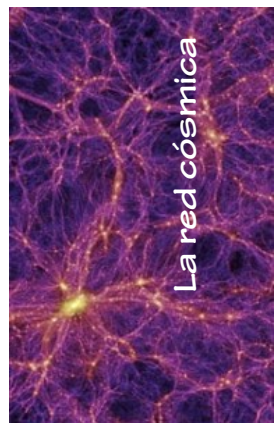
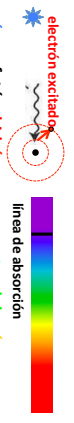


Françoise Combes  
Observatorio de París

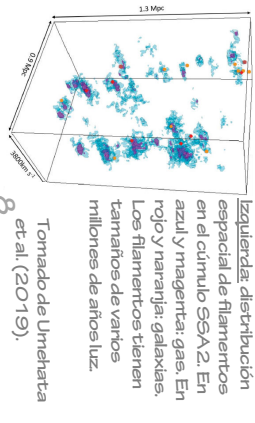


### El Universo en mi bolsillo



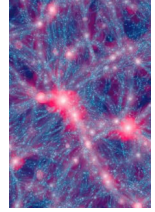
Los fotones energéticos procedentes de un cuásar pueden llegar a excitar un átomo de hidrógeno. Los fotones absorbidos crean una línea de absorción en el espectro del cuásar.

Cada nube de gas entre el cuásar y nosotros absorbe los fotones cuya longitud de onda corresponde al corrimiento al rojo de la nube.



Tomada de Umehata et al. (2019).

Respuestas al dorso

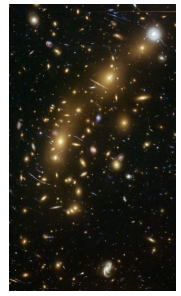


Una red tejada por una araña

- Galaxias alineadas
- Filamentos cósmicos

Identifica la imagen que muestra:

### Test



### El gas de los filamentos

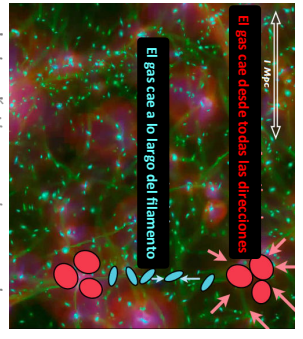
Hasta hace poco los filamentos cósmicos solo se detectaban por las galaxias que contienen. Sin embargo, los filamentos también contienen materia oscura invisible y gas difuso. Los átomos de hidrógeno del gas absorben la luz de cuásares lejanos, lo que nos permite construir mapas de la distribución de los filamentos (ver p. 8). El gas de los filamentos también puede detectarse en emisión cuando es excitado por estrellas calientes o cuásares. Se han detectado halos de gas alrededor de 270 galaxias a corrimientos al rojo entre 3 y 6. Este descubrimiento de un grupo de astrónomos europeos se debe a la sensibilidad extrema del instrumento MUSE en el Telescopio Muy Grande del Observatorio Europeo del Sur (ESO).

### 13

numéricas.

### La orientación de las galaxias

Las galaxias de distinto tipo tienden a encontrarse en sitios distintos. En los cúmulos, solemos encontrar galaxias elípticas masivas en la intersección de los filamentos. Estas galaxias contienen solo estrellas viejas (por lo que su color es rojo). Dentro de los filamentos mismos, solemos encontrar galaxias espirales. En estas galaxias cae gas frío con el cual forman estrellas; esto les da su característico color azul.

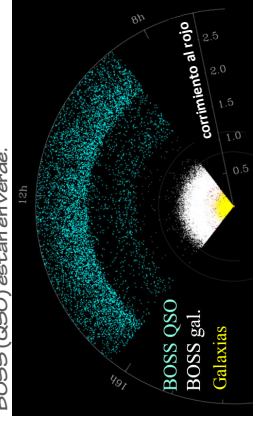


Las galaxias elípticas masivas, en rojo, se concentran en la intersección de los filamentos. Las galaxias espirales, en azul, se encuentran dentro de los filamentos.

