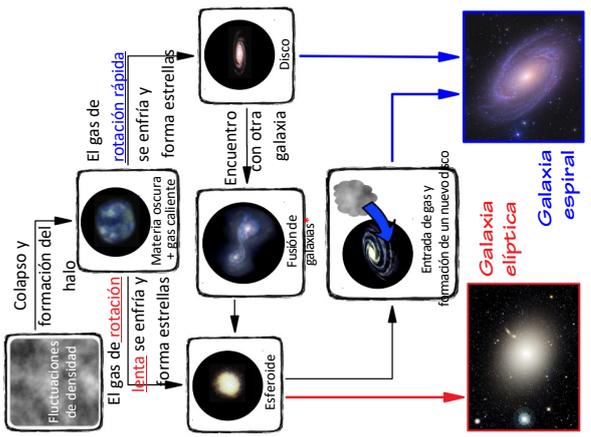


Con pequeñas fluctuaciones...

Cualquier teoría de formación y evolución de galaxias tiene la difícil tarea de explicar qué, cuándo y cómo ocurren varios procesos físicos para formar los tipos de galaxias que observamos hoy. Sabemos que la secuencia de Hubble* no es una secuencia evolutiva. El diagrama de la página opuesta ilustra los caminos que pueden llevar a la formación de galaxias elípticas y espirales. Todo comienza con pequeñas **fluctuaciones de densidad** en el Universo muy, muy joven. A medida que el Universo se expande**, la amplitud de estas fluctuaciones es cada vez mayor. Finalmente, **la gravedad gana** y el halo de materia oscura colapsa. El gas caliente es atraído por estos halos y se enfría, formando una galaxia elíptica o espiral. Dependiendo de la cantidad de rotación y gas que tenga el halo y de si se producen o no fusiones con otras galaxias.

* Ver TUIIMP 3
** Ver TUIIMP 12



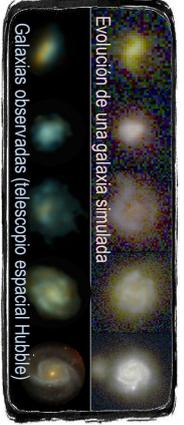
* El modo más común y violento de destruir discos de galaxias y convertirlos en esferoides.

Creando galaxias

En las últimas décadas, las **simulaciones cosmológicas** realizadas en supercomputadoras nos han ayudado a entender cómo se formaron y evolucionaron las galaxias. Las imágenes de la otra página muestran los resultados de una de las mayores simulaciones realizadas hasta la fecha. Estas simulaciones describen la evolución cósmica para un volumen que contiene decenas de miles de galaxias. Incluyen gas, estrellas, materia oscura, energía oscura y varios procesos físicos como la evolución estelar, el enriquecimiento químico y los mecanismos de retroalimentación. A pesar de su inmensa complejidad, las simulaciones reproducen increíblemente bien las propiedades de las galaxias reales. Estas simulaciones son tan complejas que, si fuera posible ejecutarlas en una computadora ordinaria, tardarían entre cientos y miles de años en completarse!



Galaxias observadas (Sloan Digital Sky Survey)



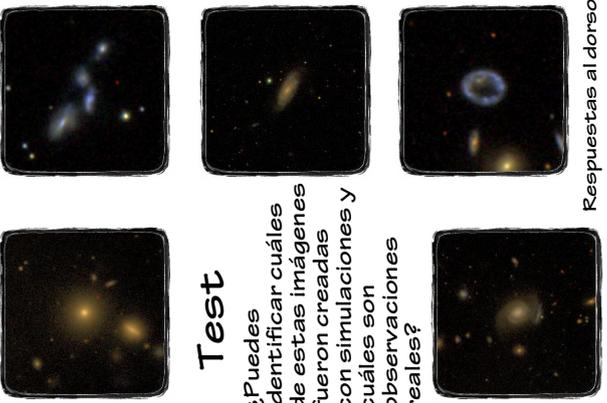
Galaxias observadas (telescopio espacial Hubble)

12 hace miles de millones de años
11
10
8 hoy

Test

¿Puedes identificar cuáles de estas imágenes fueron creadas con simulaciones y cuáles son observaciones reales?

