



# Construcción de mapas de densidad de materia oscura con redes neuronales

García Camacho L.A., Mendoza Alba D.A., Hernández Saucedo O.G., Muñoz Castrejón I.,  
García Aspeitia M. A., Rendón Díaz M.A

luisalfonso.garcia, irving.munoz, octavio.hernandez (@fisica.uaz.edu.mx), dmendozaa1901@alumno.ipn.mx,  
angel.garcia@ibero.mx, mrendond1900@alumno.ipn.mx



## Resumen

En el presente trabajo se entrenó una inteligencia artificial basada en “deep learning” la cual tiene como imágenes de entrada los mapas de densidad de materia bariónica de galaxias realistas y predice los respectivos mapas de densidad de materia oscura, se tomaron los datos de una de las simulaciones cosmológicas a gran escala del proyecto “**Illustris**” enfocándonos específicamente en la generación de imágenes de la densidad de materia bariónica y la densidad de materia oscura, tomando los datos de las simulaciones **TNG-50**, en las cuales se tienen medidas de 50 Mpc y se trabajó solamente con la snapdir\_099 que tiene un corrimiento al rojo **z=0**. Se realizó zoom a los mapas de densidad de materia bariónica que tuvieran formas de galaxias realistas y zoom al respectivo mapa de densidad de materia oscura, a dichas imágenes se les aplicaron diferentes técnicas de limpieza de ruido para obtener así un set de datos fácil de procesar por la inteligencia artificial.