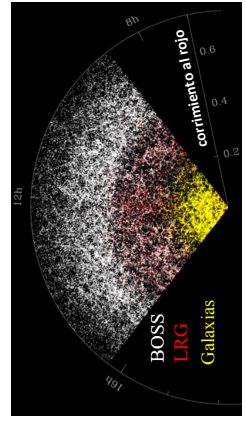
Los ejes de rotación de las galaxias espirales están alineados con los filamentos. La fusión de galaxias espirales forma galaxias elípticas, con ejes perpendiculares a los filamentos.

\*Ver TUIMP 12.

### 4



La muestra principal de galaxias SDSS está en amarillo. Las galaxias rojas luminosas (LRG) están en rojo, y las galaxias del proyecto BOSS en blanco. Los cuásares de BOSS (QSO) están en verde.



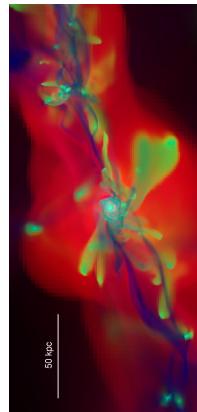
### Mapeos más profundos

La muestra principal de galaxias SDSS tiene un corrimiento al rojo promedio de  $z = 0.1$ , equivalente a una distancia de 1,500 millones de años luz. La muestra de galaxias rojas luminosas llega hasta  $z = 0.7$ . El proyecto BOSS sube hasta  $z = 1$  (22,000 millones de años luz). Con los cuásares, que brillan más que las galaxias, se alcanza  $z = 5$  (155,000 millones de años luz). Como era de esperar, el Universo tiene menos estructura a mayores distancias, cuando era más joven\*. Los cúmulos de galaxias se forman en  $z = 2$  (3,300 millones de años tras el Big Bang). La estructura de filamentos y queso suizo estaba ya presente en esos tiempos, pero era menos pronunciada que hoy en día.

### Laniakea: nuestro supercúmulo

Nuestra Galaxia está en el borde de un supercúmulo de galaxias descubierto en 2014 y llamado Laniakea. Es una estructura que se está dispersando lentamente. Mide 500 millones de años luz y contiene más de cien mil galaxias. Para detectar Laniakea, fue necesario medir las distancias a las galaxias con métodos que no usan velocidades radiales o la ley de Hubble-Lemaître\*. De hecho, las velocidades radiales de las galaxias, junto con el componente de expansión cosmológica, están afectados por perturbaciones debidas a la atracción gravitatoria que ejercen las galaxias entre sí. Este efecto permite saber si una galaxia tiene una conexión dinámica con otras y pertenece por tanto al mismo grupo.

\*Ver TUIMP 12.



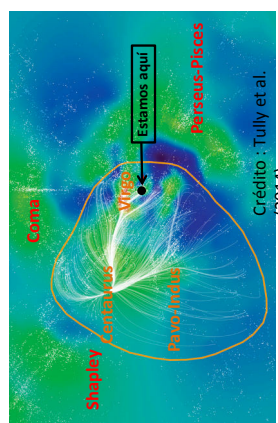
Resultado de una simulación numérica\* de Agertz et al. (2009) que muestra la caída de gas frío sobre galaxias en filamentos cósmicos y la eyección de gas enriquecido en elementos pesados producidos en estrellas. **En azul, gas frío. En rojo, halo de gas a una temperatura muy alta. En verde, el gas eyeccionado por las galaxias.**

\*Una simulación numérica es un cálculo realizado en una computadora que busca representar un sistema real tomando en cuenta las leyes de la física. Por ejemplo, se puede simular el flujo de un río, la formación de una galaxia, etc. Las simulaciones pueden necesitar meses de cálculo incluso en las computadoras más rápidas.

