

Cuando tres mundos cósmicos se besan

Dante Virgilio **Gomez-Navarro**

¿Alguna vez has visto animales y figuras en las nubes? Probablemente la respuesta sea sí. Los científicos también han mirado el cielo por medio de telescopios y han percibido “fantasmas danzantes” y “grandes sonrisas” situadas a millones de años luz de la Tierra. El universo se asemeja a una gran telaraña: tiene regiones vacías, está unido por hilos, posee nodos pegajosos (cúmulos de galaxias) que atraen galaxias y, una vez capturadas, estas son incapaces de liberarse de esta trampa cósmica debido a la fuerza de gravedad. Dentro de estas estructuras se esconden fenómenos espectaculares. Al igual que los sentimientos profundos, el cosmos expresa siempre más de lo que aparenta.

Si bien el ser humano ha mirado el cielo con telescopios desde hace cuatro siglos, fue en las últimas cuatro décadas cuando se volvió posible detectar miles de galaxias y mostrar la conexión entre los elementos de la telaraña cósmica. Por ejemplo, en los años 80 los instrumentos apenas eran capaces de observar 18 mil galaxias, mientras que actualmente es posible localizar millones de ellas, lo que indica que algunas residen en regiones pobladas, unas pocas en regiones vacías y otras más se localizan en los hilos cósmicos. Al contar con millones de galaxias de diferentes colores, tamaños y formas, los científicos reconstruyen el mapa del universo, sugiriendo cómo la gravedad y la materia cambian su estructura con el paso del tiempo (Figura 1). Los catálogos espectroscópicos de

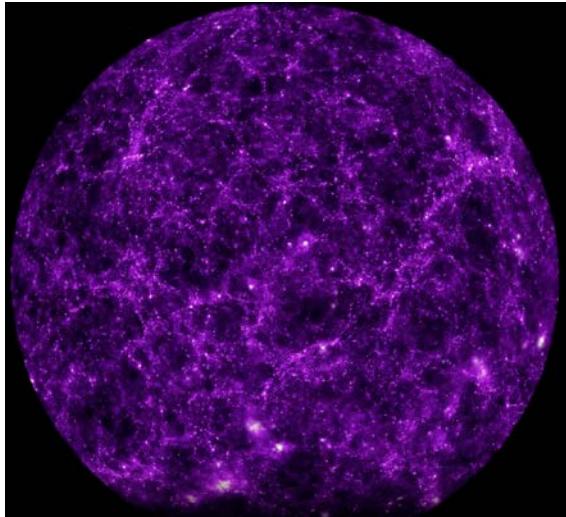


Figura 1. La red cósmica con datos simulados. Cada punto brillante en blanco representa una galaxia, y la materia oscura se muestra en color morado. Esta imagen permite ver los filamentos que conectan las galaxias y los vacíos cósmicos. La simulación está basada en el crecimiento de las estructuras, desde tiempos muy tempranos hasta el día de hoy, de la materia bariónica, la materia oscura y la energía oscura usando las ecuaciones de la cosmología, hidrodinámica y gravedad. El video completo de las estructuras del universo puede verse en el siguiente enlace: Red Cósmica. https://assets.science.nasa.gov/content/dam/science/missions/hubble/cosmology/cosmic-web/Hubble_Cruising_the_Cosmic_Web_V2_Dome_Version.mp4.

galaxias actuales, como DESI, medirán cerca de 40 millones de galaxias, generando la telaraña cósmica más precisa hasta el día de hoy (Gomez-Navarro, 2025). Esto representa solo una pequeña muestra de los 200 mil millones de galaxias que se estiman en el universo observable, aunque podría ser menor según un estudio reciente (Lauer *et al.*, 2021). Esto representa solo una pequeña muestra de los 2 millones de millones de galaxias que se estiman en el universo observable, según un estudio reciente (Conselice *et al.*, 2016; Lauer *et al.*, 2021). Esta cifra es una estimación y está limitada por los aparatos tecnológicos, así como por las nuevas preguntas y respuestas sobre el universo. Un instrumento espectroscópico como DESI divide la luz de las galaxias en diferentes colores para obtener información sobre su posición y la velocidad con la que se alejan de la Vía Láctea.

