

CENTRO DE CALIBRACIÓN REGIONAL BREWER - EUROPA (RBCC-E): ESTABILIDAD DE LAS MEDIDAS DE OZONO REALIZADAS EN EL OBSERVATORIO ATMOSFÉRICO DE IZAÑA

Sergio Fabián León-Luis⁽¹⁾, Virgilio Carreño⁽²⁾, Alberto Redondas⁽³⁾, Daniel Santana-Díaz⁽⁴⁾, Javier López-Solano⁽⁵⁾, Manuel Rodríguez⁽⁶⁾.

⁽¹⁾ Regional Brewer Calibration Center Europe, Izaña Atmospheric Research Center, Agencia Estatal de Meteorología, Tenerife, Spain. sleonl@aemet.es

⁽²⁾ Regional Brewer Calibration Center Europe, Izaña Atmospheric Research Center, Agencia Estatal de Meteorología, Tenerife, Spain. vcarrenoc@aemet.es

⁽³⁾ Regional Brewer Calibration Center Europe, Izaña Atmospheric Research Center, Agencia Estatal de Meteorología, Tenerife, Spain. aredondasm@aemet.es

⁽⁴⁾ Luftblick Earth Observation Technologies. daniel.santana@luftblick.at

⁽⁵⁾ Regional Brewer Calibration Center Europe, Izaña Atmospheric Research Center, Agencia Estatal de Meteorología, Tenerife, Spain. jlopezs@aemet.es

⁽⁶⁾ Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de La Laguna, Tenerife, Spain. mrvalido@ull.es

Resumen

Los espectrofotómetros Brewers tienen como principal tarea medir la columna total de ozono (TOC). Estos instrumentos son calibrados respecto a instrumentos de referencia viajeros como el Brewer #017, operado por IOS y calibrado frente a la tríada de Canadá o, más reciente, con respecto al Brewer #185 que forma parte de la Tríada del Centro de Calibración Regional Brewer para Europa (RBCC-E) situado en el Observatorio Atmosférico de Izaña y perteneciente a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

En este trabajo se pretende, en primer lugar, mostrar cómo es el ciclo anual del ozono estratosférico en las islas Canarias, indicando su período de máxima y mínima concentración y, en segundo lugar, mostrar el grado de acuerdo entre las medidas de ozono llevadas a cabo por los tres instrumentos, Brewer #157, #183 y #185 que forman la tríada RBCC-E. En este sentido, y teniendo en cuenta que cada Brewer realiza a lo largo del día un elevado número de observaciones, se ha visto adecuado calcular su valor medio.

En este trabajo se han empleado dos conjuntos de datos para evaluar el grado de acuerdo entre los tres instrumentos. El primer conjunto de datos incluye todas las medidas hechas por los Brewers mientras el segundo sólo considera las medidas que de manera simultánea han sido realizadas por los tres instrumentos. Los resultados indican que este segundo conjunto de datos muestra una mejor estimación del acuerdo existente entre los tres Brewers. No obstante, ambos conjuntos indican que la desviación entre los valores medios diarios de los tres Brewers #157, #183 y #185 que forman la RBCC-E es ~0,5%.

Introducción

Los espectrofotómetros Brewer tienen como principal tarea la determinación de la columna total de ozono (TOC) ya que por su diseño instrumental original, fueron pensados para este fin (Brewer, 1973, Kerr et al. 2005). No obstante, también pueden ser empleados para medir la radiación espectral ultravioleta (Fioletov, 2002), así como

determinar la concentración de aerosoles (AOD) en este mismo rango (López-Solano et al., 2017).

En el caso de las medidas de ozono, estos instrumentos son calibrados frente a otros denominados instrumentos de referencia viajeros, los cuales a su vez han sido calibrados, previamente, frente a las tríadas de referencia. Con esto lo que se persigue es que independientemente del lugar sobre la superficie terrestre en que se sitúe el instrumento calibrado, sus medidas sean de igual exactitud a las que hubiese hecho un instrumento de referencia garantizando, por tanto, la trazabilidad de las medidas de ozono.

