

Caracterización de la tropopausa subtropical utilizando una serie larga de ozonosondeos sobre Tenerife

Juan José Rodríguez Franco⁽¹⁾, Emilio Cuevas Agulló⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (AEMET), jurodriguez@aemet.es

En este trabajo hemos analizado y caracterizado la estructura de la alta troposfera-baja estratosfera (UTLS) subtropical utilizando 20 años de perfiles verticales de ozono, temperatura y humedad relativa con muy alta resolución vertical, y datos de reanálisis de viento y vorticidad potencial del ECMWF ERA-Interim.

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (Tenerife, 28°N, 16°W) se encuentra en la región subtropical, caracterizada por frecuentes tropopausas múltiples (rotura de la tropopausa subtropical) asociadas a la presencia del chorro Subtropical (STJ). El principal objetivo de este trabajo es el de profundizar en el conocimiento y comprensión de la UTLS mediante observaciones in-situ, ya que los reanálisis no son capaces de resolver adecuadamente las estructuras finas observadas en esta singular región atmosférica [Reichler et al, 2003, Bell and Geller, 2008; Homeyer et al, 2010]. Es esperable que los resultados obtenidos en este estudio puedan ser comparables a los obtenidos en cualquier otro lugar en el cinturón subtropical en condiciones de flujo en la alta troposfera similares a los que se registran sobre Canarias.

La UTLS subtropical es una compleja región atmosférica con un espesor de 8 km, que es caracterizada en este estudio mediante el análisis y evaluación de las cuatro definiciones de tropopausa más importantes aceptadas hoy día: la del “Gradiente térmico” (térmica; TT), la del “punto de frío” (CPT), la de “ozono” (OT) y la “dinámica” (DT). Hemos obtenido una climatología de la altura de la tropopausa, y de sus correspondientes valores de vorticidad potencial y de temperatura potencial, utilizando datos de ozonosondeos de Tenerife correspondientes al periodo noviembre 1992-diciembre 2011. El ciclo estacional de múltiples tropopausas se calculó incluyendo la frecuencia (%) de observación de la primera, segunda y tercera tropopausas térmicas observadas (TT1, TT2 y TT3, respectivamente).

Los resultados obtenidos son, además, discutidos teniendo en cuenta la posición promedio del STJ para cada época del año, y la posición relativa del STJ respecto a la estación de ozonosondeos. De este análisis llegamos a la conclusión de que un umbral de la altura de la tropopausa de 14,3 Km es adecuado para discriminar las masas de aire con

características tropicales (en las que la altura de la tropopausa térmica > 14,3 km) de aquellas con características extratropicales (altura de la tropopausa térmica < 14,3 km).

Hemos investigado la estructura media a largo plazo de la UTLS y la variabilidad de la capa de inversión asociada a la tropopausa mediante perfiles verticales medios de estabilidad estática, utilizando la Frecuencia de Brunt-Väisälä al cuadrado (N^2), representativos de masas de aire tropicales y de latitudes medias.

La frecuencia de ocurrencia de múltiples tropopausas es máxima en invierno (>80%) y mínima en verano (<5%). Hemos observado períodos de transición en abril-junio (Septiembre-noviembre) asociados a una disminución (un aumento) en las ocurrencias de múltiples tropopausas, estrechamente relacionados con la posición del STJ relativa a la estación.

Si bien los valores climatológicos de la altura de la tropopausa y temperatura potencial son similares a los obtenidos en estudios previos basados en análisis de radiosondas [Seidel et al, 2001; Bischoff et al, 2007; Sivakumar et al, 2011] y por satélite [Son et al, 2011], sin embargo, en lo referente a los eventos con una única tropopausa, hay diferencias significativas entre nuestros resultados y los obtenidos por otros autores, como Bischoff et al. [2007] y Sivakumar et al. [2011], probablemente debido al hecho de que estos autores obtuvieron un promedio de altura de la tropopausa sin haber separado previamente las tropopausas altas de las bajas. La CPT y el TT3 se encuentra en niveles muy cercanos entre sí, ~18,5 km (~ 425 K), coincidente con el límite superior de la tropopausa tropical (TTL) que sugiere Fueglistaler et al. [2009].

En este trabajo se ha introducido, por vez primera, un nuevo método para determinar la tropopausa dinámica basado en el gradiente vertical de la vorticidad potencia (PV) modificada de Lait (LPV), que es sustancialmente diferente a la desarrollada en un estudio reciente realizado por Kunz et al. [2011]. Los valores de PV de Ertel asociados a la tropopausa dinámica corresponden bien con los encontrados por Kunz et al. [2011] para isentropas dentro del rango de 310 a 350 K.

El concepto de “segunda tropopausa dinámica” (DT2) ha sido también introducido en este trabajo por primera vez. La altura de la DT2, y su correspondiente temperatura potencial, se han caracterizado a lo largo del año, mostrando un excelente acuerdo con la TT2. La DT2 corresponde también a un fuerte gradiente vertical de ozono, lo que sugiere la existencia de una segunda tropopausa de ozono (OT2). La OT2 se ha identificado en este estudio, aunque su determinación analítica constituye una tarea compleja que excede el alcance del mismo.

