

# Caracterización desde Tierra de exoplanetas en tránsito

Autor: David López Fernández-Nespral (davidnespral@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por:

Roi Alonso Sobrino y Hans J. Deeg

Centro: Instituto de Astrofísica de Canarias / Universidad de La Laguna

Fecha de lectura: 7 de junio de 2019

Esta tesis está enfocada en el método de análisis de espectrofotometría de atmósferas exoplanetarias por el método de espectroscopía de transmisión con observaciones hechas desde Tierra. La motivación de este trabajo es estudiar las limitaciones de la técnica de espectroscopía de transmisión con observatorios terrestres. En concreto, explorar las posibilidades de OSIRIS/GTC para realizar este tipo de estudios, así como identificar las principales fuentes de error y desarrollar métodos para corregirlos. Por otro lado, elaborar técnicas de reducción y análisis de los datos que puedan ser de utilidad para futuros desarrollos de la técnica de espectroscopía de transmisión, dado el potencial futuro de estas observaciones. Por ejemplo, el JWST utiliza esta técnica y ARIEL (ESA) será desarrollado especialmente para la espectroscopía de transmisión. Las observaciones para mi tesis se llevaron a cabo en el rango óptico con el instrumento OSIRIS montado en el *Gran Telescopio Canarias* (GTC), situado en el Observatorio del Roque de Los Muchachos, La Palma.

Los planetas de estudio son del tipo *Hot Jupiter* (seis en total) y dos enanas marrones. Dos parejas de *Hot Jupiter* gemelos (planetas con similares parámetros físicos: radio, masa, distancia orbital y tipo espectral de la estrella anfitriona) fueron estudiados en conjunto para entender qué similitudes o diferencias tienen sus espectros de transmisión. Por último, un intento de caracterizar dos enanas marrones fue llevado a cabo para testear lo que la teoría dice sobre las atmósferas de estos objetos, es decir, que no debería detectarse ninguna señal atmosférica y así poder verificar que nuestra metodología y análisis no introducen señales falsas de absorción en los espectros de transmisión.

Muchos de los estudios de caracterización de atmósferas exoplanetarias muestran ruidos sistemáticos, no astronómicos, en sus datos. Estos ruidos sistemáticos, en su mayoría, son debidos a problemas causados por el propio instrumento y que son difíciles de tratar para corregirlos en los datos originales.

En el capítulo 2 se explica extensamente el proceso de reducción llevado a cabo en los datos y su posterior análisis para la obtención del espectro de transmisión. En el capítulo 3 se compara el espectro de transmisión del planeta TrES-3b calculado por autores diferentes a partir de los mismos datos espectro-

fotométricos y de los cuales obtuvieron resultados diferentes. Nosotros realizamos un análisis de los mismos datos, para comprobar la validez de nuestro código. También tenemos en cuenta más detalles a la hora del análisis que los autores de estas publicaciones. En el capítulo 4 se hace un extenso análisis de datos espectrofotométricos de Qatar-1b. El estudio se centra en cómo variaciones en el modelado de sistemáticos y efectos debido a los coeficientes del *limb darkening* pueden llevar a resultados diferentes en el espectro de transmisión final. En el capítulo 5 se presenta un espectro de transmisión de WASP-46b basado en dos tránsitos consecutivos. El estudio muestra cómo el análisis de ambos tránsitos en conjunto da como resultado un mejor espectro de transmisión con menor error que un análisis de cada uno por separado. En el capítulo 6 se hace un análisis detallado de las observaciones de los planetas gemelos, las cuales presentan multitud de efectos sistemáticos en sus datos. Para cada observación se lleva a cabo un modelado de dichos sistemáticos para una corrección y análisis de su espectro de transmisión. En el capítulo 7 un análisis sobre el espectro de transmisión de CoRoT-15b, una de las enanas marrones más masivas conocidas hasta la fecha, es llevado a cabo, corroborando la hipótesis de que las atmósferas de este tipo de objetos se comportan igual que la de planetas con atmósferas con neblina, al menos para este caso. En el capítulo 8 se realiza una síntesis global de mis resultados, viendo los espectros de transmisión como un todo. Por último, en el capítulo 9 se presentan las conclusiones y futuras investigaciones. Además, un apéndice con los resultados de una colaboración con el grupo KESPRINT es añadido a esta tesis, en el que resultó mi primer artículo científico como primer autor. El artículo consiste en la determinación de las masas de dos planetas de un mismo sistema planetario por los métodos de velocidad radial y TTVs.

La figura muestra el resultado principal de esta tesis: los espectros de transmisión obtenidos para los exoplanetas observados y la enana marrón. La figura también muestra sus curvas de tránsito de luz blanca después de eliminar la sistemática, junto con los modelos de tránsito que mejor ajustan. Los espectros de transmisión presentan una variedad de características de absorción espectral, así como pendientes de dispersión óptica de acuerdo con su altura de escala. En esta figura también comparamos nuestros espectros de transmisión con los modelos teóricos libres de nubes de Fortney et al. (2010).

Panel izquierdo: curvas de luz blanca de tránsito de la muestra de esta tesis después de eliminar los efectos sistemáticos junto con el modelo de tránsito que mejor ajusta. Panel derecho: espectros de transmisión GTC/OSIRIS, que son la diferencia entre espectros en tránsito y fuera de tránsito. Las líneas sólidas de colores muestran modelos atmosféricos correspondientes a modelos sin nubes. Los espectros se han desplazado y se clasifican en orden decreciente en función de la altura de la escala.