MATERIA BARIÓNICA Y MATERIA OSCURA

Las galaxias están constituidas por planetas, estrellas, nubes de gas, agujeros negros, es decir, por materia

ordinaria, la cual representa apenas una quinta parte de la materia total del universo. En astrofísica, a la materia ordinaria también se le conoce como *bariónica*, para diferenciarla de otro tipo de materia desconocida: la materia oscura. La mayor parte de la materia bariónica se localiza fuera de las galaxias, o sea, en el espacio intergaláctico. Además, el estudio de las simulaciones *Illustris* muestra que cerca de la mitad de la materia ordinaria se encuentra en estado gaseoso tibio-caliente (54 %), mientras que una cuarta parte (22 %) está en forma de gas frío difuso, y el resto (18 %) en estado condensado (Haider *et al.*, 2016).

De acuerdo con el modelo estándar de la cosmología, las galaxias residen en halos de materia oscura, cuya naturaleza es desconocida, pero cuyo efecto puede observarse de manera indirecta. Una forma de conocer dicho efecto es a través de las lentes gravitacionales. En el Mundial pasado vimos a Messi disparar el balón por encima de la barrera. Es probable que falle si hay muchos jugadores en la barrera, a diferencia de si solo hay uno o dos. Messi y otros futbolistas entran con diferentes tipos de barreras para evitar que estas desvíen el balón. Los astrofísicos usan un proceso similar para determinar la distribución de la materia oscura: observan la luz de muchas galaxias de fondo cuando pasa por “barreras” formadas por galaxias y sus halos de materia oscura. Estas barreras se conocen como lentes gravitacionales débiles, ya que provocan una ligera distorsión de las galaxias de fondo y son detectables usando un gran número de ellas.

FANTASMAS DANZANTES Y CÚMULOS DE GALAXIAS

Las trampas cósmicas, también conocidas técnicamente como cúmulos de galaxias, son aquellas regiones de la telaraña donde se agrupan más de 50 galaxias en un espacio relativamente pequeño. A su vez, los cúmulos se agrupan formando estructuras mayores conocidas como supercúmulos de galaxias. Los científicos utilizan la técnica de lente gravitacional débil para medir la masa de estos cúmulos, encontrando que más del 80 % de su masa corresponde a materia oscura, el 3 % a estrellas, y el 15 % a materia bariónica localizada entre las galaxias.

Además, los cúmulos se clasifican por su forma, masa, color y tamaño. El color, por ejemplo, indica la distancia aproximada en distintos momentos del tiempo. Al igual que los arqueólogos buscan un conjunto amplio de huesos para reconstruir la evolución humana, los astrofísicos detectan millones de galaxias de diferentes colores para recrear la red cósmica. Según el modelo estándar de la cosmología, las galaxias habitan en casas invisibles llamadas halos de materia oscura. Las trampas cósmicas son también un laboratorio ideal para estudiar la evolución del universo, ya que contienen casi la mitad de la materia oscura total; el resto se encuentra distribuido en los filamentos y las regiones vacías de la red cósmica. Asimismo, estas trampas cósmicas albergan la cuarta parte de la materia ordinaria total.

Los constituyentes fundamentales de los cúmulos son las galaxias. Sin embargo, cada galaxia tiene su propio mundo. Por ejemplo, contienen agujeros negros que generalmente residen en el centro, con masas de millones o incluso miles de millones de veces la masa del Sol. La mayoría de los agujeros negros son inactivos, y solo el 1 % de ellos está activo, es decir, incorporan materia de su entorno. Este tipo de galaxias activas se conocen como cuásares. Al igual que un tornado añade fragmentos pequeños creando nubes de polvo a su alrededor, la actividad de los agujeros negros puede generar destellos en el espacio: los fantasmas danzantes (Figura 2).

Como decía Octavio Paz, un mundo nace cuando dos se besan. Y eso es lo que sucede con dos galaxias distantes, cada una con un agujero negro supermasivo, que se besan generando fenómenos espectaculares. Un equipo de científicos de la Universidad de Sídney y del Consejo de Ciencia de Australia observó que los agujeros negros expulsan nubes de electrones que son intensamente dobladas por los vientos galácticos, dando lugar a peculiares nubes de electrones danzantes (Norris *et al.*, 2021).

