



## Unidad de Comunicación y Cultura Científica

### Instituto de Astronomía, UNAM

#### Nueva estrategia logra que simulaciones en supercomputadora expliquen propiedades de las galaxias que han cuestionado el entendimiento del Universo.

- Se ha logrado implementar una estrategia para reducir las fuentes de error de las simulaciones computacionales.
- Para realizar reproducciones más realistas se compararon los resultados de utilizar los códigos más empleados en el mundo, partiendo de las mismas condiciones iniciales y el mismo modelo de formación estelar.
- Se determinó que las galaxias de disco podrían haber comenzado a formarse temprano en la historia del Universo, como se dio a conocer en las recientes observaciones del telescopio espacial James Webb.

**Ciudad de México a 21 de marzo de 2024.-** Las propiedades de las galaxias son resultado de complejos procesos entre el gas, polvo, radiación, estrellas y las propiedades del universo en su conjunto. Interpretar las observaciones de galaxias de forma detallada, requiere de considerar tal complejidad, por lo general utilizando supercomputadoras. En años recientes se ha logrado un impresionante avance en este tipo de simulaciones, sin embargo, aún existen varios retos para este enfoque. Observaciones recientes del telescopio espacial James Webb muestran posible evidencia de galaxias bien desarrolladas muy al inicio de la evolución del Universo, en aparente conflicto con los cálculos teóricos. Otro reto descubierto desde finales de los noventa es la aparente falta de galaxias satélites brillantes alrededor de la Vía Láctea u otras galaxias similares, ya algunas simulaciones proporcionaban posibles explicaciones, pero otras no. Finalmente se sabe que una parte importante de los átomos (bariones) se encuentran en el halo de las galaxias circundando el disco, predicciones detalladas de las propiedades de este gas han sido una tarea pendiente.

Una de las dificultades a la que los astrofísicos se enfrentan para explicar cómo se formaron las galaxias desde el Big Bang hasta la actualidad, son las fuentes de incertidumbre relacionadas de los códigos computacionales con los que se simula la formación de las estrellas, sus explosiones, así como el movimiento del gas, la materia oscura y las estrellas mismas. En ocasiones solo algunos grupos parecen poder capturar algunos de los fenómenos mientras que otros no. Sin embargo, un grupo internacional de científicos donde colabora el investigador del Instituto de Astronomía (IA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Héctor Velázquez, ha implementado una estrategia para reducir las fuentes de error de las simulaciones.

La colaboración internacional AGORA (Assembling Galaxies Of Resolved Anatomy), tiene como objetivo llevar a cabo un proyecto de comparación entre los códigos más importantes para seguir la formación de galaxias dentro de la estructura a gran escala del Universo, mencionó Héctor Velázquez, único científico mexicano que participa en el proyecto y quien realizó varias de las simulaciones. "La colaboración nos ha ayudado a mejorar los códigos numéricos al encontrar y corregir errores y comprender mejor cómo los parámetros en cada código controlan los procesos astrofísicos, incluida la formación de estrellas. Este es el punto de partida para simulaciones cada vez más precisas de la formación de galaxias que realmente nos ayuden a interpretar de manera confiable las observaciones", afirma Héctor Velázquez.

Para realizar reproducciones más realistas se compararon los resultados de utilizar los códigos más utilizados en el mundo (AREPO, GADGET, ART, RAMSES, CHANGA, GIZMO entre otros) partiendo de las mismas condiciones iniciales y el mismo modelo de formación estelar, dejando libres otros aspectos tanto de la física como numéricos, lo anterior permitió cuantificar y valorar en qué condiciones se logran resultados similares o convergentes entre todos los grupos. "Este esfuerzo va a permitir separar los sesgos asociados a cada código computacional utilizado en la interpretación de las observaciones de las galaxias", dijo Octavio Valenzuela, coordinador del laboratorio de modelos y datos de la UNAM.

Las comparaciones realizadas se basan en códigos de computadora, que cada comunidad ha desarrollado para seguir la formación y evolución de galaxias: "tenemos diferentes programas con diferentes estrategias para representar las cantidades físicas, por ejemplo, mallas que son como un cuadrículado donde se va resolviendo la física del problema, tales mallas pueden enfocarse de forma automática en ciertas regiones y aumentar la resolución en esa región para seguir más a detalle el proceso de evolución, en algunos casos estas mallas no son un cuadrículado sino más bien un mapa de mosaicos triangulares para adaptarse fácilmente a la forma de los objetos simulados. Además, hay otros programas basados en partículas o aquellos que utilizan tanto mallas como partículas. Cada uno tiene sus bondades, limitaciones y ventajas", comentó el Dr. Velázquez.