## Introducción

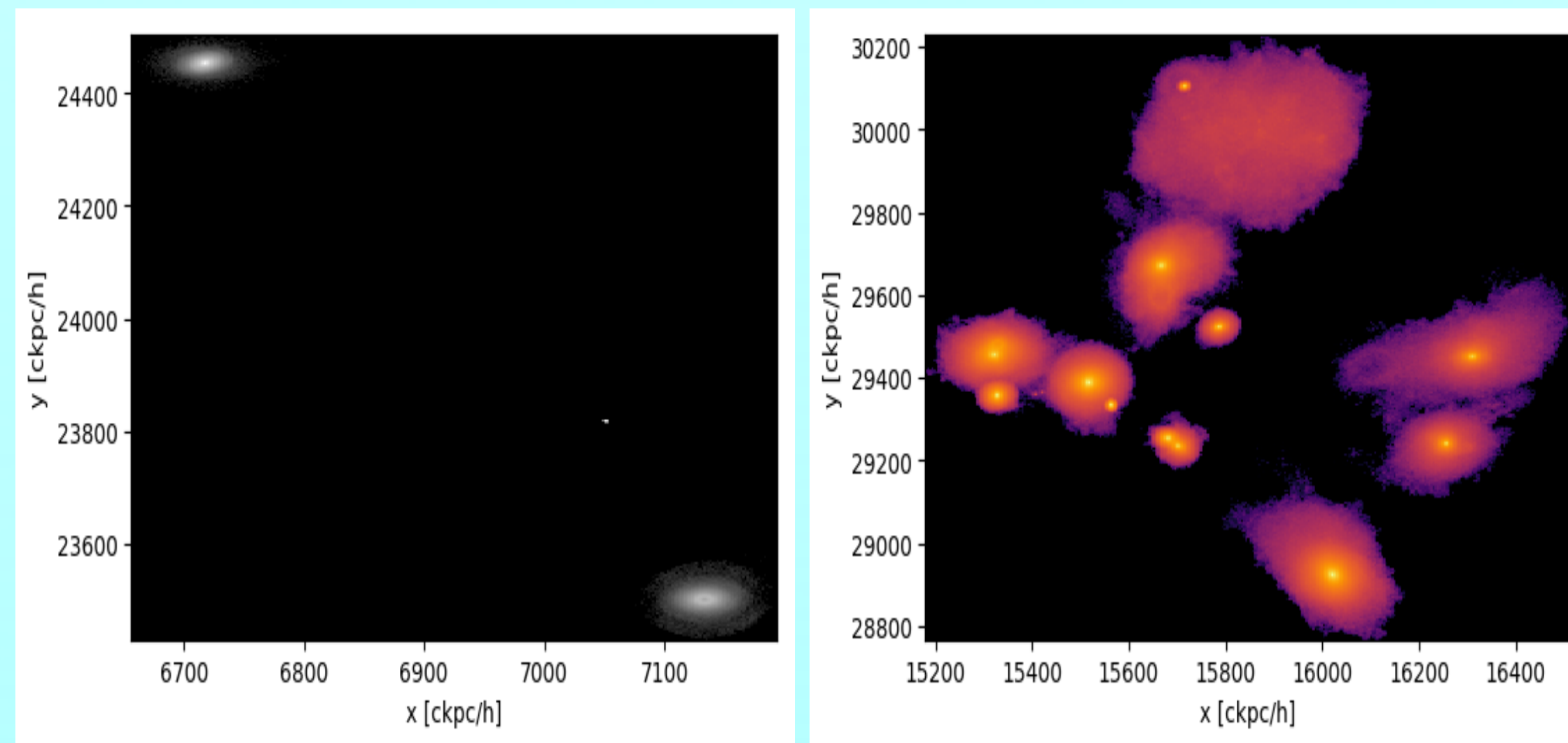
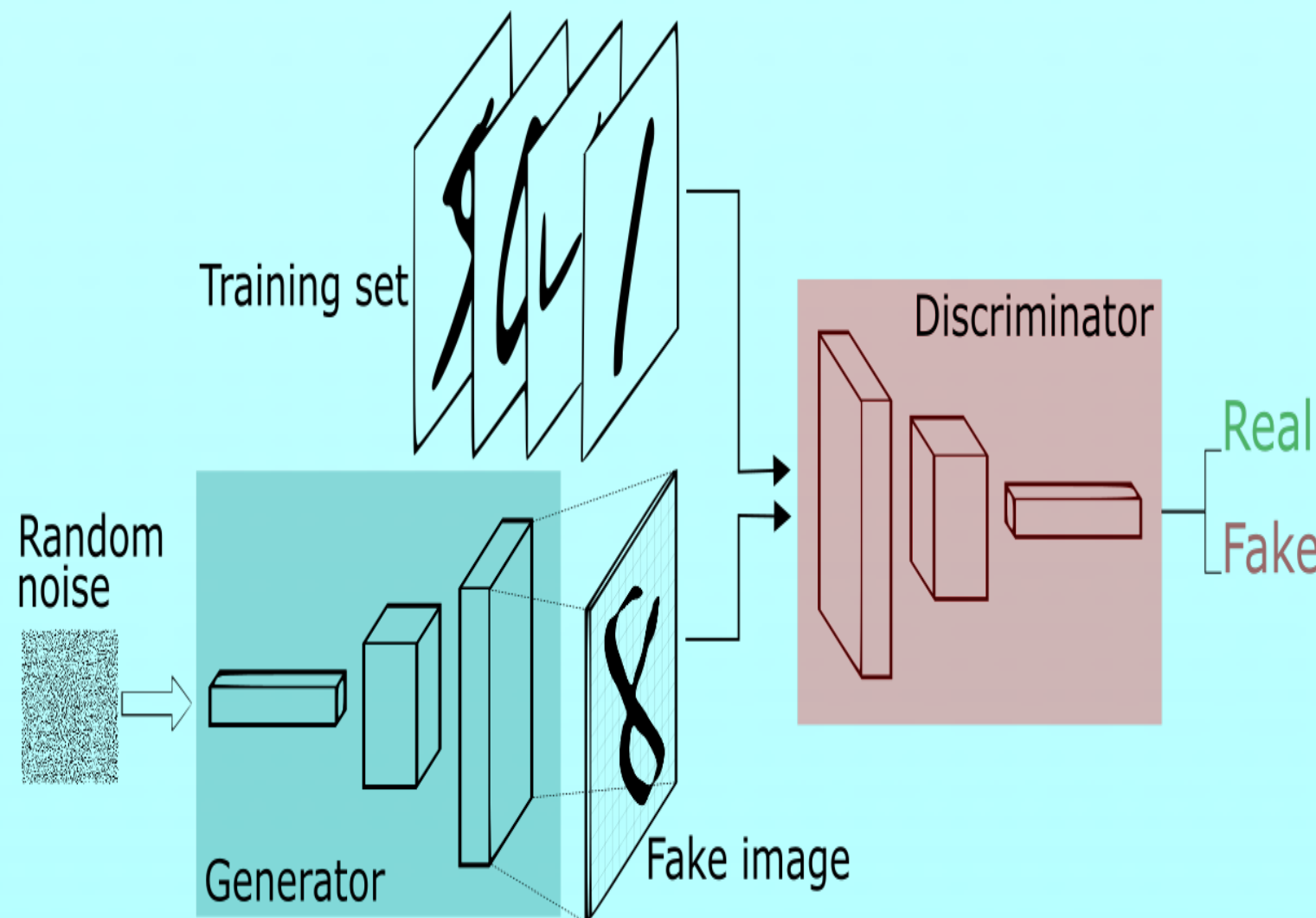
Desde ya hace un tiempo las simulaciones cosmológicas han ayudado al estudio de la formación del universo a gran y pequeña escala, dándonos una explicación a la formación galáctica sirviéndose del cálculo computacional, lo más increíble es que hoy en día no se limitan a la parte galáctica, si no que ya son capaces de simular otros comportamientos como el de la formación de materia oscura y de campos magnéticos, dichas simulaciones nos han permitido dar un gran salto en lo que respecta a nuestra comprensión del universo, sin embargo, sus tiempos de cómputo son demasiado grandes, por lo que con este trabajo se pretende ayudar a esa parte, permitiendo complementar alguna parte simulada con la parte predicha por la inteligencia artificial. También por otra parte, estas simulaciones se limitan a la parte de simular el universo, por lo que al igual con este trabajo se trata de dar una primera aproximación a los mapas de densidad de materia oscura de galaxias reales que existen en nuestro universo.