Para los espectrofotómetros Brewer, la trazabilidad mundial de sus medidas viene referenciada respecto a la tríada de Toronto (Canadá). No obstante, y debido a la incertidumbre sobre la posible continuidad de esta tríada, en el año 2003 y dentro de la World Meteorological Organization (WMO) and the Global Atmosphere Watch (GAW) Programme se estableció el Centro de Calibración Regional Brewer- Europa (RBCC-E) en el Observatorio Atmosférico de Izaña (IZO) en la isla de Tenerife. La Tríada de la RBCC-E está formada por los brewers #157, #183 y #185. Las medidas de ozono realizadas por la referencia primaria #157 son enviadas regularmente a diferentes servidores de datos mundiales. La referencia secundaria #183 es utilizada para desarrollar y testear nuevas rutinas de medidas o mejoras instrumentales, mientras que la referencia viajera corresponde al Brewer #185 (Cuevas et al., 2015).

Con el objetivo de conseguir que las medidas obtenidas por los más de 50 Brewers repartidos por toda Europa sean fiables, el RBCC-E organiza anualmente campañas de intercomparación Brewers. Estas campañas se celebran anualmente y de forma alterna entre la estación de radiosondeo El Arenosillo (Huelva) y el Observatorio Atmosférico de Arosa (Suiza) (Redondas et al. 2015, 2016). Aparte de estas campañas regulares, la RBCC-E ha organizado otras campañas científicas: La Campaña Nórdica que tenía como objetivo estudiar las medidas de ozono para altas latitudes y la Campaña de Calibración Absoluta donde se compararon, de manera rigurosa, las observaciones realizadas el RBCC-E respecto a las hechas por el Brewer #145, perteneciente a la referencia mundial (Tríada de Toronto). Más recientemente, y bajo la financiación de la Acción COST ES1207, "A European Brewer Network (EUBREWNET)", la RBCC-E y la AEMET están desarrollando un servidor de datos EUBREWNET (<http://rbcce.aemet.es/eubrewnet>) con el objetivo de tener valores de ozono en casi tiempo real a partir de las medidas enviadas a este servidor por más de 40 Brewers distribuidos, principalmente, por Europa. Este servidor de datos sirve para complementar los objetivos de esta Acción Cost la cual pretende establecer una red de estaciones de medidas Brewer con similares protocolos que permitan alcanzar similares grados de control y precisión (Rimmer et al., 2017).

En este trabajo se muestra el ciclo anual del ozono y se da una visión general del acuerdo entre las medidas de ozono llevadas a cabo por los tres instrumentos Brewers #157, #183 y #185 que forman la tríada RBCC-E.

Medida de ozono en el observatorio atmosférico de Izaña

El observatorio atmosférico de Izaña (IZO) está en lo alto de una meseta montañosa a 2373 metros sobre el nivel del mar. Desde un punto de vista meteorológico, Izaña está

ubicada por debajo de la rama descendente de la célula de Hadley, además de estar situado por encima de una capa de inversión estable, y en una isla que no presenta ninguna actividad industrial significativa. Estas condiciones garantizan un aire limpio y de cielo despejado durante todo el año (Figura 1). Ambos requisitos son necesarios para poder llevar a cabo la técnica de Langley, que permite la calibración de cada Brewer de forma independiente. Siendo descartados solamente los días con condiciones meteorológicas adversas o con una fuerte intrusión de polvo sahariano (Cuevas et al., 2015).



Fig 1. (De izq. a der.)
Brewers #157, #183 y
#185 instalados en la
azotea del Observatorio
Atmosférico de Izaña.

Los valores de ozono medio diarios y mensuales correspondientes a las observaciones hechas por el Brewer #157 entre los años 2005-2016 se presentan en la Figura 2. Como se aprecia, el ozono presenta un ciclo anual, en forma de diente de sierra, cuyo máximo se sitúa en los meses de primavera y su mínimo en otoño. A pesar de esta tendencia anual, en términos diarios las medidas indican un comportamiento estable y con poca fluctuación. Este hecho unido a la presencia de una inversión térmica que provoca una atmósfera libre de aire contaminado proveniente de las ciudades que rodean el observatorio, permiten entender por qué el Observatorio Atmosférico de Izaña es una excelente localización para un centro de calibración Brewer, así como para otros instrumentos.

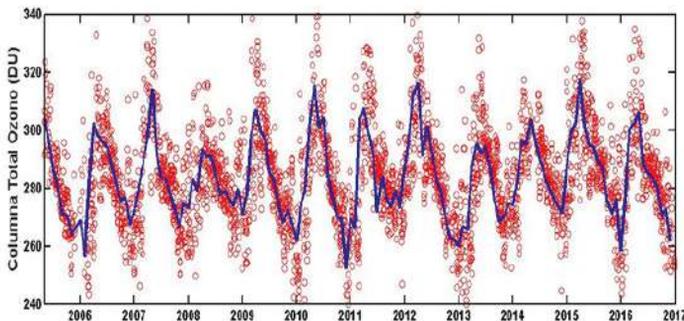


Fig 2. Valores
medios diarios
(círculo) y
mensuales
(línea) de ozono
medidos en el
Observatorio
Atmosférico de
Izaña.

