

El Universo del bajo brillo superficial se considera la última frontera de la astronomía óptica: objetos con las densidades estelares más bajas, ocultos en los grandes cartografiados del cielo y de los que sabemos muy poco gracias a observaciones más específicas.

Esta disciplina ha ganado 'visibilidad' en los últimos años gracias a su potencial para entender la física que reina en nuestro Universo. Desde la formación y evolución de galaxias y cúmulos de galaxias hasta la naturaleza de la materia oscura, las oportunidades que el estudio de este campo nos depara transformarán cómo vemos y entendemos nuestro Universo.



Mireia Montes Quiles
ICE-CSIC/IAC
mireia.montes@iac.es
[@mireiamontesq](https://www.instagram.com/mireiamontesq)

Acompáñame en un viaje a 1995. Ese año, con un reparado y brillante nuevo telescopio espacial Hubble, el director del Space Telescope Science Institute en aquellos tiempos, Robert Williams, decidió dedicar 100 horas de su tiempo de director a observar una zona del cielo relativamente vacía. Visto desde nuestra perspectiva actual, parece una idea muy obvia. Sin embargo, fue muy criticada y astrónomos del calibre de Bahcall y Lyman Spitzer Jr. se opusieron firmemente. No creían que se pudiera ver mucho más allá de lo que se había visto hasta la fecha y que dedicar tanto tiempo a observar "nada" era muy arriesgado tanto científicamente como políticamente, ya que el telescopio Hubble no tenía muy buena prensa en aquel momento.

Y, sin embargo, la astronomía no sería la misma sin el resultado de ese experimento: el Hubble Deep Field. Vimos, por primera vez, las galaxias más distantes y jóvenes, y pudimos entender mejor la evolución de galaxias. Tanto éxito tuvo, que no tardaron mucho en repetirlo en otros campos: el Hubble Deep Field Sur (el primero era el Norte), el Hubble Ultra Deep Field (Fig. 1) y los Frontier Fields.

Pero las imágenes muy profundas no sólo sirven para revelar galaxias distantes. Cuando tenemos imágenes muy profundas de objetos más cercanos empezamos a ver detalles que sólo pueden verse a muy bajo brillo superficial. De repente, aparecen arcos gigantes alrededor de galaxias, filamentos de polvo de nuestra galaxia inundan la imagen y observamos que el espacio entre galaxias en cúmulos no está tan vacío como pensábamos. Este es el llamado universo de bajo brillo superficial. La última frontera que queda en observaciones en el óptico/infrarrojo cercano. Y, como en el caso del Hubble Deep Field, no mucha gente creía en ello hasta hace relativamente poco.

Este campo abarca varias ramas de la Astronomía como, por ejemplo: el estudio de la luz zodiacal en el sistema solar, estructuras débiles alrededor de estrellas evolucionadas que revelan interiores estelares y los filamentos de polvo de nuestra galaxia (cirros galácticos) para el estudio del medio interestelar. Pero ha sido en astronomía extragaláctica donde este campo ha destacado más, tanto por los resultados obtenidos como en número de investigadores.