## Metodología

Respecto a la simulación con la que se trabajó, que funciona con el código **AREPO**, el cual trata el problema de **N-cuerpos** y magnetohidrodinámica en sistemas gravitacionales, donde se aprovecha de las ventajas de la hidrodinámica de volumen finito y la mecánica lagrangiana de la hidrodinámica de partículas suavizadas. Dicho código para la parte de simulaciones cosmológicas trabaja con la métrica **FLRW** en un espacio de curvatura plano, así como con ecuaciones cómoviles. Para resolver la parte colisional se toma la función de distribución de Boltzman y por medio de transformadas de Fourier y métodos numéricos resuelve la ecuación de Boltzman para ver la evolución (en este caso del universo) respecto del tiempo

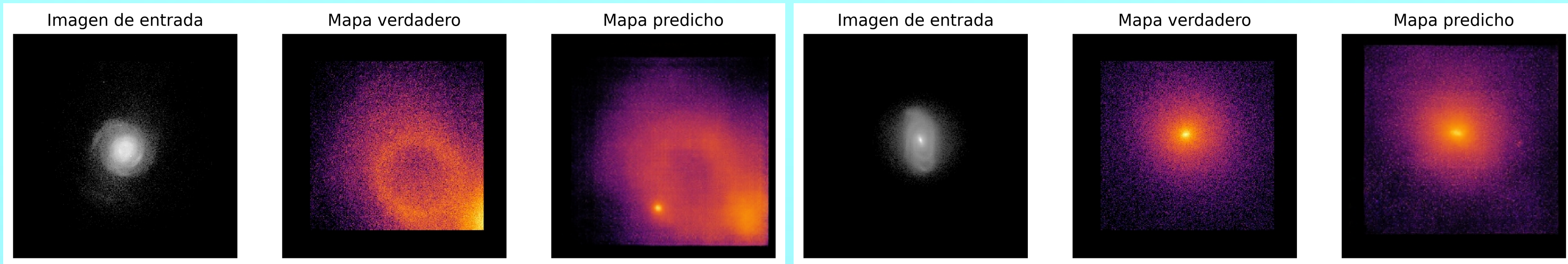
$$\frac{df}{dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial x} \frac{v}{a} - \frac{\partial f}{\partial v} \left( \frac{\nabla \Phi}{a^2} + \frac{\dot{a}}{a} \right). \quad (1)$$

Para la inteligencia artificial se usó una arquitectura de **red generativa antagónica** la cual consta de dos modelos de inteligencia artificial donde una funciona como generadora de imágenes y la otra como discriminadora de dichas imágenes. El set de datos consta de 305 imágenes de mapas de densidad de materia bariónica con su correspondiente mapa de materia oscura sumando un total de 710 imágenes.

