

## La altitud de la tropopausa como parámetro para evaluar la calidad infrarroja de los observatorios astronómicos

Antonio Eff-Darwich<sup>(1,2)</sup>, Begoña García-Lorenzo<sup>(1)</sup>, Jesús J.Fuensalida<sup>(1)</sup>, Casiana Muñoz-Tuñón<sup>(1)</sup> y Antonia M. Varela<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Astrofísica de Canarias. C/ Vía Láctea, S/N, 38200 La Laguna. Tenerife. Canarias.

<sup>(2)</sup> Departamento de Edafología y Geología, Facultad de Biología, Universidad de La Laguna, Av. Astrofísico Francisco Sánchez s/n, 38206, La Laguna, Tenerife, Canarias. adarwich@ull.es

### Resumen

La calidad óptica del cielo en el infrarrojo es un parámetro muy importante que se debe tener en cuenta a la hora de evaluar un determinado lugar como propicio para observaciones astronómicas. La idea tradicional de que lugares a mayor altitud proporcionan mejores observaciones astronómicas en el infrarrojo que aquellos situados a menor altitud, no se corresponde con las observaciones. Así, se ha demostrado que el espectro infrarrojo observado en el Observatorio del Teide, situado a 2400 metros sobre el nivel del mar en la isla de Tenerife, es similar al esperable para un lugar que está situado a la altitud del Observatorio de Mauna Kea en Hawaii, a unos 4100 metros. Este resultado sugiere que hay otros parámetros, aparte de la altitud del observatorio, que deben considerarse a la hora de definir la calidad en una determinada localización para observaciones astronómicas en el infrarrojo. En este trabajo proponemos como uno de esos parámetros clave el grosor de la troposfera, en el sentido que una troposfera más delgada correspondería a una localización con mejor calidad óptica en el infrarrojo. El grosor de la troposfera viene dado por la altitud de la tropopausa y es por ello que presentamos un estudio estadístico de la altitud de la tropopausa para cuatro reconocidos observatorios astronómicos: Roque de Los Muchachos (La Palma, España), Mauna Kea (Hawaii, EEUU), Paranal (Chile) y La Silla (Chile). Hemos encontrado que la troposfera más delgada la presenta Mauna Kea durante el verano y otoño y La Palma en invierno y primavera.

### 1. Introducción

Las observaciones astronómicas en el infrarrojo desde la superficie de La Tierra dependen de la transmisión atmosférica en estas longitudes de onda, la cual está íntimamente relacionada con la columna de vapor de agua sobre el lugar de observación. Así, cuanto mayor sea la columna de

vapor de agua que contiene la atmósfera en una determinada localización, peores condiciones para observaciones astronómicas en el infrarrojo.

En general, la comunidad astronómica asume que lugares a mayor altitud son mejores localizaciones para llevar a cabo observaciones infrarrojas. Sin embargo, de las evaluaciones de la calidad infrarroja en el Observatorio del Teide [1], y de la comparación (ver Figura 1) con modelos teóricos [2], se ha visto que este observatorio, situado a 2400 metros sobre el nivel del mar, puede ser tan bueno como el Observatorio de Mauna Kea, Hawaii (4100 metros) para observaciones infrarrojas en el rango de 1 a 5  $\mu$ m [3]. Resultados muy similares se han obtenido al comparar observaciones infrarrojas llevadas a cabo en el Telescopio Nazionale Galileo, de 3.5 m de diámetro, en el Observatorio del Roque de Los Muchachos (2400 metros sobre el nivel del mar) en la isla de La Palma, con las obtenidas en Mauna Kea con el telescopio Keck de 10 metros de diámetro, ([http://www.ing.iac.es/news/030321/nics\\_refurbish.html](http://www.ing.iac.es/news/030321/nics_refurbish.html)).

La altitud de un observatorio no es, por lo tanto, el parámetro determinante a la hora de definir su calidad en el infrarrojo. En [4] y [5] se propuso la temperatura del aire como otro parámetro a considerar. En el presente trabajo, nosotros proponemos el grosor de la troposfera.

La atmósfera terrestre está estratificada de acuerdo con la distribución de temperatura y/o composición química del aire (ver Figura 2). La troposfera es la capa situada justo por encima de la superficie terrestre y contiene alrededor del 99% del vapor de agua atmosférico. El contenido de vapor de agua y la temperatura disminuyen rápidamente con la altitud dentro de la troposfera hasta que alcanza la llamada tropopausa, donde ocurre una inversión térmica. Las bajas temperaturas en esta región, unido a la inversión térmica impiden que el

vapor de agua siga ascendiendo por lo que queda atrapado en la troposfera.