La forma en que los agujeros negros atraen material de su entorno es clave para comprender la formación de galaxias. Por ejemplo, las galaxias que contienen agujeros negros masivos en su centro y

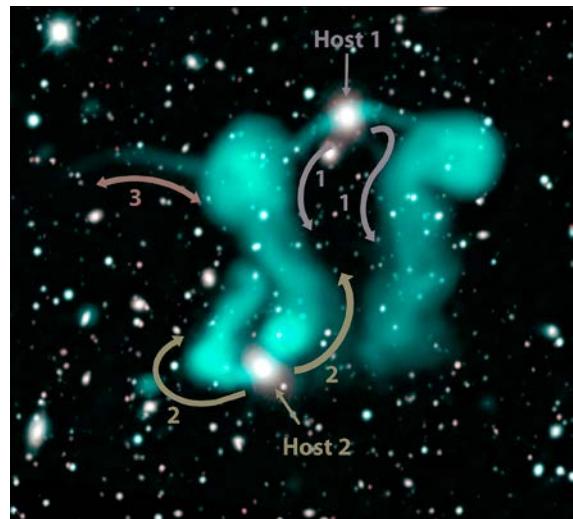


Figura 2. Fantasmas danzantes en el universo. Las nubes de electrones son afectadas por los vientos de las galaxias situadas en el centro de los chorros estrechos. Obtenida de Norris *et al.* (2021).

que se encuentran en regiones vacías experimentan una fuerte acreción, originando siluetas similares a las que vemos en las nubes.

FILAMENTOS CÓSMICOS Y LA SONRISA CÓSMICA

En el universo también hay puentes que conectan los cúmulos de galaxias y las regiones vacías, conocidos como hilos o filamentos cósmicos. Estas estructuras son de gran importancia para la astrofísica, ya que contienen cerca de la mitad de la materia bariónica total, según un estudio basado en los datos de las simulaciones *Illustris* (Haider *et al.*, 2016).

También se ha observado una gran sonrisa en el cielo, el Arco Gigante, con un tamaño de 1 Gpc cuando el cosmos tenía apenas la mitad de su edad actual. Es una estructura filamentaria y curva, compuesta por galaxias y cúmulos de galaxias (López *et al.*, 2022).

El pársec (símbolo pc) es una unidad de longitud en astronomía, y sus múltiplos más comunes son el kilopársec (kpc), megapársec (Mpc) y gigapársec (Gpc). Para objetos dentro y alrededor de la Vía Láctea se usa el kpc; para galaxias a distancia media, el Mpc; y para galaxias muy distantes, el Gpc.

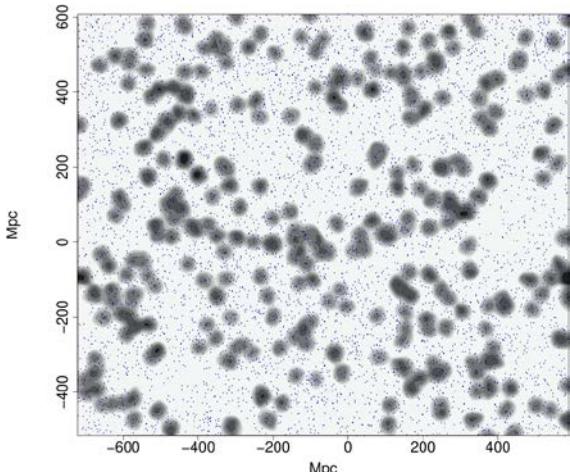


Figura 3. El Arco Gigante o Gran Sonrisa. Las regiones en gris muestran la distribución de galaxias y cúmulos de galaxias. Los puntos en azul indican el fondo de cuásares. Obtenida de <https://doi.org/10.1093/mnras/stac2204>.

El principio cosmológico es uno de los pilares del modelo estándar de la cosmología y sostiene que no hay un lugar privilegiado en el universo. Es decir, si una persona en la Tierra y otro observador en una galaxia lejana observan la misma región del espacio al mismo tiempo, ambos verán los mismos fenómenos naturales. Esto implica que el cosmos es homogéneo a gran escala, es decir, en regiones mayores a 150 Mpc, aunque existe un debate sobre dónde establecer la escala de homogeneidad. Por ejemplo, usando la teoría de perturbaciones dentro de la relatividad general es posible tener estructuras mayores, incluso de tamaños de Gpc (Canay *et al.*, 2020).

