

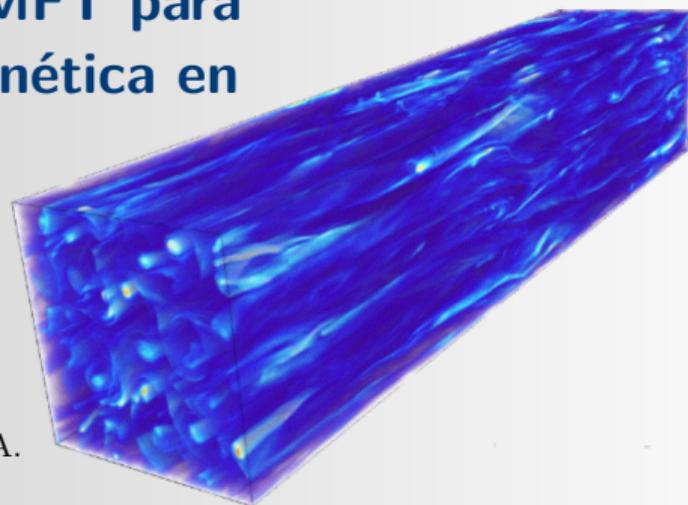
Probando la efectividad del método MFT para encontrar eventos de reconexión magnética en simulaciones de turbulencia

Implementación del método Minimun Variace Analysis (MVA)

Andrés F. Guerrero ¹ Jeffersson A. Agudelo ²

¹Grupo de Astrofísica Solar, Universidad Nacional de Colombia.

²Department of Physics and Astronomy, Dartmouth College, USA.

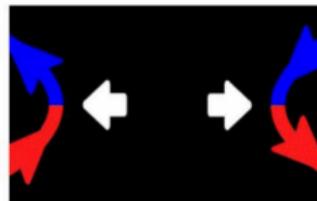
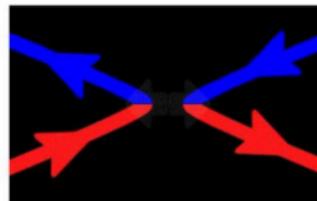
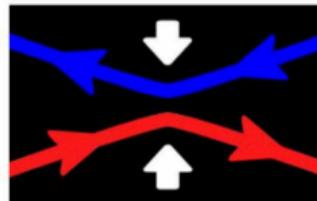


- En 1951, Ludwig Biermann formuló la hipótesis de la existencia del viento Solar.
- En 1958, Eugene Parker formuló su teoría del origen del viento solar.
- El viento solar está formado principalmente por protones y electrones.
- El viento solar es un plasma supersónico y sin colisiones.
- Diferentes regiones del Sol producen viento solar de diferentes velocidades y densidades.

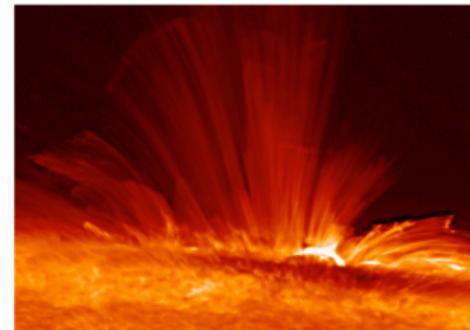


- La reconexión se propuso para explicar la rápida liberación de energía en las erupciones solares (Giovanelli 1946).
- Es la ruptura y reconexión de líneas de campo magnético opuestas en un plasma.

En este proceso, la energía del campo magnético se convierte en energía cinética y térmica del plasma.



Reconexión magnética: Imagen tomada de Visual computing Univ. of California Riversid



Estructura del campo magnético solar: Imagen tomada por el Solar Optical Telescope lanzada nave espacial Hinode.