Encontramos un buen acuerdo entre la OT y la DT, excepto en primavera, cuando la OT se encuentra en niveles significativamente más bajos (diferencias de altitud ~2 km), independientemente de si se trata de casos de tropopausas múltiples o simples. Esto parece ser ocasionado por intrusiones estratosféricas asociados a inestabilidades baroclínicas que ocurren al norte de Tenerife muy frecuente en primavera [Cuevas y Rodríguez, 2002; James et al., 2003]. Por otra parte, las inestabilidades baroclínicas en la troposfera superior subtropical, y los procesos diabáticos asociados, también proporcionan una explicación a la falta de acuerdo entre el OT y la DT en primavera.

Una característica clave de la UTLS subtropical, como resultado del frecuente e intenso transporte hacia los polos de aire de la troposfera tropical por encima del STJ, es la región entre 13 y 16 km en invierno y principios de la primavera, con valores notablemente reducidos de estabilidad estática y con gradientes intensos de ozono y vorticidad potencial.

Las diferencias de altitud entre la TT, por una parte, y la DT y la OT, por otra, son en promedio de ~1 kilómetro, excepto para sondeos correspondientes a un solo tropopausa térmica con altitud > 14,3 km, en cuyo caso se observan diferencias máximas (~2-3 km) en invierno. Los procesos de evolución rápida de los sistemas de bloqueo en invierno, que se traducen en desplazamientos muy rápidos del STJ al norte de su posición habitual, puede dar lugar a un sesgo significativo hacia niveles inferiores en las alturas promedios mensuales de la DT y la OT.

Las capas ricas en ozono y estabilidad estática alta, de ~2 km de espesor, por encima de la TT1, y una capa de fuertes gradientes de LPV de unos ~2 km de espesor, por debajo de la misma, indica que la TT1 representa una fuerte barrera para el transporte a través de la tropopausa. Esto implica que, desde un punto de vista climatológico, y como ha señalado Birner [2006], la mezcla cuasi-horizontal a lo largo de líneas isentrópicas constituye el proceso principal de transporte en la región de la tropopausa.

Bell, S. W., and M. A. Geller (2008), Tropopause inversion layer: Seasonal and latitudinal variations and

representation in standard radiosonde data and global models, *J. Geophys. Res.*, 113, D05109, doi:10.1029/2007JD009022.

Birner, T. (2006), Fine-scale structure of the extratropical tropopause region, *J. Geophys. Res.*, 111, D04104, doi:10.1029/2005JD006301.

Bischoff, S. A., P. O. Canziani, and A. E. Yuchechen (2007), The tropopause at southern extratropical latitudes: Argentine operational rawinsonde climatology, *Int. J. Climatol.*, 27(2), 189–209, doi:10.1002/joc.1385.

Cuevas, E., and J. Rodríguez (eds.) (2002), Statistics of Cutoff Lows Over the North Atlantic, Tercera Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica, 1–3, Valencia, Spain, 4-8 February, 2002, Comisión Española de Geodesia y Geofísica, Editorial UPV, Valencia, Spain.

Fueglistaler, S., A. E. Dessler, T. J. Dunkerton, I. Folkins, Q. Fu, and P. W. Mote (2009), Tropical tropopause layer, *Rev. Geophys.*, 47, RG1004, doi:10.1029/2008RG000267.

Homeyer, C. R., K. P. Bowman, and L. L. Pan (2010), Extratropical tropopause transition layer characteristics from high-resolution sounding data, *J. Geophys. Res.*, 115, D13108, doi:10.1029/2009JD013664.

James, P., A. Stohl, C. Forster, S. Eckhardt, P. Seibert, and A. Frank (2003), A 15-year climatology of stratosphere–troposphere exchange with a Lagrangian particle dispersion model 2. Mean climate and seasonal variability, *J. Geophys. Res.*, 108(D12), 8522, doi:10.1029/2002JD002639.

Kunz, A., P. Konopka, R. Müller, and L. Pan (2011a), Dynamical tropopause based on isentropic potential vorticity gradients, *J. Geophys. Res.*, 116, D01110, doi:10.1029/2010JD014343.

Reichler, T., M. Dameris, and R. Sausen (2003), Determining the tropopause height from gridded data, *Geophys. Res. Lett.*, 30(20), 2042, doi:10.1029/2003GL018240.

Seidel, D. J., R. Ross, J. K. Angell, and G. C. Reid (2001), Climatological characteristics of the tropical tropopause as revealed by radiosondes, *J. Geophys. Res.*, 106(D8), 7857–7878, doi:10.1029/2000JD900837.

Sivakumar, V., J.-L. Baray, S. Baldy, and H. Bencherif (2006), Tropopause characteristics over a southern subtropical site, reunion island (21°S, 55°E): Using radiosonde-ozonesonde data, *J. Geophys. Res.*, 111, D19111, doi:10.1029/2005JD006430.

Son, S.-W., N. F. Tandon, and L.M. Polvani (2011), The fine-scale structure of the global tropopause derived from cosmic GPS radio occultation measurements, *J. Geophys. Res.*, 116, D20113, doi:10.1029/2011JD016030.