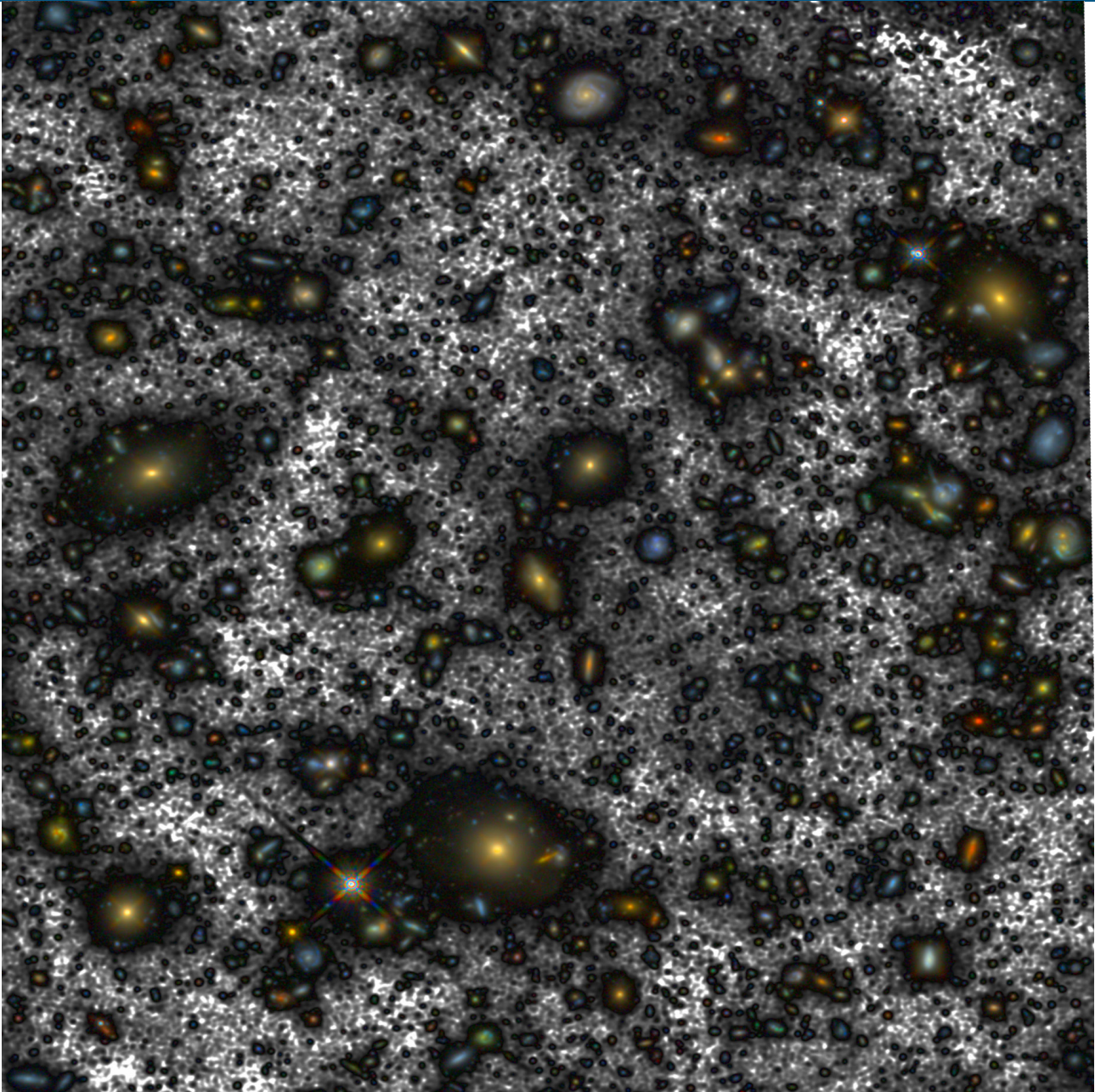


Figura 1. ABYSS: Una nueva visión del Hubble Ultra Deep Field bajo la lente del bajo brillo superficial. Borlaff et al. (2019).