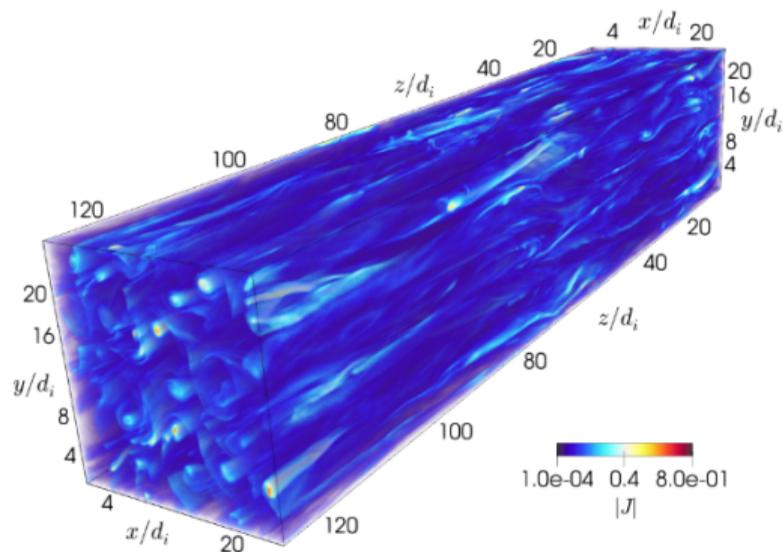
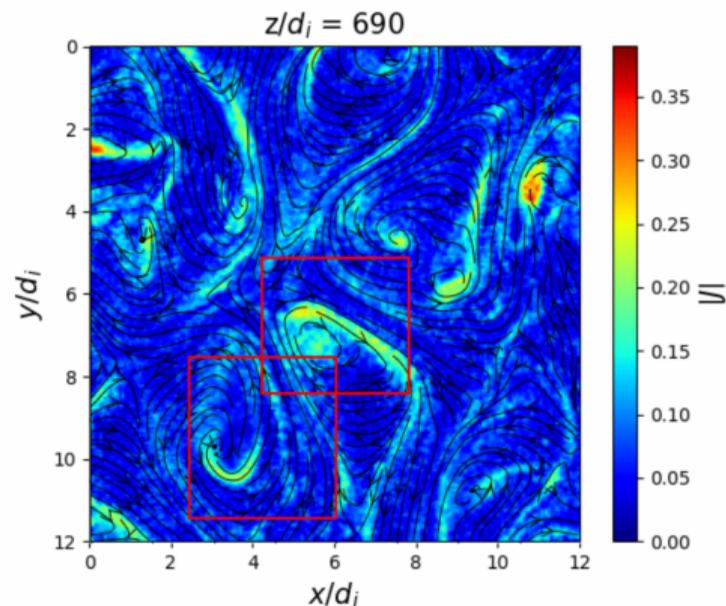
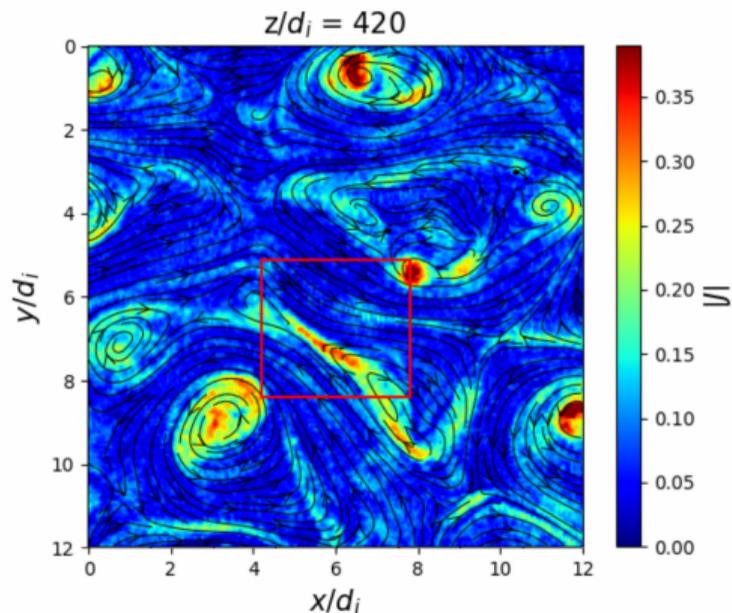
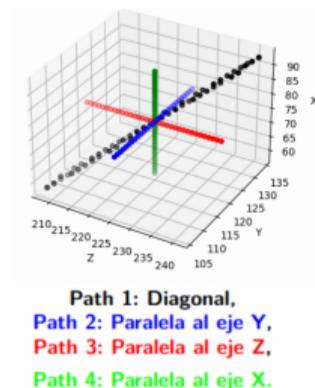
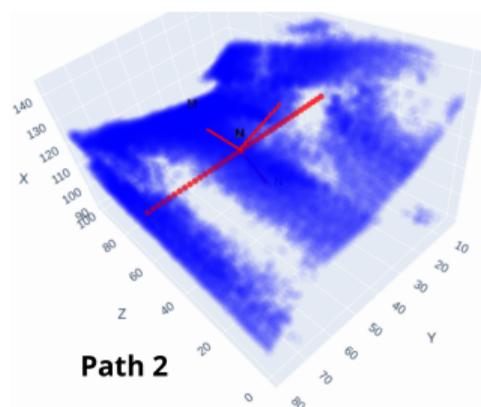
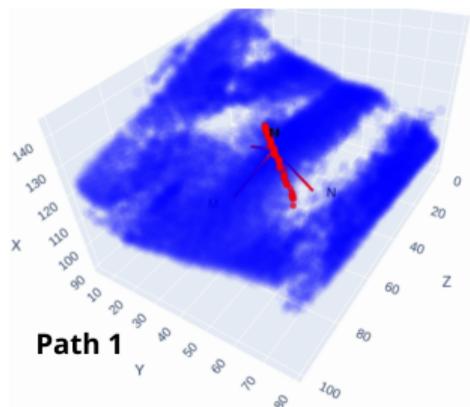