## **¿Cuáles son las limitantes?**

Algunas de ellas se dan en la resolución, precisión numérica o en la cantidad de memoria o tiempo de procesador que requieren, así como por hipótesis sobre una variedad de factores físicos, como la evolución y explosión de las estrellas, los flujos de gas en las galaxias, así como de los movimientos estelares o de la materia oscura. Debido a lo anterior los cientos de simulaciones han implicado esfuerzos computacionales muy grandes que implicaron millones de horas de tiempo de cómputo y acceso a grandes recursos de almacenamiento: “Lo más complicado fue conseguir los recursos de supercómputo”, comenta el Dr. Velázquez.

Por otro lado, enfatizaron en que el recurso humano es vital para lograr los resultados obtenidos, por tal razón, la colaboración está integrada por tantos investigadores, sin embargo, hay pocos investigadores y estudiantes contribuyendo a estos estudios en nuestro país: “La contribución de México a la realización y calibración de estas simulaciones que ayudan a consolidar el entendimiento de fenómenos en las galaxias sería mayor si hubiera más personas, en especial jóvenes, trabajando en este tipo de proyectos”, dijo Octavio Valenzuela. Asimismo, ambos reconocieron que aunque podría pensarse que en México es difícil participar en este tipo de esfuerzos debido a los grandes recursos de cómputo que requieren o los grandes grupos: “hay nichos que se pueden aprovechar si se unen esfuerzos para realizar estas colaboraciones”. Además de mencionar que la astronomía tiene un carácter transdisciplinario, y además de astrofísicos, investigadores y estudiantes de otras áreas como física, química, ingeniería o computación también pueden aportar al desarrollo y perfeccionamiento de herramientas para llevar a cabo y analizar los resultados de estos estudios.

## **¿Qué es una supercomputadora?**

De acuerdo con Héctor Velázquez, podemos imaginar que es como un aglomerado de muchas computadoras como las que se tienen en casa, pero todas ellas trabajan de forma colaborativa y durante muchas horas y con una conexión mucho más rápida que cualquier internet doméstico.

Emplear estas herramientas permite acelerar descubrimientos, los cuales no se podrían hacer debido a que duran más que la escala de vida humana. “En un futuro se aumentará el realismo y se podrán hacer interpretaciones mucho más precisas”, agregó Héctor Velázquez.

## **Los resultados**

Éstos se plasman en tres nuevos artículos de la colaboración AGORA, las llamadas simulaciones CosmoRun. En ellos se analizó la formación de una galaxia con la masa de la Vía Láctea. Las simulaciones comparten los mismos supuestos

astrofísicos sobre la radiación ultravioleta de fondo, la física del enfriamiento y el calentamiento del gas y la formación de estrellas, pero difieren en la arquitectura del código y en la física de la retroalimentación estelar. Con la ayuda de los nuevos resultados, se determinó que las galaxias de disco, como la Vía Láctea, podrían haber comenzado a formarse temprano en la historia del Universo, como se dio a conocer en las recientes observaciones del telescopio espacial James Webb.

Asimismo, descubrieron que el número de galaxias satélite brillantes –galaxias que orbitan alrededor de galaxias más grandes– encaja con las observaciones, independientemente de la estrategia de simulación utilizada, lo cual disminuye un viejo problema llamado “de los satélites perdidos” que consiste en la ausencia de una gran población de pequeñas galaxias satélites brillantes en las observaciones, la cual es predicha mediante simulaciones de materia oscura sin la inclusión de gas y estrellas.

Héctor Velázquez y Octavio Valenzuela invitan a que más jóvenes que estén interesados en participar y colaborar en este proyecto, se acerquen para buscar ser parte de ello: “Las puertas están abiertas para la participación de los jóvenes”, ya que con más talento humano se podrá acelerar la obtención de resultados para seguir mejorando las técnicas de observación y entendimiento del Universo.

El estudio estuvo dirigido por Ji-hoon Kim en la Universidad Nacional de Seúl, Corea; Joel Primack, Universidad de California Santa Cruz y Santi Roca-Fàbrega, Universidad de Lund, Suecia.

Se utilizaron supercomputadoras en varios países, entre ellas Mitzli en la DGTIC UNAM, Atocatl y Tochtli en el LAMOD-UNAM, así como Perlmutter en el NERSC, HIPAC y XSEDE, en EU; CfCA y Oakforest-PACS, en Japón.

En la colaboración AGORA participan alrededor 160 investigadores de 60 universidades de todo el mundo. Parte del estudio se ha publicado en *The Astrophysical Journal*.