Estabilidad de las medidas de ozono

En el periodo 2005-2016, cada Brewer que forma parte de la tríada RBCC-E ha realizado más de 180.000 observaciones. Este volumen de datos han sido agrupados en dos conjuntos: el primero que incluyen todas las observaciones y un segundo que solo tienen

en cuenta aquellas realizadas de manera simultánea por los tres instrumentos. Se considera que una medida es simultánea si en una ventana temporal de 5 minutos se dispone de una observación realizada por cada instrumento. Además, se debe tener presente que solo se evalúan los días en que existen medidas de los tres instrumentos.

Con las observaciones disponibles para los dos conjuntos de datos, el RBCC-E evalúa el acuerdo entre sus Brewers #157, #183 y #185 calculando el ozono medio diario a partir de las observaciones de cada instrumento ($O_{3_{157}}, O_{3_{183}}, O_{3_{185}}$) y el ozono medio de la Tríada,

$$O_{3_{tríada}} = (O_{3_{157}} + O_{3_{183}} + O_{3_{185}}) / 3$$

El acuerdo de cada instrumento se evalúa a partir de la diferencia entre el ozono medio de la tríada y el de cada instrumento,

$$O_{3_{tríada}} - O_{3_i} \quad i=157, 183, 185$$

Las diferencias diarias calculadas se presentan en forma de histograma en la Figura 3, donde se aprecia como un gran porcentaje de días se registra una discrepancia menor a una unidad Dobson. Este excelente resultado confirma que los protocolos de control establecidos por el RBCC-E son suficientemente rigurosos y que las diferentes calibraciones realizadas a cada instrumento a lo largo de los años han sido las adecuadas.

Actualmente, se está desarrollando un trabajo más detallado en el cual los valores de ozono medidos por los Brewers #157, #183 y #185 son ajustados a los modelos utilizados para evaluar el acuerdo entre los instrumentos que forman la Tríada Mundial de Toronto (Fioletov et al., 2015), así como para la Tríada de Arosa (Stübi et al., 2016). Con este trabajo se pretende comparar el grado de acuerdo de las medidas realizadas por la RBCC-E con estas tríadas.

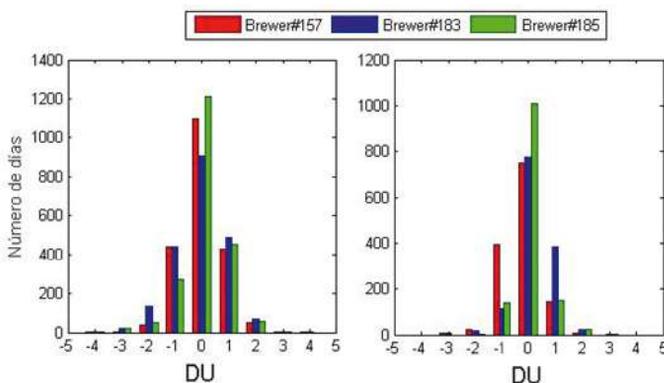


Fig. 3. Diferencia entre el valor medio de ozono medido por cada Brewer ($O_{(3_{157})}, O_{(3_{183})}, O_{(3_{185})}$) y el ozono de la tríada ($O_{(3_{tríada})}$). Izquierda, Todas las medidas realizadas entre los años 2005-2016, Conjunto datos 1. Derecha, Solo medidas simultáneas entre los años 2010-2016, conjunto de datos 2. En ambos histogramas, el eje vertical corresponde al número total de días evaluados.