Figura: Particle-in-cell simulations of anisotropic plasma turbulence. Tomado de *Three-dimensional magnetic reconnection in particle-in-cell simulations of anisotropic plasma turbulence* por Rueda J, Verscharen D, Wicks R et al.(2021)

Se han elegido tres zonas de estudio que corresponden a hojas de corriente, las cuales se forman entre las islas del campo magnético.



Para cada una de las zonas de estudio, se trazaron cuatro trayectorias con el fin de determinar los ejes LMN.



Se observa una marcada dependencia del nuevo sistema de coordenadas LMN con la trayectoria seguida por la nave.

Cambio de base a las nuevas coordenadas LMN

this is not so easy!

Cambio de base de todos los campos vectoriales utilizados y rotación espacial en los arreglos para lograr un análisis coherente.

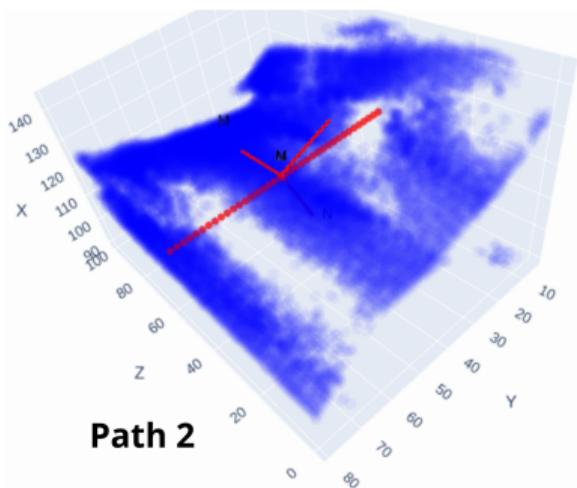


Figura: Arreglo original

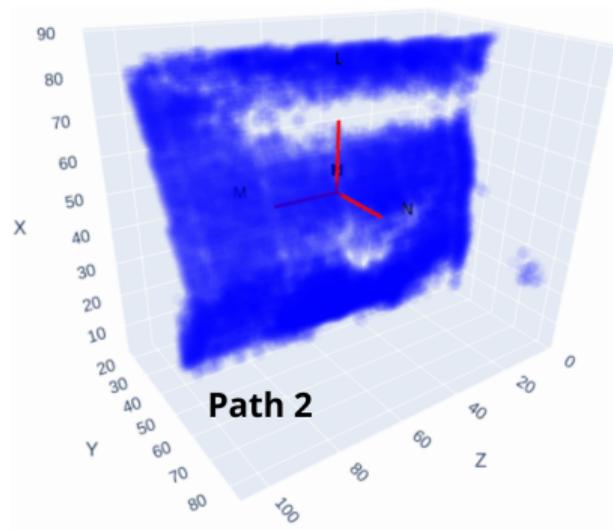
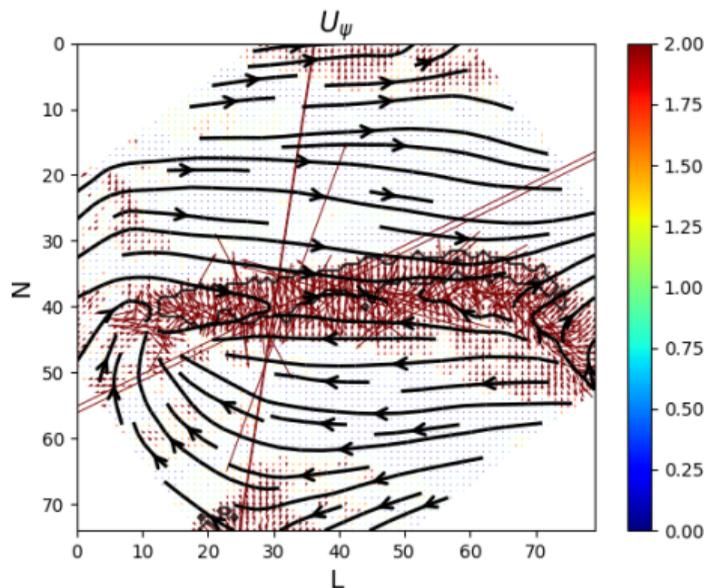
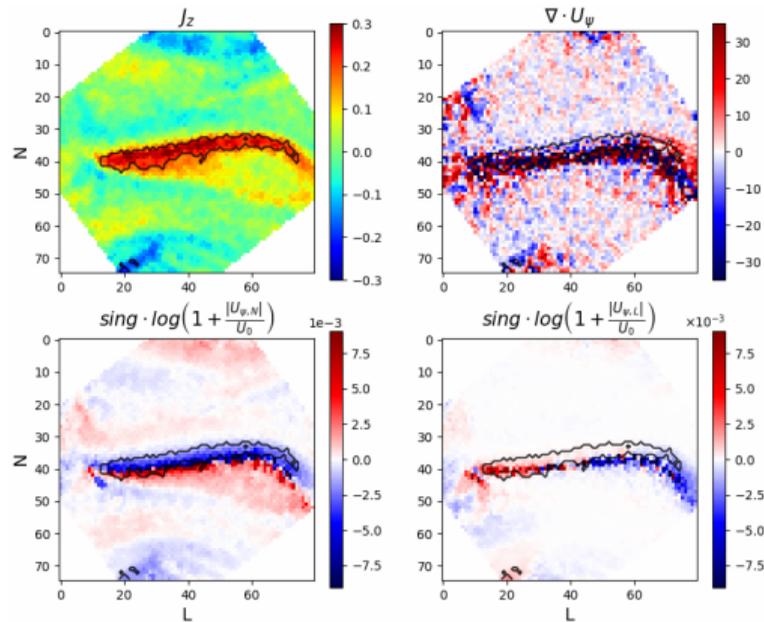


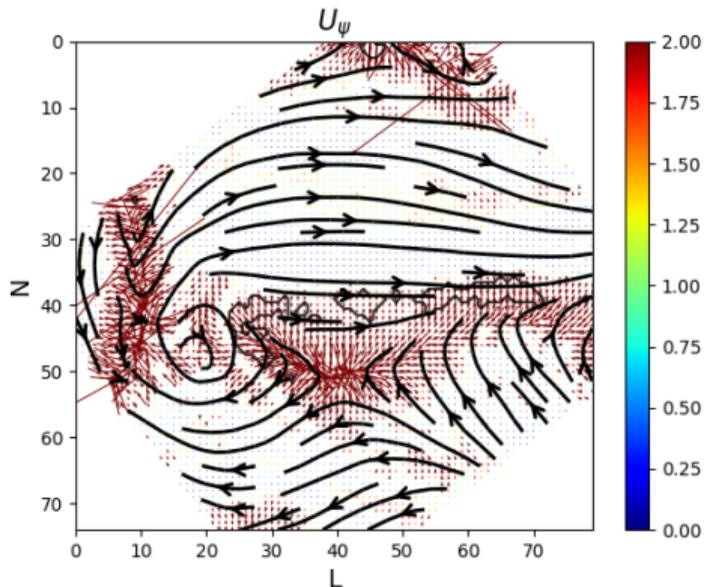
Figura: Arreglo rotado

Campo vectorial de la velocidad de flujo U_ψ , por definición su componente $U_{\psi,M}$ es igual a cero.