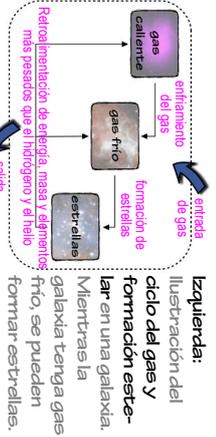
Respuestas al dorso



El nacimiento y la vida de las galaxias



Marina Trevisan
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil



Izquierda: Ilustración del ciclo del gas y formación estelar en una galaxia. Mientras la galaxia tenga gas frío, se pueden formar estrellas.



Derecha: Las galaxias pueden adquirir gas de su alrededor, como se ilustra. Sin embargo, los mecanismos de retroalimentación pueden calentar el gas que rodea la galaxia, impidiendo su atracción o expulsar gas interno. Abajo: estos mecanismos en acción: explosiones de supervoiva provocan la salida del gas (izquierda), y la energía liberada por el AGN* expulsa y calienta el gas que rodea la galaxia (derecha).



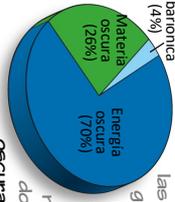
Convirtiendo el gas en estrellas

Mientras una galaxia tenga gas y éste pueda enfriarse, podrán formarse estrellas. Sin embargo, las explosiones de supervoiva pueden calentar y expulsar el gas de la galaxia. Si la galaxia es pequeña, la gravedad es demasiado débil para impedir que el gas se escape, y la **retroalimentación de las supervoivas** suprimirá la formación de estrellas. En las galaxias más grandes, la retroalimentación de los **núcleos galácticos activos* (AGN)** tiene un mayor impacto: el agujero negro supermasivo central, de millones a miles de millones de veces más masivo que el Sol, engulle materia y libera una enorme cantidad de energía que calienta el gas circundante. Las propiedades de las galaxias dependen de la masa de su agujero negro central, lo que indica que la retroalimentación de estos monstruos desempeña un papel fundamental en su evolución.

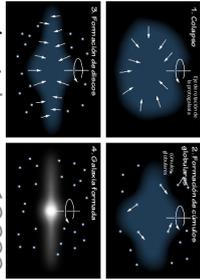
* Ver TUIIMP 6

En el modelo propuesto por Olaf Eggen, Donald Lynden-Bell y Allan Sandage en 1962, las galaxias se formaron tras el colapso de una nube de gas gigante hace unos 10.000 millones de años. Las flechas de la figura indican los movimientos del gas. Hoy sabemos que el proceso de formación de las galaxias es mucho más complejo de lo que sugiere este modelo.

En 1933, Fritz Zwicky midió las velocidades de las galaxias en un cúmulo masivo, y la gran dispersión de velocidades lo llevó a deducir que la masa del cúmulo está dominada por **materia oscura invisible**. En 1993, dos equipos de investigadores descubrieron que el Universo se expande a un ritmo acelerado. Dado que no conocemos la naturaleza de la energía que provoca esta aceleración, la denominamos **energía oscura**.

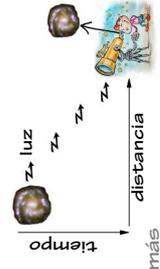
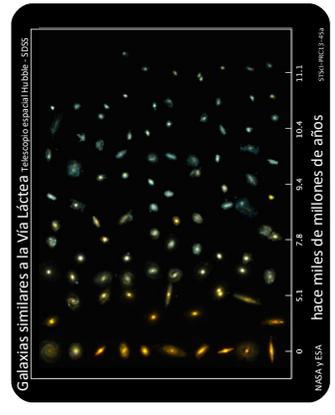


En el modelo cosmológico que describe nuestro Universo, las fluctuaciones de densidad iniciales tienen amplitudes mayores a escalas más pequeñas. Por tanto, los halos pequeños de materia oscura se forman primero y se fusionan, formando halos cada vez más grandes. La historia de la formación de un halo de materia oscura puede describirse con un **árbol de fusiones**. Como las galaxias más pequeñas están en halos pequeños, la formación de galaxias se produce de forma **jerárquica**. Sin embargo, las galaxias pequeñas formaron sus estrellas más tarde que las galaxias masivas. Esta **"reducción de tamaño"** se debe a que las galaxias masivas alcanzan antes una masa total crítica, lo que detiene la formación estelar. Por otro lado, las galaxias pequeñas pueden formar estrellas durante más tiempo, por lo que tienen historias de formación estelar más largas y poblaciones estelares más jóvenes.



