

# LOS PRINCIPALES RESULTADOS DE DESI

El instrumento DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument) [1, 2] representa uno de los mayores esfuerzos actuales en cosmología observacional. Su objetivo principal es medir con una precisión sin precedentes la historia de la expansión del universo y, con ello, arrojar luz sobre la naturaleza de la energía oscura, el componente responsable de su aceleración. Instalado en el telescopio Mayall de 4 metros en Kitt Peak (Arizona), DESI está construyendo un mapa tridimensional del cosmos que abarca decenas de millones de galaxias y cuásares. En este proyecto internacional, el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) desempeña un papel clave, tanto en el desarrollo instrumental como en la interpretación teórica de los datos.



Elena Fernández García  
*@elenafg0*

Francisco Prada  
*f.prada@csic.es*

Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC)

## LA INGENIERÍA DE PRECISIÓN: LOS OJOS DE DESI

Uno de los elementos más innovadores de DESI es su sistema de posicionadores robóticos de fibra óptica. Este sistema constituye el núcleo del instrumento y es responsable de capturar la luz de los objetos celestes que se quieren estudiar.

DESI cuenta con 5.000 robots individuales, cada uno equipado con una fibra óptica [1, 3, 4]. Estos robots están distribuidos sobre el plano focal del telescopio, cubriendo un campo de visión de 3.2 grados. Para ponerlo en contexto, esto equivale a unas 40 lunas llenas en el cielo, lo que permite observar grandes regiones del universo en cada exposición.

Cada robot puede moverse con una precisión extraordinaria, del orden de micras, para alinearse exactamente con una galaxia o cuásar. Este nivel de precisión es fundamental. Una desviación mínima podría significar perder la señal de un objeto extremadamente débil o contaminar la medida con luz de otra fuente cercana.

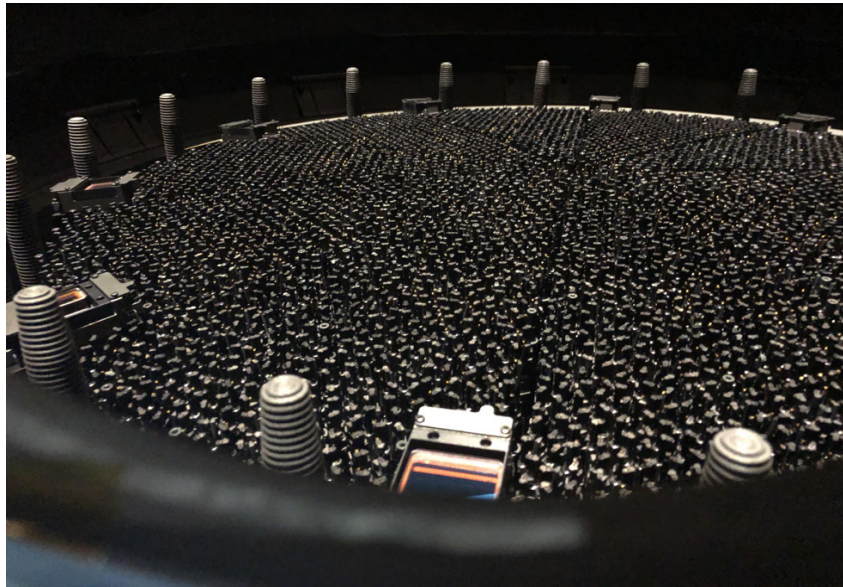
El IAA-CSIC tuvo un papel protagonista en el desarrollo de estos dispositivos. El equipo participó en el diseño mecánico, la electrónica y los sistemas de control. Además, lideró la fase de prototipado y validación, donde se sometieron los robots a pruebas intensivas para asegurar su funcionamiento fiable en condiciones reales.

Uno de los mayores retos fue coordinar el movimiento simultáneo de miles de robots. Era necesario evitar colisiones, minimizar errores de posicionamiento y garantizar tiempos de operación rápidos. Todo esto debía lograrse de forma automatizada y repetible noche tras noche.

Gracias a este sistema, DESI puede obtener espectros de hasta 5.000 objetos a la vez. Esto supone una mejora radical en eficiencia respecto a instrumentos anteriores, que solo podían observar unos pocos cientos simultáneamente.

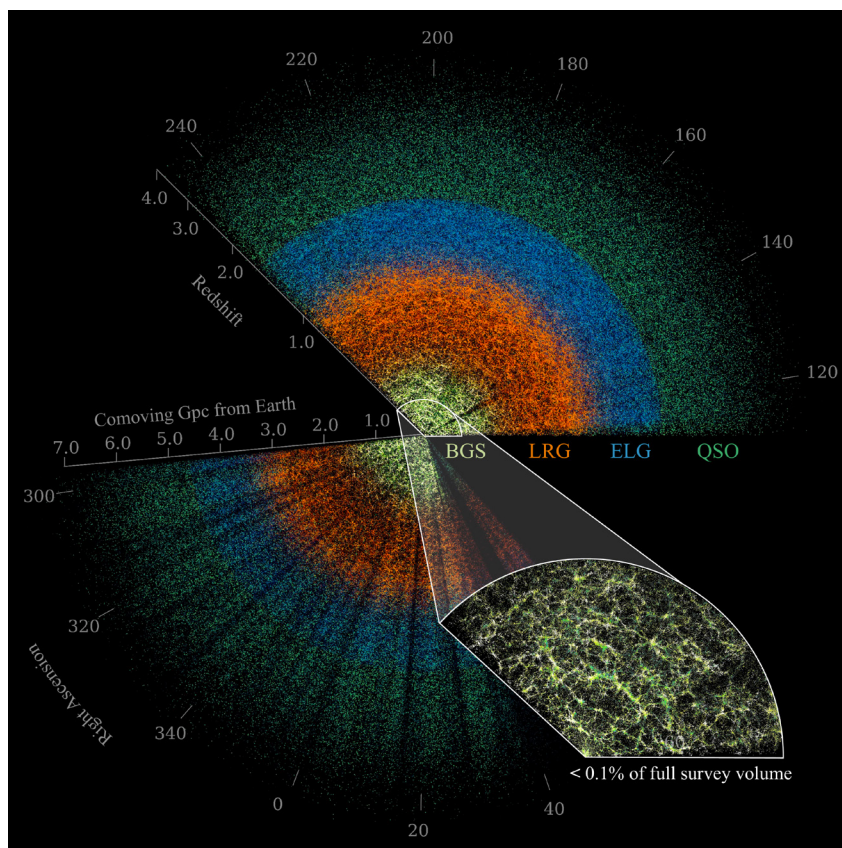
El programa observacional se organiza en distintos modos. Durante el llamado “tiempo oscuro”, se observan galaxias lejanas y débiles, como las Luminous Red Galaxies (LRG) o las Emission Line Galaxies (ELG). En “tiempo brillante”, se estudian objetos más cercanos y luminosos, como los de la muestra Bright Galaxy Sample (BGS) [5, 6, 7, 8].