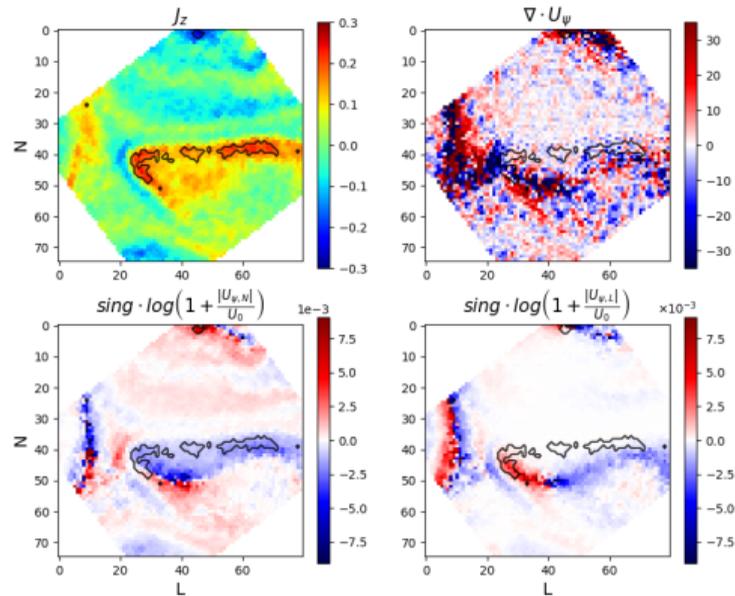


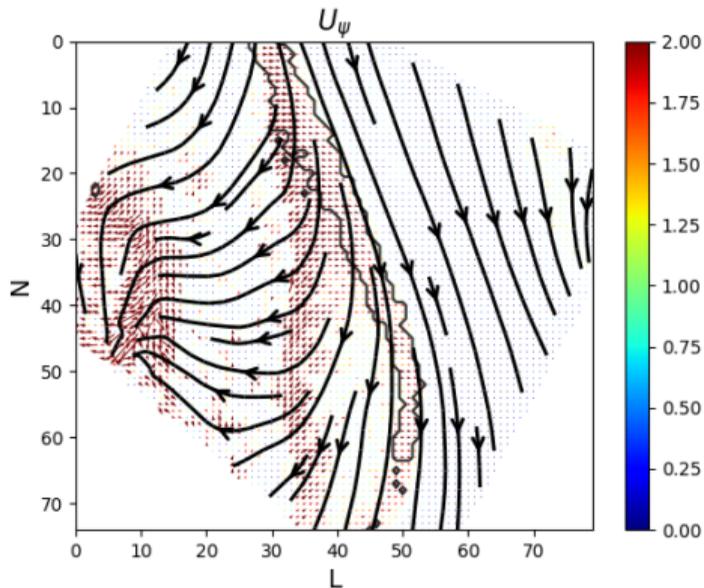
Zona 2,
path 2
paralelo a
eje Y,
M = 135