UN UNIVERSO DE GALAXIAS EXÓTICAS

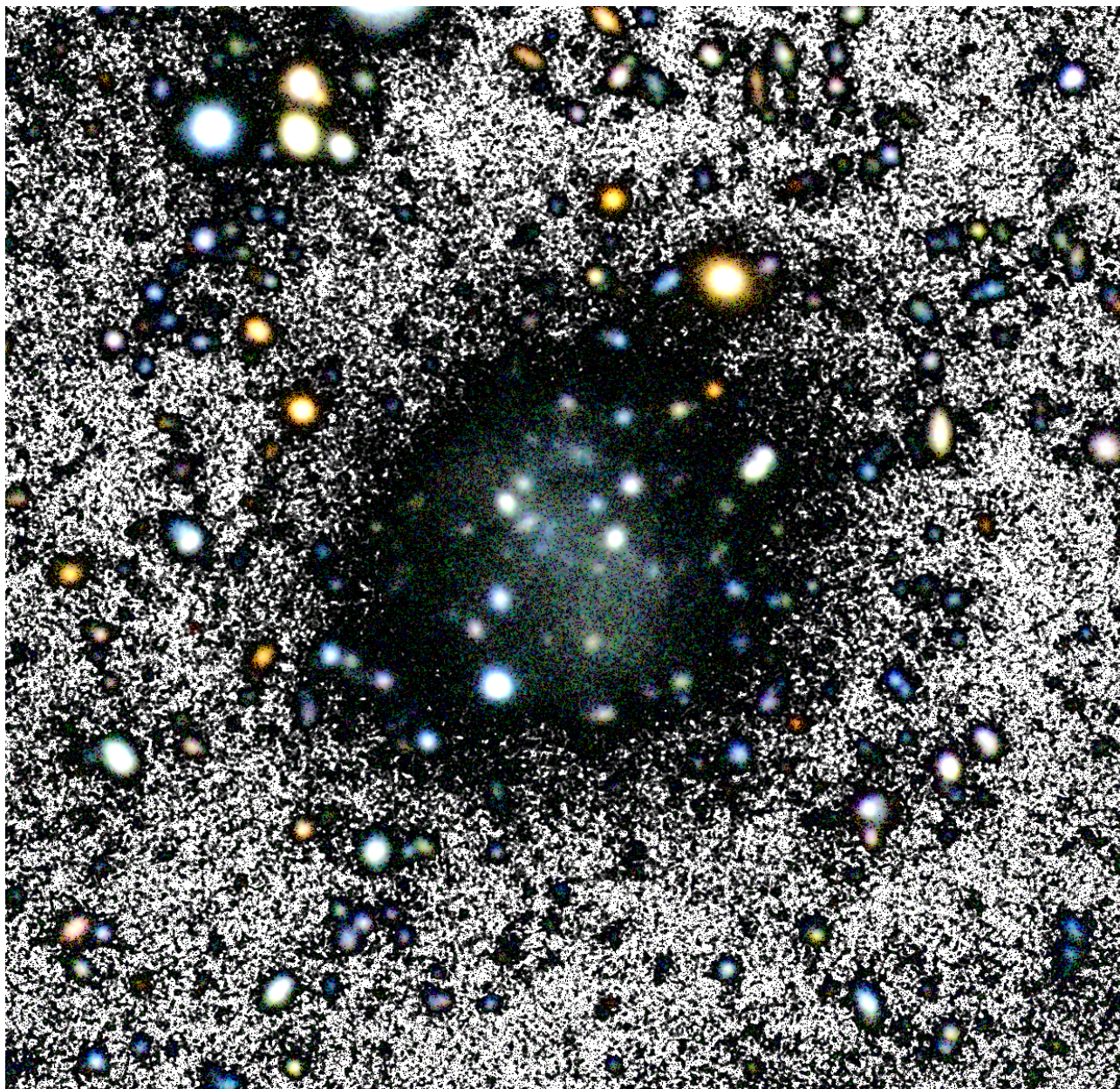
Las galaxias de bajo brillo superficial, galaxias enanas básicamente, son las más numerosas y también las que de forma rutinaria estamos perdiendo en los cartografiados de gran campo. El estudio de estas galaxias, su número y sus propiedades, promete darnos pistas sobre cómo funciona la física de nuestro Universo. Conocer sus propiedades nos da

información sobre su formación, sobre la formación estelar en halos poco masivos y en densidades bajas. Además, éste es el rango de masas donde vemos discrepancias entre el número de galaxias observado y lo que predicen nuestros modelos cosmológicos. ¿No vemos estas galaxias o no están allí? Sólo observaciones profundas de grandes áreas del cielo pueden darnos la respuesta.