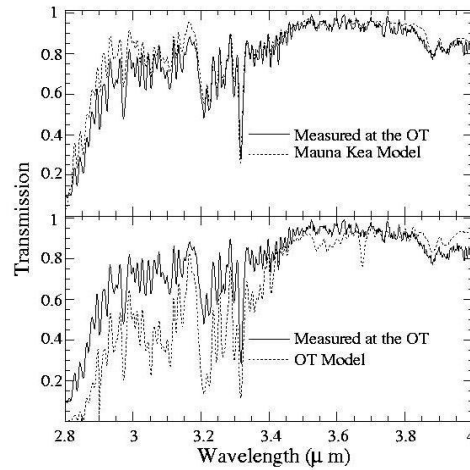


Figura 1: (panel superior) Comparación del espectro en la banda L medido en el Observatorio del Teide con el espectro L teórico correspondiente a la altura del Observatorio de Mauna Kea. (panel inferior) Como en el panel superior, pero el modelo teórico corresponde a la altitud del Observatorio del Teide.

El grosor de la troposfera, al igual que el de otras capas, depende de la temperatura del aire y de la latitud terrestre, en el sentido que se hace más gruesa conforme nos movemos hacia el Ecuador.

Parece razonable suponer que lugares donde la troposfera es más gruesa, y por lo tanto donde hay más vapor de agua, presentan peores condiciones para llevar a cabo observaciones en el infrarrojo. Es por ello que el estudio de la distribución de la altitud de la tropopausa a distintas latitudes puede ayudarnos a comprender porqué observatorios astronómicos situados a distintas altitudes presentan similares propiedades para las observaciones astronómicas en el infrarrojo.

En este trabajo presentamos resultados estadísticos correspondientes a la altitud de la tropopausa (o grosor de la troposfera) sobre cuatro observatorios astronómicos. También se discutirá la calidad en el infrarrojo de estos observatorios partiendo de la premisa que la distribución de vapor de agua es homogénea en la troposfera.

## 2. Los datos

Hemos seleccionado cuatro observatorios astronómicos alrededor del mundo (ver Tabla 1) para realizar el análisis estadístico de la altitud de la tropopausa. Los datos atmosféricos, en nuestro caso la altura de la tropopausa en milibares obtenidos a intervalos de seis horas y un día, provienen de la base de datos de reanálisis del National Center for Environmental Prediction (NCEP/NCAR, [6], [7]). Esta base de datos ya ha sido utilizada anteriormente como herramienta para la caracterización de observatorios astronómicos [8].

Tabla 1: Localización de los observatorios astronómicos comparados en este trabajo

	La Palma	La Silla	Mauna Kea	Paranal
Lat.	28 46N	29 15S	19 50N	24 38S
Long.	17 53W	70 44W	155 28W	70 24W
Alt.	2400 m	2400 m	4100 m	2635 m

Para calcular el grosor de la troposfera, se obtuvieron del NCEP/NCAR los promedios temporales para las altitudes en metros donde se localizan los niveles de presión de 100, 150 y 200 milibares sobre los 4 observatorios considerados en el periodo 1980-2002 (ver Tabla 2). Además se asumió una atmósfera estándar ICAO (<http://www.pdas.com/coesa.html>) para obtener la relación aproximada entre altura en metros frente a altura en milibares.

Tabla 2: Altura en metros de los niveles de presión de 100, 150 y 200 milibares.

	100 mbar	150 mbar	200 mbar
La Palma	16511	14046	12170
La Silla	16484	14006	12190
Mauna Kea	16576	14165	12357
Paranal	16555	14117	12308

## 3. Análisis de los resultados

El promedio mensual de la altitud de la tropopausa para los cuatro observatorios seleccionados (ver Figura 3) presenta una clara variación estacional, siendo la amplitud de dicha variación mayor para La Palma y La Silla, o sea en las localizaciones a mayor latitud. El análisis estadístico del grosor de la troposfera (ver Tabla 3) muestra que La Palma y Mauna Kea poseen una

troposfera de un grosor similar, mientras que sobre Paranal se encuentra la troposfera más gruesa.

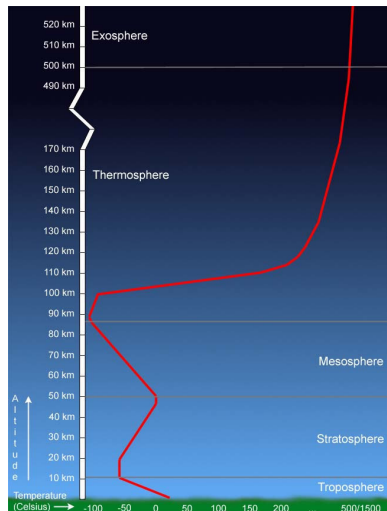


Figura 2: Variación de la temperatura del aire con la altura en la atmósfera y definición de las distintas capas que la componen. (<http://www.windows.ucar.edu/tour/link=earth/Atmosphere/layers.html>)

Si suponemos que la distribución de vapor de agua es homogénea en la troposfera, cuanto más delgada sea ésta menor contenido en vapor de agua y por lo tanto mejores condiciones para las observaciones infrarrojas. En este sentido, La Palma y Mauna Kea deberían tener similar calidad óptica en el infrarrojo, ya que el grosor de la troposfera es muy similar en ambas localizaciones (ver Tabla 3), tal y como se observa [1], [2] y [3].