### Bariónes en los filamentos

Al contrario de lo que podríamos pensar, gran parte de la materia ordinaria (bariones) está en las galaxias. El Universo tiene un 5% de bariones, un 25% de materia oscura y un 70% de energía oscura. La fracción de bariones en la materia es por tanto  $100 \times 5 / (25 + 5) = 17\%$ . Se ha encontrado que la fracción de bariones dentro de las galaxias no supera el 3%. Más del 80% de los bariones se encuentran afuera, y pensamos que fueron eyeccionados por supernovas en galaxias de baja masa y por núcleos activos\* en galaxias más masivas. Estas eyecciones enriquecen el medio intergaláctico con elementos pesados producidos por las estrellas, como carbono, oxígeno y hierro.

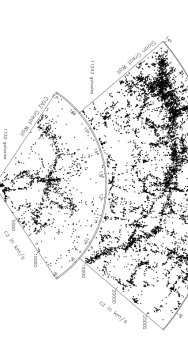
\*Ver TUIMP 6.



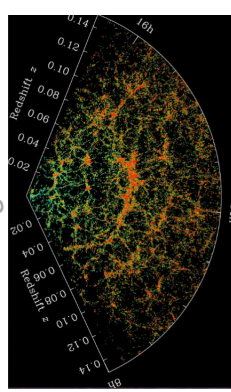
Una representación del supercúmulo local Laniakea, que significa "cielo inmenso" en hawaiano. Se nombró en honor de los navegadores polinesios que usaron su conocimiento del cielo para navegar en el océano Pacífico.

Nuestra Galaxia está cerca del punto negro central. Las galaxias se muestran con puntos blancos. Las líneas blancas indican las direcciones de movimiento de las galaxias. Las áreas azules son vacíos cósmicos. La línea naranja marca el supercúmulo Laniakea. Los cúmulos de Coma y Perseus-Pisces no forman parte de Laniakea.

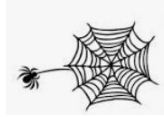
Tajada del Universo, basada en el mapeo de CfA2. Cada punto es una galaxia. Puede verse un gran "muro" de galaxias. Crédito: Richard Gott



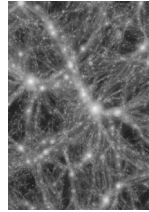
Tajada del Universo, basada en el mapeo de SDSS en 2000. Pueden verse "muros" incluso más grandes que los del CfA2.



## Respuestas



Una telaraña.



Simulación de la red cósmica.

### El Universo en mi bolsillo No. 13

Este libro fue escrito en 2020 por Françoise Combes del Observatorio de París (Francia).

Imagen de portada: Simulación numérica de la distribución de materia oscura en la red cósmica. Los colores más claros indican mayores densidades. Las galaxias se forman a lo largo de los filamentos, y los cúmulos de galaxias en las intersecciones de los filamentos. Esta simulación forma parte del proyecto Millennium. Crédito: Springel et al. (2005).



Para saber más sobre esta serie y sobre los temas presentados en este libro, por favor visita <http://www.tuimp.org>

Traducción: Mónica Rodríguez TUIMP Creative Commons



### Estructura del Universo cercano

En 1925 hubo un gran debate, el cual concluyó que existen galaxias afuera de nuestra Vía Láctea. Pronto se hicieron grandes mapas de tales galaxias. Se descubrió que el Universo "cercano" no es homogéneo sino que consta de cúmulos de galaxias más o menos aplanados con una estructura de queso suizo, con grandes vacíos incluidos. Esto se conoce como red cósmica.

El mapeo CfA2, a finales del siglo 20, fue el primer mapeo en "volumen", pues proporcionaba tanto las posiciones de las galaxias como sus distancias (mediadas con los desplazamientos al rojo\*). Llevó diez años observar 18000 galaxias. Los espectrógrafos del siglo 21 permiten observar cientos de galaxias a la vez y realizar mapas de millones de galaxias. Tales mapas incluyen el 2df hecho en Australia y el SDSS de EEUU.

\*Corrimiento al rojo de las líneas espectrales; ver TUIMPs 2 y 12.