Aquí entramos en todo un zoológico de objetos curiosos, extraños, todo un Universo que espera ser descubierto. Como, por ejemplo, galaxias que desafían nuestro entender de lo que es una galaxia. Estas son las llamadas galaxias “oscuras”, objetos compuestos por gas y materia oscura pero muy pocas

estrellas, si acaso alguna, y por lo tanto muy difíciles de encontrar. Un ejemplo de galaxia “casi oscura” está en la Fig. 2. De nuevo, necesitamos observaciones de grandes áreas del cielo para poder buscarlas. ¿Seremos capaces de encontrarlas? ¿Qué otras sorpresas, galaxias curiosas, nos esperan?

Figura 2. La galaxia Nube, una galaxia casi oscura que es diez veces más débil y tres veces más extendida que galaxias de masas similares. Sus propiedades son difíciles de explicar con el modelo cosmológico actual. Montes et al. (2024).



GALAXIAS SIN LÍMITE

Imágenes cada vez más profundas revelan que lo que sabemos de las galaxias viene dado por la profundidad de la imagen que estamos viendo. Su forma, sus propiedades, cambian cuando las analizamos a brillos superficiales cada vez más bajos.

Es difícil saber dónde terminan las galaxias; yendo un poco más profundo vemos que aún siguen apareciendo estrellas. Pero sabemos que existe un límite o borde físico que viene dado por las últimas estrellas que la galaxia es capaz de formar, es decir, la densidad mínima del gas para ser capaz de formar estrellas. Un límite que nos da información importante: su posición viene dada por la fuerza de la gravedad total de la galaxia, es decir, por el halo de materia oscura que la rodea.

¿Y qué hay más allá de ese límite? Es lo que conocemos como el halo estelar, donde quedan registradas todas las interacciones que dan forma a las galaxias. Es ahí donde vemos los majestuosos arcos envolviendo las galaxias, arcos que describen el halo de materia oscura en el que la galaxia habita. Y según las simulaciones, solo estamos viendo la punta del iceberg; nos estamos perdiendo la mayor parte del rico tapiz de estos halos estelares. La cantidad de luz en estos halos nos habla de la historia de la galaxia, de la cantidad de satélites que ha acreetado y, por lo tanto, de la naturaleza de la materia oscura.

UNA LUZ FANTASMAL QUE PERMEA EL ESPACIO ENTRE LAS GALAXIAS

En un Universo en el que solo tenemos unas pocas fotografías de su evolución, el tener un registro de todo lo que ha pasado anteriormente es un bien muy preciado. En cúmulos de galaxias este registro se llama luz intracumular, como podemos ver en la Fig. 3 y 4. La historia pasada del cúmulo está escrita ahí, esperando que la descubramos. Este brillo está formado por estrellas liberadas debido a las interacciones gravitacionales entre galaxias en el cúmulo. Estudiando las características de esta luz, cantidad y color, podemos descubrir cómo ha sido el pasado de los cúmulos y entender la formación de las estructuras más masivas del Universo ligadas por la gravedad. Esta luz también nos ayuda a ver la distribución de materia oscura del cúmulo de galaxias. Forma un velo extendido que habita en las regiones donde la

materia oscura domina. Como una especie de purpurina cósmica que resalta todos los recovecos del cúmulo. La distribución de materia en un cúmulo viene dada por las propiedades de la materia oscura, y tener un trazador luminoso nos asegura poder, por fin, entender esta sustancia tan elusiva.

Nuestros modelos teóricos están calibrados para reproducir sólo lo que hemos podido ver hasta la fecha, y el estudio de objetos de bajo brillo superficial nos permite completar nuestra comprensión de la física de nuestro Universo. Para ello es necesario poder explorar el Universo sistemáticamente a brillos más débiles de 30 mag/arcsec² y poder detectar las estructuras más débiles.