Referencias

- Brewer, A. W.: A replacement for the Dobson spectrophotometer?, *Pure and Applied Geophysics*, 106-108, 919–927, <https://doi.org/10.1007/BF00881042>, <http://link.springer.com/10.1007/BF00881042>, 1973.
- Carvalho, F. and Henriques, D.: Use of Brewer ozone spectrophotometer for aerosol optical depth measurements on ultraviolet region, *Advances in Space Research*, 25, 997–1006, [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(99\)00463-9](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(99)00463-9), <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117799004639>, 2000.
- Cuevas, E., Milford, C., Bustos, J. J., del Campo-Hernández, R., García, O. E., García, R. D., Gómez-Peláez, A. J., Ramos, R., Redondas, A., Reyes, E., Rodríguez, S., Romero-Campos, P. M., Schneider, M., Belmonte, J., Gil-Ojeda, M., Almansa, F., Alonso-Pérez, S., Barreto, A., González-Morales, Y., Guirado-Fuentes, C., López-Solano, C., Afonso, S., Bayo, C., Berjón, A., Bethencourt, J., Camino, C., Carreño, V., Castro, N. J., Cruz, A. M., Damas, M., De Ory-Ajamil, F., García, M. I., Fernández-de Mesa, C. M., González, Y., Hernández, C., Hernández, Y., Hernández, M. A., Hernández-Cruz, B., Jover, M., Kühl, S. O., López-Fernández, R., López-Solano, J., Peris, A., Rodríguez-Franco, J. J., Sálamo, C., Sepúlveda, E., and Sierra, M.: Izaña Atmospheric Research Center Activity Report 2012-2014, no.219 in GAW Report, State Meteorological Agency (AEMET), Madrid, Spain, and World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/Final_GAW_Report_No_219.pdf, 2015.
- Fioletov, V. E.: Comparison of Brewer ultraviolet irradiance measurements with total ozone mapping spectrometer satellite retrievals, *Optical Engineering*, 41, 3051, <https://doi.org/10.1117/1.1516818>, <http://opticalengineering.spiedigitallibrary.org/article.aspx?doi=10.1117/1.1516818>, 2002.
- Fioletov, V. E., Kerr, J., McElroy, C., Wardle, D., Savastiouk, V., and Grajnar, T.: The Brewer reference triad, *Geophysical Research Letters*, 32, <https://doi.org/10.1029/2005GL024244>, <http://doi.wiley.com/10.1029/2005GL024244>, 2005.
- Kerr, J. B.: The Brewer Spectrophotometer, in: *UV Radiation in Global Climate Change*, pp. 160–191, Springer, Berlin, Heidelberg, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-03313-1_6, doi:10.1007/978-3-642-03313-1_6, 2010.
- López-Solano, J., Redondas, A., Carlund, T., Rodríguez-Franco, J. J., Diémoz, H., León-Luis, S. F., Hernández-Cruz, B., Guirado-Fuentes, C., Kouremeti, N., Gröbner, J., Kazadzis, S., Carreño, V., Berjón, A., Santana-Díaz, D., Rodríguez-Valido, M., De Bock, V., Moreta, J. R., Rimmer, J., Smedley, A. R. D., Boulkelia, L., Jepsen, N., Eriksen, P., Bais, A. F., Shirov, V., Vilaplana, J. M., Wilson, K. M. and Karppinen, T.: Aerosol optical depth in the European Brewer Network, *Atmos. Chem. Phys.*, 18(6), 3885–3902, doi:10.5194/acp-18-3885-2018, 2018.
- Redondas, A. and Rodríguez-Franco, J.: Ninth Intercomparison Campaign of the Regional Brewer Calibration Center Europe (RBCC-E), no. 224 in GAW Report, World Meteorological Organization, http://library.wmo.int/pmb_ged/gaw_224_en.pdf, 2015.
- Redondas, A. and Rodríguez-Franco, J.: Eighth Intercomparison Campaign of the Regional Brewer Calibration Center for Europe (RBCC-E)(El Arenosillo Atmospheric Sounding Station, Huelva, Spain, 10-20 June 2013), doi: 10.13140/RG.2.1.2304.7443, 2016.
- Rimmer, J., Redondas, A., Gröbner, J., Karppinen, T., De Bock, V., and Bais, A.: The European COST Action EUBrewNet, http://conf.montreal-protocol.org/meeting/orm/10orm/presentations/Observer%20Publications/Tu1745_Rimmer_EUBrewNET.pdf, 2017.
- Stübi, R., Schill, H., Klausen, J., Vuilleumier, L., and Ruffieux, D.: Reproducibility of total ozone column monitoring by the Arosa Brewer spectrophotometer triad: AROSA BREWER TRIAD, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122, 4735–4745, <https://doi.org/10.1002/2016JD025735>, <http://doi.wiley.com/10.1002/2016JD025735>, 2017.