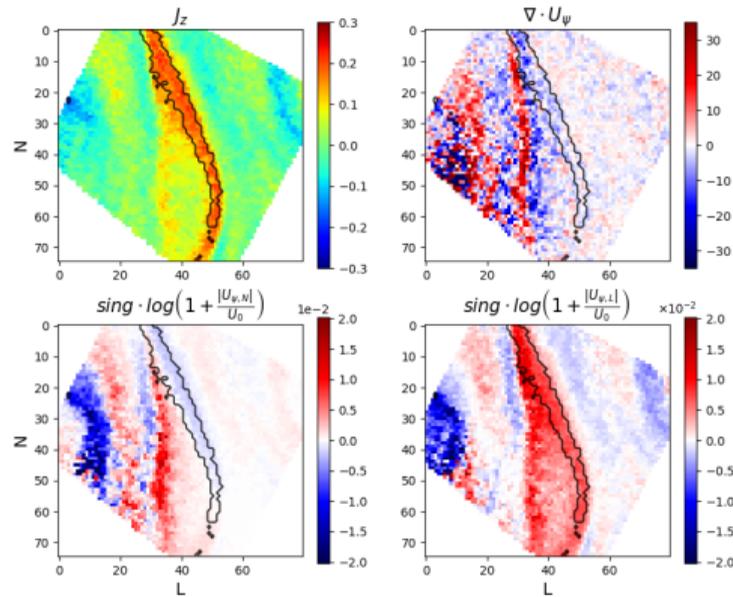


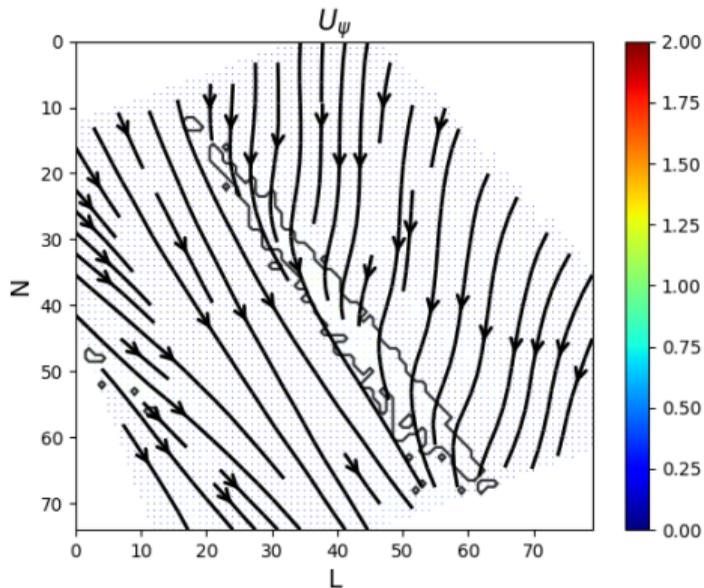
Zona 2,
path 2
paralelo al
eje Y,
 $M = 250$



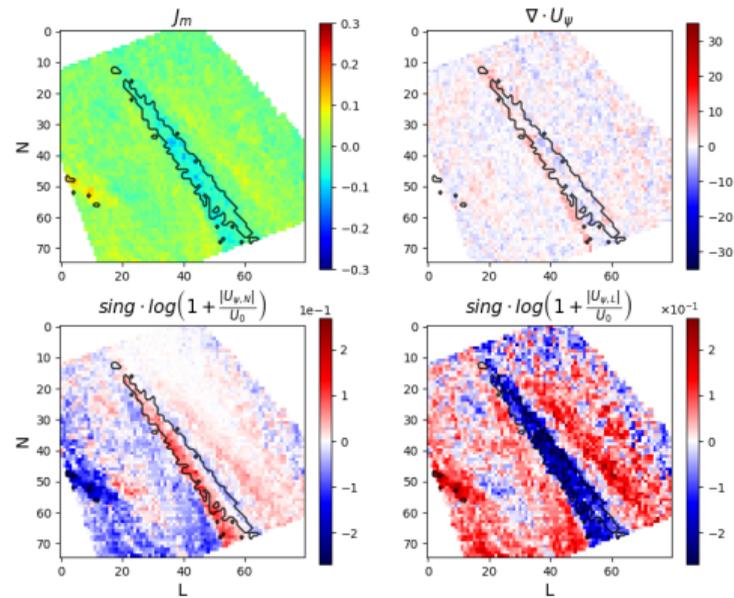


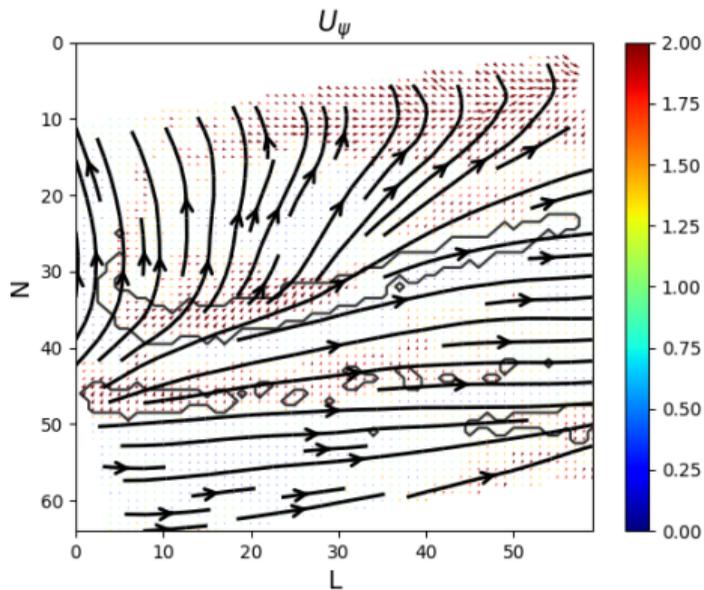
Zona 2,
path 3
paralelo al
eje Z ,
 $M = 130$