El grosor de la troposfera presenta una variación estacional (ver Figura 4) por lo que, suponiendo distribución homogénea del vapor de agua, la calidad en el infrarrojo varía según la época del año y el observatorio. Así, por ejemplo, La Palma sería la mejor localización para observaciones infrarrojas durante el invierno y la primavera y Mauna Kea lo sería en el otoño y el verano.

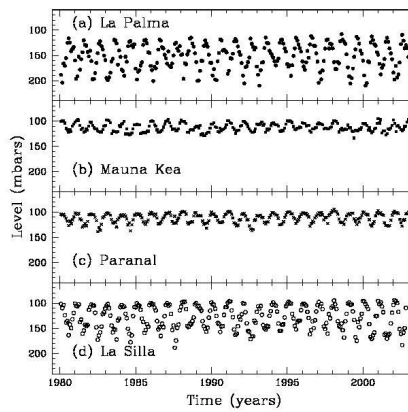


Figura 3: Promedio mensual de la altitud de la tropopausa (en milibares) sobre los 4 observatorios astronómicos estudiados, para el periodo 1980-2002.

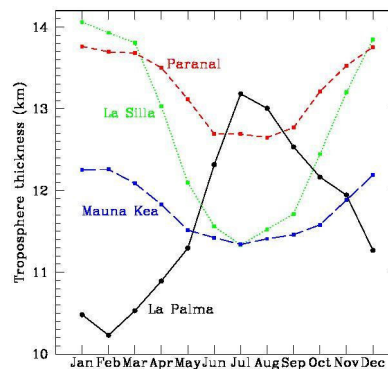


Figura 4: Variación mensual del grosor de la troposfera en los 4 observatorios astronómicos estudiados, para el periodo 1980-2002.

#### 4. Conclusiones

La altitud de la tropopausa, o sea, el grosor de la troposfera puede ser un factor fundamental a la hora de evaluar la calidad en el infrarrojo de una determinada localización. Hemos encontrado que los grosores promedio de la troposfera en La Palma

y Mauna Kea son muy similares, lo que podría explicar porqué la calidad infrarroja de los observatorios del Teide (2400 metros sobre el nivel del mar), Roque de Los Muchachos (2400) y Mauna Kea (4100) son comparables. En este sentido, y suponiendo que la distribución de vapor de agua es homogénea en la atmósfera, el grosor de la troposfera es proporcional a la cantidad de vapor de agua y por lo tanto a la calidad en el infrarrojo.

Tabla 3: *Análisis estadístico del grosor de la troposfera (en metros) para los cuatro observatorios seleccionados en este trabajo*

	Media	Mediana	Desv. Est.
La Palma	11588	11733	1158
La Silla	12652	12710	1049
Mauna Kea	11767	11716	409
Paranal	13254	13361	485

La relación propuesta entre el grosor de la troposfera y la calidad infrarroja de los observatorios está basada en parte en la suposición de que la distribución de vapor de agua es homogénea en la atmósfera. Esta suposición no se ajusta al comportamiento real de la atmósfera, por lo que es necesario llevar a cabo medidas de la columna de vapor de agua sobre los observatorios a fin de validar ésta hipótesis de trabajo.

## 5. Agradecimientos

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el MCyT (AYA2003-07728). El trabajo de A. Eff-Darwich ha sido financiado por el programa 'Ramón y Cajal' del MEC.

## 6. Referencias

- [1] Mountain , C.M., Leggett, S.K., Selby, M.J., and Zadrozny, A. 1985, *Astronomy and Astrophysics*, 150, 281
- [2] Cohen, M., Walker, R.G., Barlow, M.J., and Deacon, J.R. 1992, *Astronomical Journal*, 104, 1650
- [3] Hammersley, P., 1998, *New Astron. Rev.*, 42, 533
- [4] Kalnay, R. et al. 1996, The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project, *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 77, 437
- [5] Kistler, R. et al. 2001, The NCEP/NCAR 50-year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation, *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 82, 247
- [6] Muñoz-Tuñón, C. 2002, *Astronomical Society of the Pacific – Book Publishing Company*, Vol. 266
- [7] Radford 2002, *Astronomical Society of the Pacific – Book Publishing Company*, Vol. 266
- [8] Garcia-Lorenzo B, Fuensalida JJ, Munoz-Tunon C, Mendizabal E (2005) Astronomical site ranking based on tropospheric wind statistics. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 356(3): 849