El Universo Jerárquico

En el modelo cosmológico que describe nuestro Universo, las fluctuaciones de densidad iniciales tienen amplitudes mayores a escalas más pequeñas. Por tanto, los halos pequeños de materia oscura se forman primero y se fusionan, formando halos cada vez más grandes. La historia de la formación de un halo de materia oscura puede describirse con un **árbol de fusiones**. Como las galaxias más pequeñas están en halos pequeños, la formación de galaxias se produce de forma **jerárquica**. Sin embargo, las galaxias pequeñas formaron sus estrellas más tarde que las galaxias masivas. Esta **"reducción de tamaño"** se debe a que las galaxias masivas alcanzan antes una masa total crítica, lo que detiene la formación estelar. Por otro lado, las galaxias pequeñas pueden formar estrellas durante más tiempo, por lo que tienen historias de formación estelar más largas y poblaciones estelares más jóvenes.



Derecha: La luz tiene una velocidad finita. Por lo tanto, cuanto más lejos está una galaxia, más tarda en alcanzarnos la luz emitida por ella, es decir, más en el pasado la vemos. Abajo: observaciones de galaxias muy lejanas que muestran cómo eran hace mucho tiempo.



Respuestas

Las imágenes simuladas son del proyecto ilustris; las observaciones son del Sloan Digital Sky Survey. Es difícil distinguir unas de las otras, ¿verdad?



Observando el pasado

La luz viaja a una velocidad de 300.000 kilómetros por segundo, un valor alto, pero finito. La consecuencia es que las observaciones profundas del cielo **nos abren una ventana al pasado**. Con los telescopios espaciales, podemos observar galaxias tan lejanas que la luz que emiten viajó por el espacio durante unos 1.300 millones de años antes de llegar a nosotros. Por tanto, vemos estas galaxias tal y como eran hace 1.300 millones de años. En el pasado, eran más irregulares, tenían más gas y formaban estrellas a un ritmo mucho mayor que las galaxias actuales. El telescopio espacial Hubble obtuvo imágenes increíblemente nítidas de galaxias, permitiéndonos descubrir muchos aspectos de su evolución temprana. El próximo **telescopio espacial James Webb** podrá obtener imágenes de galaxias a distancias mucho mayores, permitiéndonos observar las primeras galaxias!

El Universo en mi bolsillo nº 23

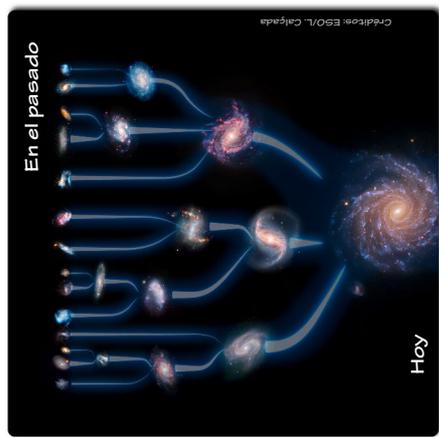
Este librito fue escrito en 2021 por Marina Trevisan de la Universidad Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, Brasil) y revisado por Allan Schnorr-Müller (UFRGS, Brasil) y por Gary Mamon (Institut d'Astrophysique de Paris, Francia).

Imagen de portada: una galaxia espiral en la actualidad, hace 4.000 millones de años, y hace 1.100 millones de años. Crédito: NASA, ESA.



Para saber más sobre esta serie y sobre los temas presentados en este librito, visite <http://www.tuimp.org>

Traducción: Mónica Rodríguez TUIMP Creative Commons



En el modelo jerárquico de formación de galaxias, las galaxias más pequeñas se forman primero y se fusionan para formar galaxias cada vez más grandes. El **árbol de fusiones** de la figura ilustra el proceso. Los modelos indican que cuanto más grande es la galaxia, mayores es la fracción de estrellas adquiridas a través de fusiones con sistemas **más pequeños**.

Un universo de galaxias

En 1924, Edwin Hubble demostró que las nebulosas espirales observadas eran galaxias similares a nuestra Vía Láctea*. Pasaron 30 años antes de que aparecieran los primeros modelos para explicar la formación de estos objetos, por lo que nuestros conocimientos sobre este tema son muy recientes. La teoría actual sobre la formación y evolución de las galaxias se construye en el marco cosmológico de materia oscura fría-lambda. En este contexto, el Universo tiene tres componentes principales: el 28% es materia oscura fría, el 70% es energía oscura y sólo el 4% es materia normal, como la que conocemos (llamada materia bariónica). La proporción entre estos componentes determina cómo se forman y evolucionan las estructuras del Universo. Sin embargo, hasta ahora no sabemos qué son los componentes oscuros.