EL BAJO BRILLO SUPERFICIAL CON MARCA ESPAÑOLA

Aparte de unos pocos trabajos con placas fotográficas, fue la entrada de cámaras CCD que permitió acceder a estas estructuras de bajo brillo. En los años 2000 empiezan a haber estudios más sistemáticos, pero no es hasta la década pasada, 2010s, que este campo surgió con fuerza y con el nombre propio que merece.

Para estudiar estructuras de bajo brillo superficial no es suficiente con tener imágenes profundas, no. Es necesario saber procesar esas imágenes para exprimir toda la información posible y no introducir sesgos. Todo el trabajo de décadas anteriores, todo ese conocimiento que poco a poco ha ido encajando en una especie de puzzle técnico que es capaz de revelar paisajes cósmicos impensables sólo unos pocos años antes.

Los avances hechos, y los que hay por hacer, tienen una marcada contribución de investigadores españoles. No estaría escribiendo este artículo de no ser por los trabajos pioneros con astrónomos amateur de David Martínez-Delgado. El récord de imagen profunda desde tierra lo ostenta Ignacio Trujillo y el del espacio es de Alejandro S. Borlaff. Y no termina ahí: el primer estudio de colores de cirros en el óptico de Javier Román, las poblaciones estelares de galaxias ultradifusas de Anna Ferré-Mateu, la identificación de bordes de galaxias cercanas de Cristina Martínez-Lombilla y a alto redshift de Fernando Buitrago, fracciones de luz intracumular para identificar cúmulos de galaxias fusionándose de Yolanda Jiménez-Teja y el origen de la luz intracumular y cómo traza la materia oscura de una servidora. Y gente que no he nombrado pero que, sin sus