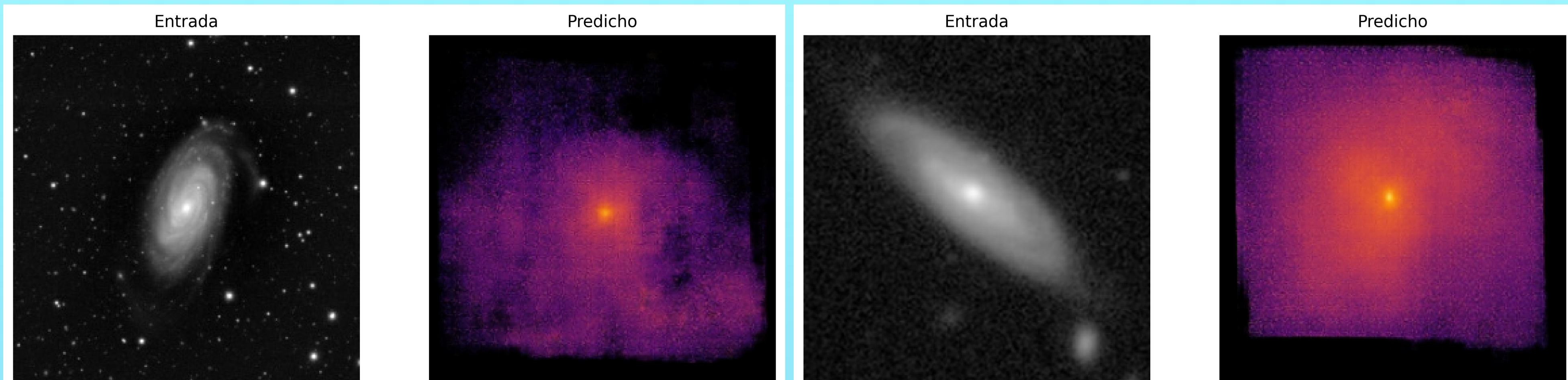


## Resultados

La inteligencia dio excelentes resultados prediciendo casi a la perfección los mapas de densidad de materia oscura, haciendo pruebas con una parte de las imágenes del set se observó que para las imágenes reservadas para prueba pudo obtener muy buenas aproximaciones a sus mapas de densidad de materia oscura.



Después se llevó al siguiente paso y se probó con imágenes de galaxias reales tomadas por telescopios, donde se pasaron por la inteligencia artificial ya entrenada y se obtuvieron sus mapas de densidad de materia oscura.



## References

- [1] Rainer Weinberger, Volker Springel, Rüdiger Pakmor : *The Arepo public code release*, Astrophys.J.Suppl. 248 (2020) 2, 32
- [2] Brant Robertson, Naoki Yoshida, Volker Springel, and Lars Hernquist *DISK GALAXY FORMATION IN A  $\Lambda$ COLD DARK MATTER UNIVERSE*, The Astrophysical Journal, 606:32–45, 2004 May 1
- [3] Dylan Nelson, Volker Springel, Annalisa Pillepich, Vicente Rodriguez-Gomez, Paul Torrey et al. : *The IllustrisTNG Simulations: Public Data Release*. e-Print: <https://arxiv.org/abs/1812.05609> [astro-ph.GA]

## Discusión

Se observó la no necesidad de cúmulos de materia oscura para que la galaxia mantenga su estructura, como ya se había estudiado en la literatura.

Por otro lado al analizar los mapas de densidad de materia oscura para galaxias reales se observó que se hace una generación correcta de los mapas para galaxias con un grado de enrollamiento alto, es decir, con una vida avanzada. Caso contrario para las galaxias más jóvenes donde es casi nula o nula la densidad de materia oscura.

Para concluir, es importante saber que las aplicaciones de esta tecnología en la física son muy grandes y se podría llegar a trabajar con modelos de gravedad modificada o con diferentes condiciones iniciales en las simulaciones y observar la evolución galáctica y generar sus respectivos mapas de densidad de materia oscura para ver si mantienen alguna correlación. También en la parte de evolución galáctica se podrían construir imágenes de como se forma una galaxia.

## Agradecimientos

Se agradece al "Illustris Project" por el uso de sus datos y servidores ya que el código que gráfica las imágenes se ejecuto en JupyterLab Workspace alojado en el MPCDF cerca de Munich, Alemania. Los autores agradecen a la Cátedra Marcos Moshinsky por su apoyo.