Sin embargo, existen estructuras que superan esta escala de homogeneidad. Una de ellas es la gran sonrisa, unas tres veces más grande que dicha escala. Si bien es posible encontrar anomalías como esta dentro del modelo estándar, ya que solo se han detectado alrededor de una decena de objetos similares entre millones, también abre la posibilidad de cuestionar el principio cosmológico y explorar alternativas.

La gran sonrisa no es la única estructura que rebasa esta escala: por ejemplo, la Gran Pared Hércules-Corona Boreal es probablemente la estructura más grande descubierta hasta ahora.

Explorar estos objetos permite cuestionar los paradigmas del modelo estándar de la cosmología. El descubrimiento de este conjunto de estructuras sugiere explorar nuevas alternativas para la validez del principio cosmológico (Aluri, 2023). Por ejemplo, un camino es comparar con estructuras galácticas con la misma forma y tamaño, y experimentar con datos simulados con la finalidad de diferenciar las conexiones entre ellas.

Asimismo, seguir con la mejora de los métodos usados para detectar estos grandes objetos, ya que con las nuevas tecnologías se pueden alcanzar datos más precisos.

El principio cosmológico es solo un elemento del modelo estándar de la cosmología, por lo que estos resultados podrían ser otra razón para un cambio de paradigma en el modelo estándar y, además, se complementa con otras observaciones: los nuevos resultados de DESI (una encuesta de galaxias) refuerzan las pistas de que la energía oscura está evolucionando, cuestionando el modelo estándar (DESI, 2025).

VACÍOS CÓSMICOS

Finalmente, los vacíos cósmicos abarcan regiones muy grandes del espacio: cerca del 80 % del volumen del universo corresponde a estos vacíos. A diferencia de los cúmulos de galaxias, los vacíos contienen poca materia oscura, alrededor del 6 %, mientras que en ellos reside el 31 % de la materia bariónica, según las simulaciones Illustris (Haider *et al.*, 2016).

Los vacíos tienden a expulsar la materia hacia el exterior, concentrándola en los filamentos circundantes. Además, constituyen un laboratorio importante para el estudio cosmológico, ya que, al contener poca materia en su interior, permiten diferenciar entre modelos de gravedad.

La relatividad general ha sido probada en regiones de alta densidad como nuestro sistema solar; estudiar regiones de baja densidad podría descartar modificaciones a dicha teoría y resolver otro problema fundamental: la expansión acelerada del universo.

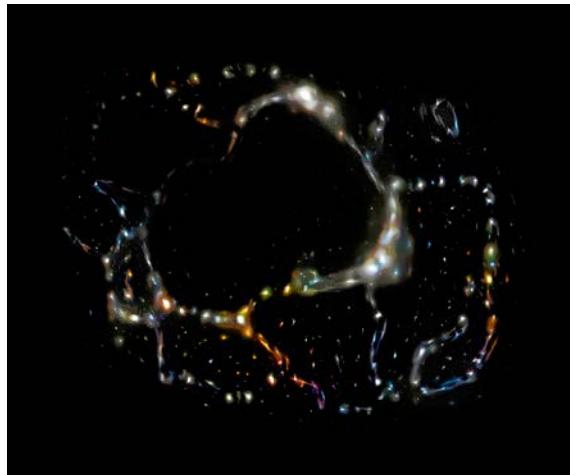


Figura 4. Representación artística del *KBC void*, una región vacía que contiene a la Vía Láctea, Andrómeda y muchas galaxias pequeñas. Obtenida de File:Kbc void.png-Wikimedia Commons.

Por ejemplo, la Vía Láctea se encuentra en un enorme vacío conocido como el Vacío Local o KBC void, con forma esférica y rodeado de galaxias y materia (Figura 4).

Esta región fue estudiada por Ryan Keenan, Amy Barger y Lennox Cowie, de ahí su nombre. Las dimensiones del Vacío Local son tan grandes que, si la Vía Láctea fuera un grano de arroz, el Vacío sería del tamaño del Estadio Azteca.