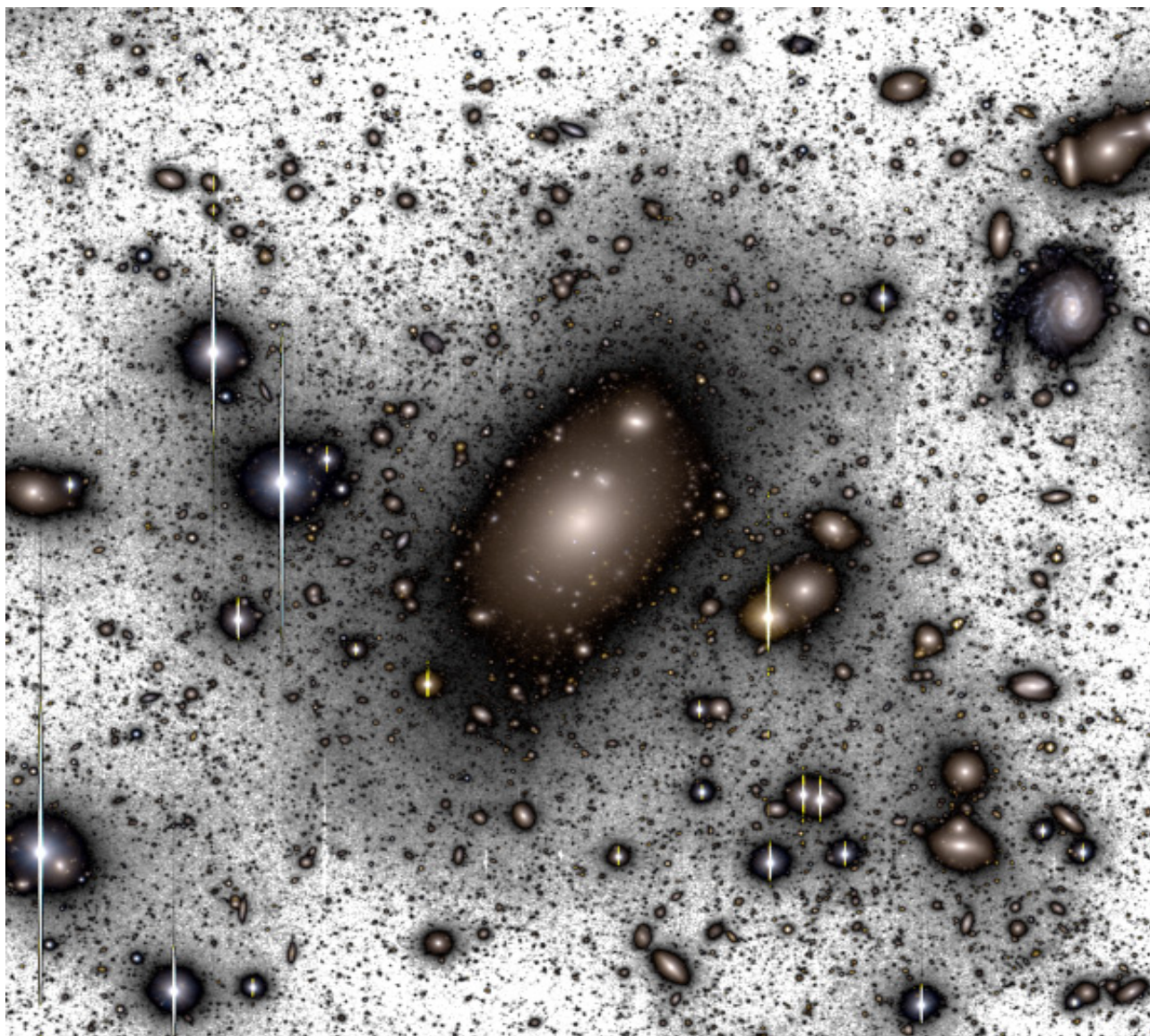


Figura 3. Luz intracumular en el cúmulo de galaxias Abell 85, visto por la Hyper Suprime-Cam del telescopio Subaru. Montes et al. (2021).

habilidades técnicas, todo este trabajo sería imposible. Y los que están por venir. La mayoría investigadores jóvenes, un capital humano que no deberíamos perder.

A pesar de todos estos estudios y de todo el conocimiento que hemos ido ganando con el tiempo, los avances en este campo han sido lentos debido a la escasez de imágenes ultraprofundas y de calidad, cubriendo grandes áreas, necesarias para producir

muestras estadísticamente significativas y homogéneas. Por eso el gran interés que despiertan misiones como Euclid, el telescopio espacial Roman y el cartografiado LSST con el telescopio Vera Rubin. Sin embargo, estos cartografiados no han sido diseñados con el bajo brillo superficial en mente. Por eso mismo, muchos de nosotros trabajamos en varias de ellas, o incluso en las tres, para intentar mejorar el procesado de los datos y preservar la luz difusa que intentamos estudiar.