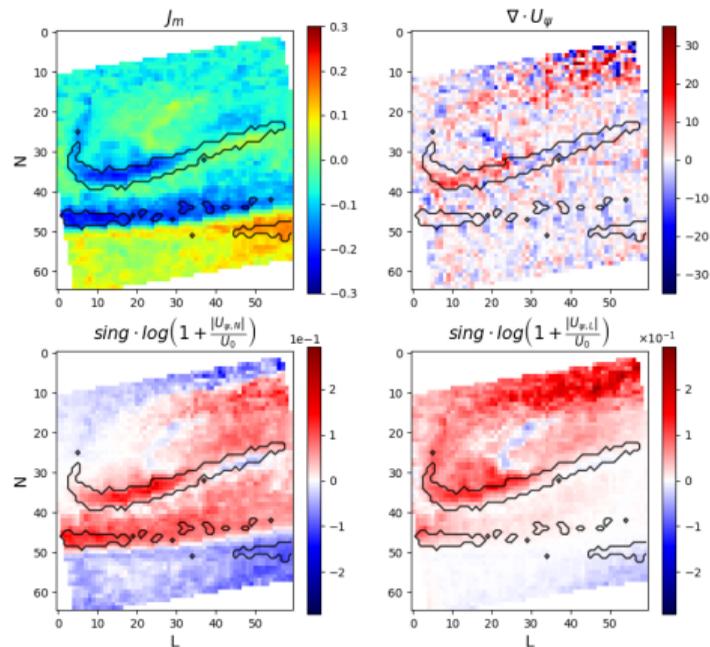


Zona 2,
path 4
paralelo al
eje X,
 $M = 170$



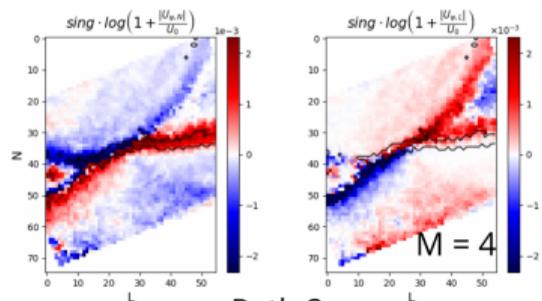


Zona 3,
path 1
Diagonal,
 $M = 175$

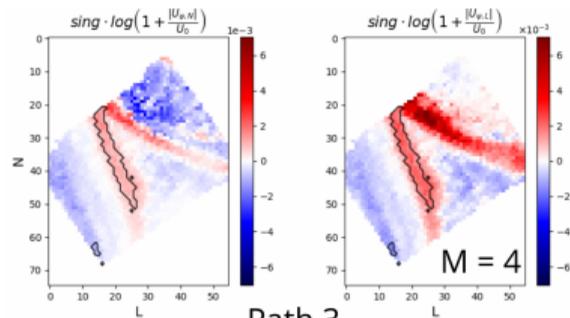
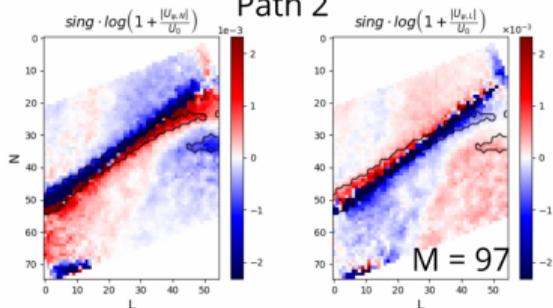


