

# Slab Jet estudio numérico usando el marco de la RRMHD

## CONTEXTO

El estudio numérico de los jets relativistas se ha dedicado principalmente a comprender las dinámicas y estructuras altamente colimadas de estos flujos de plasma, a velocidades próximas a la velocidad de la luz, flujos que son expulsados de objetos astrofísicos como agujeros negros súper masivos y estrellas de neutrones. Hasta ahora, los principales modelos se han basado en simulaciones dentro del marco de la magnetohidrodinámica relativista. (RMHD) [1] [2].

El marco de la Magnetohidrodinámica Relativista Resistiva (RRMHD) se ha utilizado en recientes estudios de jets relativistas [3]. En estas simulaciones, se ha identificado cómo diferentes valores de magnetización y resistividad pueden afectar la morfología de los jets y formar estructuras turbulentas dentro de ellos. Estas simulaciones también han mostraron que, en los jets relativistas, la disipación de energía electromagnética puede ser muy efectiva, especialmente en regiones donde se presentan inestabilidades como la Kelvin-Helmholtz o regiones donde suceden procesos de reconexión magnética.

## MÉTODOS

Para el análisis de los jets relativistas mediante simulaciones numéricas se utilizó el código CUEVA [4], que emplea métodos numéricos especializados para la RRMHD, entre ellos, para las simulaciones realizadas en el presente trabajo, se utilizó el integrador temporal Implícito-Explícito IMEX [6]. Los flujos numéricos en las interfaces de las celdas se calcularon usando el resolutor aproximados de Riemann HLLC [5]. Además, se hizo uso del esquema MP5 para la reconstrucción de las variables conservadas, mientras que la conversión de variables conservadas a primitivas, utilizando una ecuación de estado ideal, se logró mediante el método numérico de Cardano-Ferrari.

## RESULTADOS

Al realizar los estudios numéricos de los jets relativistas en el marco de la RRMHD, se identificó que la energía electromagnética global almacenada en el jet se disipa, disminuyendo su valor para aquellas simulaciones en las cuales la resistividad es mayor.

De igual forma se pudo establecer que en las simulaciones donde la resistividad es mayor, estas tienden a promover la formación de plasmoides y a aumentar la turbulencia. Esto de acuerdo con nuestro criterio se debe a que la resistividad finita permite la reconexión magnética, liberando grandes cantidades de energía. Fenómeno de importancia para entender cómo los jets relativistas emiten radiación no térmica, ya que las regiones donde ocurren estos procesos de reconexión y turbulencia suelen ser fuentes de rayos X y rayos gamma.

## CONCLUSION

En nuestras simulaciones hemos encontrado que la resistividad juega un papel crucial en la formación de plasmoides y en la estructura general del jet. Incrementando los choques internos, la turbulencia y las inestabilidades, afectando la morfología del jet y su estabilidad a lo largo de su evolución. De igual forma se identificó el aumento de sitios de reconexión magnética en simulaciones con mayor resistividad, proceso fundamental para comprender la conversión de energía magnética en energía cinética, lo que resulta en la aceleración de partículas y la emisión de radiación no térmica en rangos de alta energía, como rayos X, marcador característico de varios objetos astrofísicos como las explosiones de rayos gamma (GRBs).

## REFERENCIAS

- [1] Beckwith, K., & Stone, J. M. 2011, A Second-order Godunov Method for Multi-dimensional Relativistic Magnetohydrodynamics, *ApJS*, 193, 6,. doi:10.1088/0067-0049/193/1/6
- [2] Leismann, T., Antón, L., Aloy, M. A., et al. 2005, Relativistic MHD simulations of extragalactic jets, *A&A*, 436, 503,. doi:10.1051/0004-6361:20042520
- [3] G. Mattia, L. Del Zanna, M. Bugli, A. Pavan, R. Ciolfi, G. Bodo, A. Mignone, 2023, Resistive relativistic MHD simulations of astrophysical jets, *A&A* 679 A49,. doi: 10.1051/0004-6361/202347126
- [4] Miranda-Aranguren, S., Aloy, M.A., 2014. Building a numerical relativistic non-ideal magnetohydrodynamic code for astrophysical applications, Cambridge University Press. *IAUS*, 302, 64,. doi:10.1017/S1743921314001732.

[5] Miranda-Aranguren, S., Aloy, M.A., Rembiasz, T., 2018. An HLLC riemann solver for resistive relativistic magnetohydrodynamics. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 476, 3837–3860. doi:10.1093/mnras/sty419.

[6] Palenzuela, C., Lehner, L., Reula, O., Rezzolla, L., 2009. Beyond ideal MHD: towards a more realistic modelling of relativistic astrophysical plasmas. *MNRAS* 394, 1727–1740. doi:10.1111/j.1365-2966.2009.14454.x, arXiv:0810.1838.

## Nivel de formación

Pregrado

**Autores primarios:** Sr. AVILA-MARTINEZ, J. (Universidad Distrital Francisco José de Caldas); HERRERA-MARTINEZ, L. (Universidad Distrital Francisco José de Caldas); ZAMORA-ALVARADO, J. (Universidad Distrital Francisco José de Caldas); Prof. MIRANDA-ARANGUREN, S. (Universidad Distrital Francisco José de Caldas)

**Presentadores:** Sr. AVILA-MARTINEZ, J. (Universidad Distrital Francisco José de Caldas); HERRERA-MARTINEZ, L. (Universidad Distrital Francisco José de Caldas)

**Clasificación de la sesión:** Posters