El Vacío Local también contiene más de 70 galaxias, incluyendo a Andrómeda y muchas otras pequeñas. Las galaxias dentro de un vacío cósmico experimentan una fuerza hacia afuera del mismo, lo que da lugar a un valor elevado para la constante de Hubble.

Esta constante es una medición fundamental en la cosmología moderna, pues representa qué tan rápido se expande el universo.

En este sentido, investigar los vacíos cósmicos podría ser una vía alternativa para resolver el problema de la tensión en la constante de Hubble, como se ha propuesto en la literatura científica.

¿POR QUÉ ESTUDIAR LA RED CÓSMICA?

Para ver la luz al final del túnel, hay que recorrer la oscuridad. Eso hacen los investigadores cuando intentan determinar cómo la gravedad modifica las grandes estructuras del cosmos a lo largo del

tiempo. La red cósmica juega un papel clave en el estudio de la formación y evolución de las galaxias. Las propiedades de estas, como su morfología, contenido de gas, tasa de formación estelar, edad y composición estelar, dependen del entorno donde se encuentran.

Las galaxias que habitan en regiones densamente pobladas presentan características distintas a las que se encuentran en vacíos cósmicos. Por ejemplo, en la intersección de los filamentos, las galaxias forman pocas estrellas o incluso dejan de hacerlo; adoptan una forma más elíptica y llegan al fin de su vida activa.

En cambio, los filamentos funcionan como medios de transición en los que las galaxias evolucionan antes de integrarse a los cúmulos. La evolución galáctica, por tanto, depende del entorno. De ahí la importancia de estudiar cómo evolucionan las galaxias en la red cósmica.

El estudio de la red cósmica permite conocer las propiedades del gas en los filamentos intergalácticos, abre nuevas posibilidades para el entendimiento de la evolución de las galaxias y ayuda a mejorar los modelos teóricos de la astrofísica simulados en supercomputadoras.

Además, las propiedades de las estructuras cósmicas responden a la naturaleza de la materia oscura y energía oscura, es decir, hay una relación entre el movimiento de las galaxias y la cantidad de materia oscura.

Esto significa que observar los elementos de la red es fundamental para entender la conexión entre la materia bariónica con la materia oscura y energía oscura, y luego ver si podemos explorar la naturaleza de estas y aprender algo nuevo. Solo nos queda esperar que las próximas encuestas galácticas capten la luz, el “ADN” de millones de galaxias, para crear el mapa más grande y preciso de supercúmulos y vacíos cósmicos.

R E F E R E N C I A S

Lauer TR *et al.* (2021). New Horizons Observations of the Cosmic Optical Background. *ApJ* 906 77. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/abc881>.

Conselice CJ et al. (2016). The evolution of Galaxy number density at $z < 8$ and its implications. *ApJ* 830 83. <https://doi.org/10.3847/0004-637X/830/2/83>.

Aluri PK et al. (2023). Is the observable Universe consistent with the cosmological principle? *Class. Quantum Grav* 40 094001 <https://doi.org/10.1088/1361-6382/acbefc>.

Canay E and Eingorn M (2020). Duel of cosmological screening lengths. *Physics of the Dark Universe* 29 200565. <https://doi.org/10.1016/j.dark.2020.100565>.

Gomez-Navarro DV (2025). El más grande mapa del universo en 3D. *Elementos* 137:21-26. <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000010490.pdf>.

Lopez AM, Clowes RG and Williger GM (2022). A Giant Arc on the Sky. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 516(2):1557-1572. <https://doi.org/10.1093/mnras/stac2204>.

Norris RP et al. (2021). The Evolutionary Map of the Universe pilot survey. *Publications of the Astronomical Society of Australia*. <https://doi.org/10.1017/pasa.2021.42>.

Haider M et al. (2016). Large-scale mass distribution in the Illustris simulation. *MNRAS* 457(3):3024-3035. DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/stw077>.



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2016.

The Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) (2025). DESI Key Publications. Disponible en: Papers-DESI Data.

Dante Virgilio Gomez-Navarro

**Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería
Campus Palenque, Instituto Politécnico Nacional
dgomezn@ipn.mx**