Patrones de reconexión magnética en la misma zona

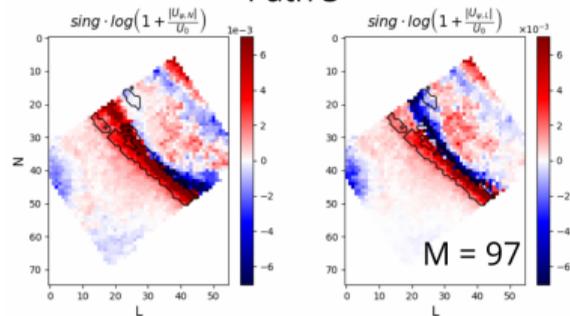
3 Resultados



Path 2



Path 3

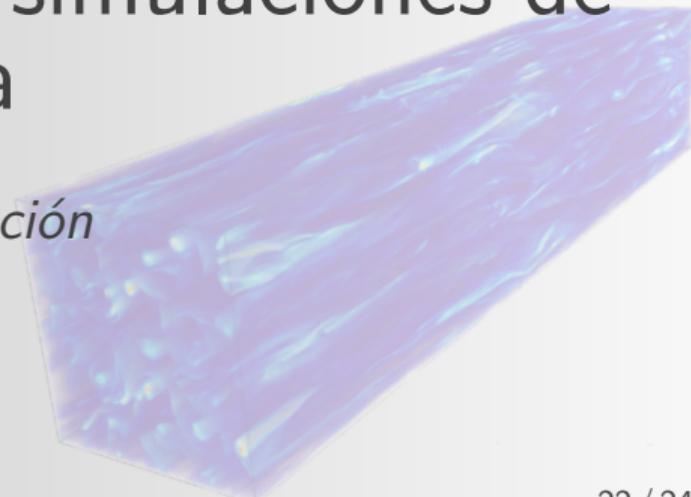


- Se ha desarrollado un código que posibilita la aplicación del método MFT en una simulación de viento solar. Esta implementación está enfocada en una región concreta, la cual utiliza el método MVA con cuatro trayectorias para identificar los planos de reconexión magnética.
- El método MFT fue validado con éxito en la identificación de regiones de reconexión magnética en las zonas seleccionadas para el estudio. Se evidencian patrones de reconexión en regiones específicas dentro de una zona de estudio.
- Se evidenció una fuerte dependencia de la identificación de las zonas de reconexión magnética en relación a la elección de las coordenadas LMN derivadas a través del método MVA.
- Se ha observado que los patrones de reconexión no son evidentes en todas las estructuras de corriente analizadas. Esta observación respalda la validez del método, ya que demuestra su capacidad para identificar de manera efectiva las zonas que se caracterizan por presentar altas velocidades de flujo.



Probando la efectividad del método MFT para encontrar eventos de reconexión magnética en simulaciones de turbulencia

Gracias por su atención



- **Code:** PSC (Germaschewski et al., 2016)
- **Waves:** 8 anisotropic, counter-propagating Alfvén waves
- **Setup:** Based on critical balance theory (GS95)
- **Parameters:**
 - Speed of light c
 - Vacuum permittivity ϵ_0
 - Magnetic permeability μ_0
 - Boltzmann constant k_b
 - Elementary charge q
 - Ion mass m_i
 - Density $n_i = n_e$
 - Ion inertial length $d_i = c/\omega_{pi}$
 - Ion plasma frequency $\omega_{pi} = n_i q^2 / m_i \epsilon_0$

Agudelo Rueda, J. A., et. al (2021). Three-dimensional magnetic reconnection in particle-in-cell simulations of anisotropic plasma turbulence. Journal of Plasma Physics, 87(3).

- **Conditions:**

- $\beta_{s\parallel} = 1$
- $T_{s\parallel}/T_{s\perp} = 1$
- Magnetic field normalized to B_0
- Alfvén speed ratio $V_A/c = 0,1$

- **Simulation Box:** $24d_i \times 24d_i \times 125d_i$

- **Spatial Resolution:** $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0,06d_i$

- **Time Step:** $\Delta t = 0,06/\omega_{pi}$

- **Particles:** 100 ions and 100 electrons per cell

- **Mass Ratio:** $m_i/m_e = 100$ ($d_e = 0,1d_i$)

- **Debye Length:** $\lambda_D = d_i \sqrt{\beta_i / (2V_A/c)} \approx 0,07d_i$

Agudelo Rueda, J. A., et. al (2021). Three-dimensional magnetic reconnection in particle-in-cell simulations of anisotropic plasma turbulence. *Journal of Plasma Physics*, 87(3).