

Desentrañando las contribuciones a la emisión óptica de blazars brillantes de rayos gamma a través de estudios de variabilidad

Autor: Jorge Otero Santos

(jorge.otero.santos@gmail.com)

Tesis doctoral dirigida por: José Antonio

Acosta Pulido y Josefa Becerra González

Centro: Instituto de Astrofísica de Canarias

(IAC) / Universidad de La Laguna (ULL)

Fecha de lectura: 24 de febrero de 2023

El objetivo principal de esta tesis es el estudio multifrecuencia de un tipo especial de núcleos activos de galaxias (AGN por sus siglas en inglés) conocidos como *blazars*. Estos objetos poseen un agujero negro supermasivo en su centro. También presentan un chorro (*jet*) amplificado por efectos relativistas que apunta en dirección a la Tierra, actuando como un acelerador de partículas natural, emitiendo en todo el espectro electromagnético, desde longitudes de onda de radio hasta rayos gamma, convirtiéndose en el laboratorio perfecto para estudiar los procesos físicos que tienen lugar en el Universo más extremo. Una propiedad crucial de los *blazars* es su impredecible variabilidad, que puede llevar a estados de mayor emisión con incrementos de flujo de varios órdenes de magnitud. Esta variabilidad puede manifestarse en escalas de tiempo muy diferentes y lleva asociados también cambios tanto en el espectro como en propiedades que pueden ayudar a revelar la física detrás de la emisión de los *blazars*.

En esta tesis presentamos un análisis de la variabilidad de varios *blazars* desde una perspectiva multifrecuencia, desde ondas de radio hasta rayos gamma utilizando datos de diferentes instrumentos y observatorios (por ejemplo OVRO en radio, el Observatorio Steward o WEBT-GASP en visible, o Fermi-LAT y MAGIC en rayos gamma). Con estos datos podemos construir las curvas de luz multifrecuencia que representan la emisión de cada *blazar* y su evolución con el tiempo. En particular, buscamos patrones interesantes en su emisión multifrecuencia como señales periódicas. La variabilidad de los *blazars* es típicamente interpretada a través de procesos estocásticos. Por lo tanto, la detección de este tipo de patrones puede ser de gran interés para revelar los mecanismos que dan lugar a la variabilidad observada. Además, la variabilidad presentada por estos objetos se refleja

también en cambios en su espectro. Este espectro está típicamente dominado por la emisión no térmica del *jet* relativista. Sin embargo, otras componentes como la emisión de la galaxia, la zona de líneas anchas (BLR por sus siglas en inglés) o el disco de acrecimiento pueden contribuir significativamente a su emisión. Separar las diferentes contribuciones a la emisión visible de estas fuentes es un reto debido a la dominancia del *jet*, pero es crucial para estudiar y entender la variabilidad detectada en los *blazars*. Por esta razón, proponemos un estudio de la variabilidad espectral de los *blazars*, aplicando una técnica estadística que nos permite modelar y reconstruir la variabilidad observada a través de un número reducido de componentes que se pueden asociar a las diferentes partes del *blazar*, descomponiendo su emisión visible en función de estas contribuciones. La radiación no térmica del *jet* también está caracterizada por mostrar emisión de luz polarizada debido a la presencia de fuertes campos magnéticos. El estudio de esta polarización es uno de los caminos más útiles para comprender la naturaleza de los campos magnéticos en *jets* de objetos astrofísicos y en el Universo extremo. Programas como RoboPol han comenzado estudios sistemáticos de la polarización de los *blazars* para entender la naturaleza de sus campos magnéticos y su rol en la aceleración de partículas que tiene lugar en el *jet*. Sin embargo, nuevos estudios serán cruciales para llegar a un completo entendimiento del comportamiento de estos campos. Por lo tanto, hemos desarrollado un estudio detallado de diez años de datos espectropolarimétricos, caracterizando su variabilidad, evolución y propiedades para una muestra de *blazars*.

En los últimos años, el desarrollo de la astronomía de rayos gamma y multimensajera ha incrementado el interés de los estudios multifrecuencia en *blazars*. Estos objetos dominan el cielo extragaláctico en rayos gamma, siendo una de las pocas fuentes capaces de acelerar partículas hasta energías de TeV. Por lo tanto, la astronomía de rayos gamma ha emergido como un tema candente en las últimas décadas en el estudio de estos objetos. Estos estudios son posibles gracias a telescopios espaciales como Fermi-LAT y a la actual generación de telescopios Cherenkov (MAGIC, HESS y VERITAS). Estos instrumentos dan acceso a la parte más energética del espectro electromagnético, permitiendo un mejor entendimiento de la emisión de los *blazars*. En este contexto, hemos desarrollado un estudio multifrecuencia del *blazar* 1ES 0647+250, que ha sido observado y detectado por MAGIC durante su período de baja emisión entre 2009 y 2011, así como durante varios eventos de tipo *flare* en 2014, 2019 y 2020. Utilizando datos multifrecuencia desde radio a rayos gamma hemos estudiado su variabilidad y las correlaciones entre las diferentes bandas. También hemos caracterizado su espectro y construido su distribución espectral de energía (SED por sus siglas en inglés). Con esta SED somos capaces de modelar e interpretar la emisión de la fuente en el marco de diferentes modelos teóricos.

Tesis disponible en: <https://www.educacion.gob.es/teseo/mostranRef.do?ref=2372199>



Representación artística de una galaxia activa. Crédito: ESA, NASA, STScI.