomparaciones son llevadas a cabo dentro del programa de vigilancia atmosférica mundial (*Global Atmospheric Watch*) de la OMM. El procedimiento esta establecido y los resultados se publican



regularmente. Recientemente se han establecido centros regionales de calibración RDCC (*Regional Dobson Calibration Center*), en Alemania (Europa), Japón (Asia), Argentina (Sur America) y Sudáfrica (África). Estos centros organizan las intercomparaciones, procesan los datos y realizan las publicaciones y aconsejan las correcciones que hay que aplicar a la serie de datos.

El espectrofotómetro Brewer nace con la difícil tarea de sustituir al Dobson. Fue desarrollado a finales de los años setenta en el Servicio Meteorológico Canadiense (Kerr et al. 1984) basándose en los trabajos de Brewer al que debe su nombre. El Brewer es un instrumento totalmente automático diseñado para medir ozono total en columna, radiación ultravioleta espectral y determinar perfiles verticales de ozono mediante el método Umkehr. El instrumento no solo automatiza la medida y la adquisición, de los datos sino que gran parte del mantenimiento que requería el Dobson se realiza ahora de forma automática. El sistema de calibración Brewer esta basado en una triada de instrumentos situados en Toronto (Canadá) y gestionados por el Servicio Meteorológico Canadiense, Los instrumentos de la triada se calibran absolutamente de forma independiente en Mauna Loa y mantienen una diferencia entre ellos desde 1984 menor al 1%.

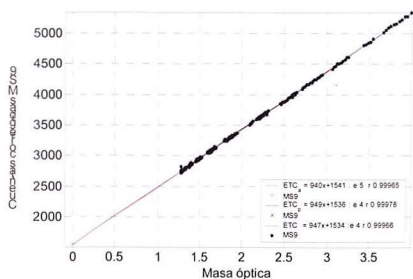
2. Calibración de las medidas de ozono

El cálculo de ozono en una atmósfera simplificada, en la que solo contuviera ozono, la irradiancia I_λ de una longitud de onda λ , viene dada por la ecuación de Lambert-Beer (1.1)

$$I_\lambda = I_{0\lambda} \cdot \exp(-\alpha \cdot \eta \cdot O_3) \quad (1.1)$$

Donde $I_{0\lambda}$ es la irradiancia extraterrestre, la que existiría en el exterior de la atmósfera. η es el camino óptico, α el coeficiente de absorción de ozono y O_3 es la concentración de ozono. El coeficiente de absorción de ozono lo determinamos en medidas de laboratorio, podemos calcular η y medimos la irradiancia, tan solo nos queda determinar la constante extraterrestre.

ETC O₃ B29298157 19-Oct-1998
O3 269 (2.9), AM O3 270 (3.0), PM O3 268 (2.3)



Esta la podemos determinar usando el denominado método Langley, si realizamos varias medidas de la irradiancia a distintas masas ópticas, representando el logaritmo de la irradiancia frente a la masa óptica obtendremos una línea recta (Figura 1) cuya ordenada en el origen es el logaritmo de la constante extraterrestre que queremos determinar y cuya pendiente es proporcional al ozono. Para que este método sea válido el ozono ha de permanecer constante durante las medidas en nuestra atmósfera simplificada. En la atmósfera real también han de permanecer estables otros absorbentes que por simplicidad no hemos considerado como los aerosoles, el SO₂ y las nubes. Los lugares donde es posible realizar calibraciones Langley están en altura lo que les permite aislarse de los aerosoles troposféricos y

contar con condiciones de cielo despejado. Las condiciones del observatorio de Izaña son excepcionales para la calibración Langley, ya que esta situado en altura por encima del mar de nubes que lo aísla de las contribuciones de las capas bajas confirmando al aire una gran transparencia y una alta probabilidad de días despejados. La latitud subtropical donde se caracteriza por una concentración de ozono estable gran parte del año. Al mismo tiempo el rango de masas ópticas recomendado para la calibración Langley, entre 1.5 y 3, se alcanza prácticamente durante todo el año. En los lugares donde

no es posible la calibración Langley, la constante extraterrestre se obtiene por comparación con un instrumento patrón y es mantenida entre calibraciones mediante lámparas.

3. El centro europeo calibración de espectrofotómetros Brewer

A pesar de que el sistema de calibración de los Brewer es similar al de los Dobson ni los resultados de estas calibraciones ni la metodología empleada son publicados regularmente por lo que existe gran reticencia en la comunidad científica en usar los datos de los Brewer. A pesar de que cada vez son mas lo Brewer en operación frente a los Dobson son éstos quienes siguen siendo el instrumento de referencia. Para solucionar esta problemática el SAG (Scientific Advisory Group) de Ozono de la OMM recomendó la creación de un centro de calibración regional en el Observatorio Atmosférico de Izaña. La razón principal del establecimiento del centro reside en la posibilidad de realizar calibraciones absolutas e independientes de ozono mediante el método Langley. El método de transferencia de la calibración es similar al existente en los Dobson, se realizará mediante intercomparaciones de instrumentos que se desarrollaran tanto en el OAI como en centros asociados a los que se desplazan los instrumentos que se desean calibrar. Las campañas de calibración no hay que verlas como simples calibraciones instrumentales. Tan importantes como la calibración son las actividades formativas que tienen lugar al coincidir los operadores y los instrumentos. Estas permiten la unificación criterios y metodologías tanto en la operación del instrumento como en la evaluación de datos.

El centro de calibración está bajo la supervisión de un comité de expertos que asesoran en la metodología de la operación y calibración de los instrumentos así como dirige la investigación de nuevas técnicas de medida y coordinan las actividades con otros centros de calibración de ozono y radiación ultravioleta. Este se articula sobre tres pilares:

1. El centro de calibración del OAI donde se sitúa el instrumento patrón y el instrumento viajero. En él se realiza la transferencia de la calibración desde la triada patrón mundial y se mantiene de forma independiente mediante el método Langley.
2. Los centros asociados en el continente europeo a donde se traslada el patrón viajero y los instrumentos a ser calibrados. Actualmente se contemplan la creación de 2 centros que cubren el Norte y Sur de Europa situados en Arosa (Suiza) y El Arenosillo (Huelva) respectivamente.
3. El centro de documentación y asesoramiento, situado también en el OAI en colaboración con la base datos mundial WOUDC (World Ozone and Ultraviolet Database Centre) que se encarga de registrar la historia de los instrumentos para determinar de esta forma la calidad de sus medidas. Además realizará labores de asesoramiento en la calibración y evaluación de datos.

4. Conclusiones

La creación del primer centro regional de calibración regional contribuirá a mejorar la fiabilidad de las medidas de ozono total tanto desde tierra como las de satélites en Europa.

5. Referencias

- Komhyr, W.D. Operations handbook - Ozone observations with a Dobson Spectrophotometer, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, Report 6, WMO, Geneva, 1980
- Kerr, J.B., McElroy, C.T., Wardle, D.I., Olafson, R.A. and Evans, W.F., The automated Brewer Spectrophotometer, Proceed. Quadr. Ozone Symp. in Halkidiki, C.S. Zerefos and A. Ghazi (Eds.), D. Reidel, Norwell, Mass., pp. 396-401, 1985.