

# Flujos de gas ionizados en la Nebulosa de Orión: propiedades y dependencias ambientales

Autor: José Eduardo Méndez Delgado (jemd@uni-heidelberg.de)

Tesis doctoral dirigida por: César Esteban y Jorge García-Rojas

Centro: Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) / Universidad de La Laguna (ULL)

Fecha de lectura: 23 de septiembre de 2022

Esta tesis doctoral está dedicada al análisis de los objetos Herbig-Haro (HHs) de la región central de la Nebulosa de Orión y su impacto en el gas ionizado circundante.

Los HHs son chorros de gas colimados, eyectados desde protoestrellas. Aunque sus propiedades físicas y mecanismo de excitación han sido extensamente estudiados en nubes de gas neutro, la situación no es la misma con respecto a los HHs inmersos en regiones HII. El estudio de estos últimos objetos requiere el uso de espectroscopía de alta resolución espectral para poder separar su emisión de la radiación nebular de fondo, usando el desplazamiento Doppler. En esta tesis he empleado principalmente espectros de alta resolución espectral obtenidos con el espectrógrafo *Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph* (UVES) del *Very Large Telescope* (VLT) e imágenes de alta resolución espacial del *Telescopio Espacial Hubble* (HST). Las observaciones se centraron en HH529II, HH529III, HH204 y HH514, objetos localizados a diferentes distancias de la estrella ionizante principal de la Nebulosa de Orión,  $\theta$ 1 Ori C, y con diferentes velocidades aparentes de propagación.

El análisis realizado confirma que el mecanismo de excitación principal de estos HHs es la fotoionización, a diferencia de sus contrapartidas en las nubes de gas neutro, excitadas por ca-

lentamiento por choques. Esta característica permitió analizar los espectros ópticos de la muestra como regiones HII a pequeña escala, pudiendo determinar sus propiedades físicas, cinemáticas y abundancias químicas con una precisión y un nivel de detalle sin precedentes. Con las imágenes del HST y la información cinemática se determinaron las trayectorias tridimensionales de estos objetos, localizando su posible origen en distintas zonas de formación estelar de la Nebulosa de Orión. El impacto local de los HHs en el gas fotoionizado es importante ya que incrementan fuertemente la densidad local y disminuyen el grado de ionización. Estos fenómenos repercuten en las abundancias químicas obtenidas en regiones limitadas de la Nebulosa de Orión cuando se emplean espectros de resolución espectral intermedia o baja, donde se mezclan las distintas componentes cinemáticas.

En el estudio de HH514 se encontraron abundancias de He, N, O, Ne y Ar similares a las de la Nebulosa de Orión, mientras que el Fe/H, Ni/H y S/H presentan sobreabundancias anómalas, siendo la del último elemento de aproximadamente el doble del valor solar y de la propia nebulosa. Aunque parte del Fe y Ni gaseoso pudo haberse liberado durante la destrucción de granos de polvo en el choque de HH514 con el gas circundante, los mapas de emisión térmica infrarroja muestran que el polvo no ha sido totalmente destruido. La sobreabundancia de estos elementos parece originarse más bien en el arrastre de material desde las zonas internas del disco protoplanetario 170-337, donde emerge HH514. La posible existencia de formación planetaria en 170-337 generaría gradientes de presión en el disco, filtrando los granos de polvo más grandes, como los sulfuros (FeS, NiS), que podrían ser eyectados posteriormente con el resto del material de HH514. Esto podría ser evidencia indirecta de formación planetaria en zonas de formación estelar masiva, dentro de entornos fotoionizados inmersos en campos de intensa radiación ultravioleta.

Los resultados de la tesis se publicaron en una serie de tres artículos en las revistas científicas arbitradas *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* y *The Astrophysical Journal*: Méndez-Delgado et al. 2021a, Méndez-Delgado et al. 2021b y Méndez-Delgado et al. 2022b. También han sido la base de algunas notas de prensa: "Anatomía del impacto de un jet protoestelar en la Nebulosa de Orión" y "Posible evidencia de formación planetaria en la Nebulosa de Orión".

HH204, un objeto Herbig-Haro fotoionizado de la Nebulosa de Orión. La imagen fue tomada con la cámara WFPC2 del *Telescopio Espacial Hubble*. Las estrellas circundantes han sido enmascaradas en el panel derecho.