#### **Enlaces a los artículos:**

<https://arxiv.org/abs/2402.06202>

<https://arxiv.org/abs/2402.05392>

<https://arxiv.org/abs/2402.05246>

---

## Sobre el IA-UNAM

El Instituto de Astronomía (IA) de la UNAM es la institución encargada de la investigación en astrofísica más antigua del país. Forma parte de la mejor universidad de México, una universidad pública que cuenta con más de 360,000 estudiantes. Los objetivos de IA son realizar investigación en astrofísica, desarrollar instrumentación astronómica, así como formar recursos humanos de alta calidad en los niveles de licenciatura, maestría y doctorado. El IA realiza también difusión y divulgación de la astronomía y de la ciencia en general. El IA tiene adscritos el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir en Baja California (OAN-SPM) y el Observatorio Astronómico Nacional de Tonantzintla en Puebla (OAN-T). Para obtener más información visite <http://www.astronomia.unam.mx> o escriba a [uc3@astro.unam.mx](mailto:uc3@astro.unam.mx).

## Unidad de Comunicación y Cultura Científica (UC3)

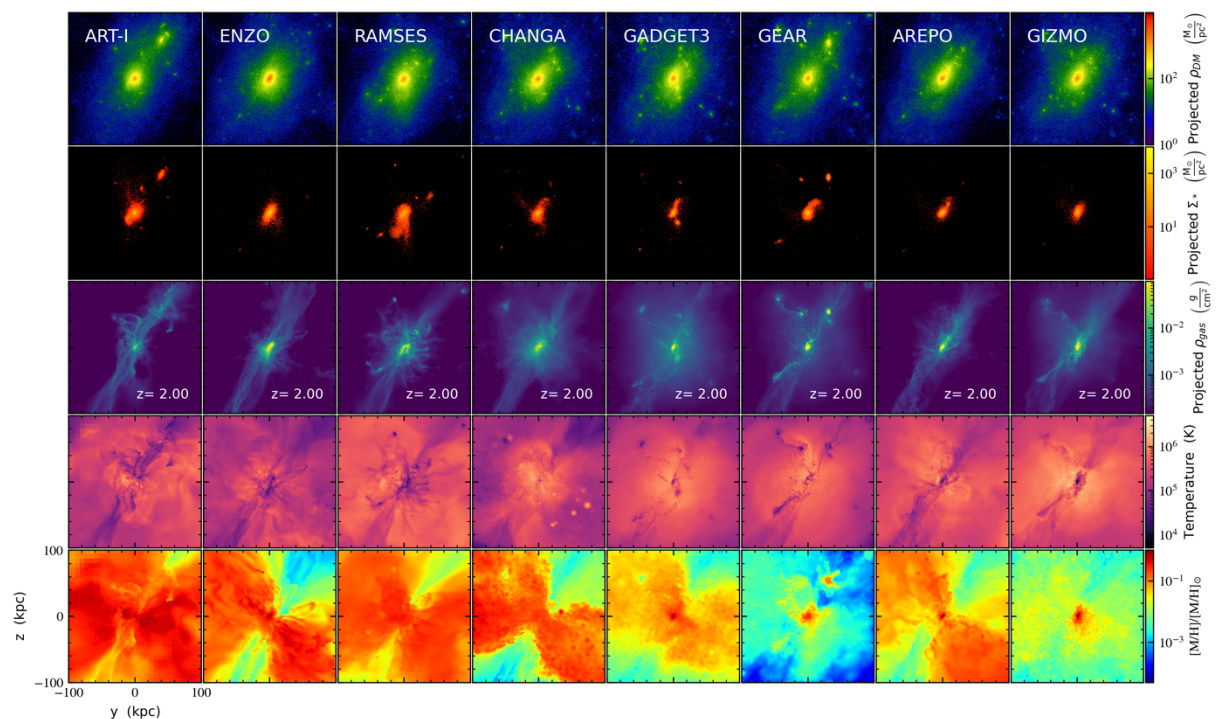
### Instituto de Astronomía, UNAM

Dra. Ángeles Pérez Villegas | Jefatura de UC3

Mtra. Brenda C. Arias Martín | Edición, medios de comunicación

Ana Luisa Pérez Sánchez | Redacción

## Imágenes



**Imagen 1.** Densidad proyectada para la materia oscura (primer renglón), la densidad superficial de las estrellas (segundo renglón) y el gas (tercer renglón), la temperatura (cuarto renglón) y metalicidad (quinto renglón) del gas para todos los códigos utilizados.

Crédito: S. Roca-Fabrega and AGORA Collaboration.



**Imagen 2.** Racks y equipos de cálculo (alrededor de mil) y almacenamiento en la sala del LAMOD en el IA-UNAM.

Crédito: Octavio Valenzuela.