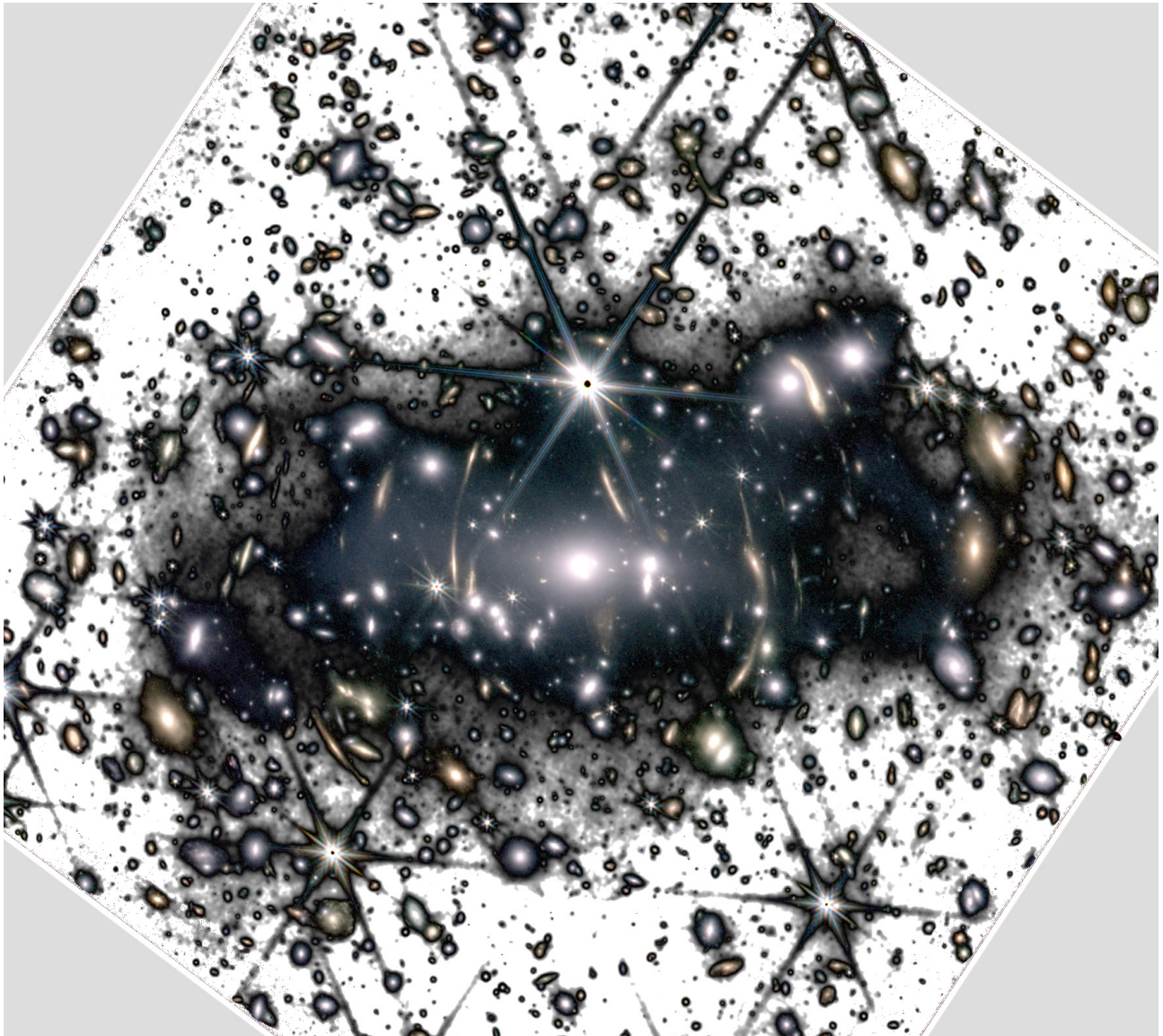


Figura 4. Las primeras imágenes públicas del telescopio espacial James Webb revelan el brillo difuso de la luz intracumular. Montes & Trujillo (2022).

Por supuesto, nuestro ojo derecho es la misión espacial ARRAKIHS, la primera misión liderada por España y dedicada totalmente al estudio del bajo brillo superficial. Por fin, en una misión tenemos la combinación perfecta de: imagen ultraprofunda, una estrategia observacional óptima y un procesado de datos cuidadoso. Gracias a ARRAKIHS, poder entender los halos de galaxias y la función de luminosidad a bajas masas está un poco más cerca.

El Universo del bajo brillo superficial está en la encrucijada entre astrofísica y cosmología. Abre una ventana, aunque entre poca luz, al estudio de la formación y evolución de estructura y la naturaleza última de la materia oscura. En los próximos años, gracias a los nuevos cartografiados ultraprofundos, nuestro conocimiento del Universo se transformará y podremos responder a muchas de las preguntas cuyas respuestas siguen, por ahora, escondidas en las sombras.