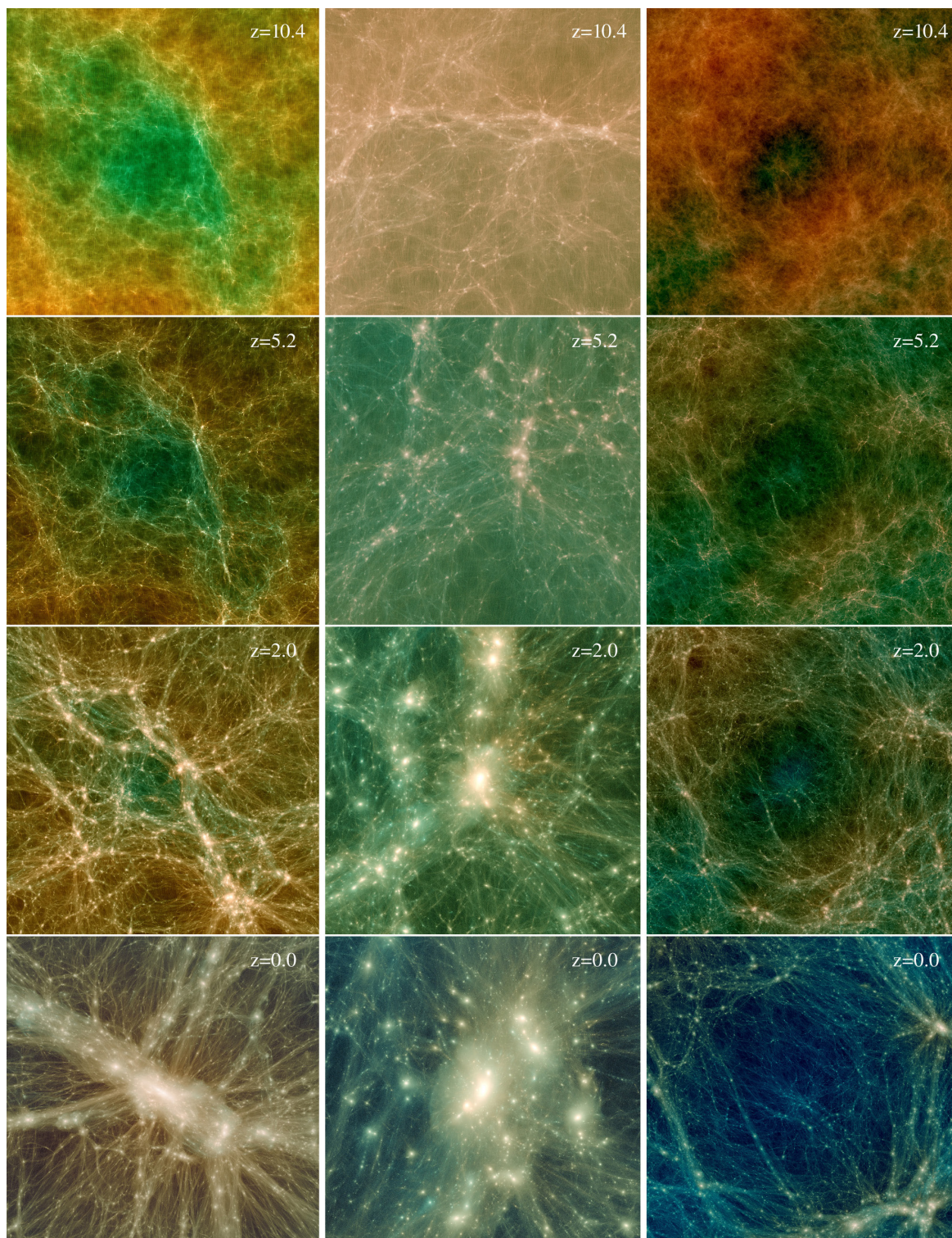
# Y LA CONTRIBUCIÓN DEL IAA-CSIC



Las 5.000 fibras ópticas de DESI. Imagen sacada de <https://www.ieec.cat/en/desi-opens-its-5000-eyes-to-capture-the-colors-of-the-cosmos/>

Corte del universo de DESI DR1 mostrando una cuña estrecha ( $\pm 5^\circ$  en declinación) hasta  $z \approx 4$ . Los trazadores de galaxias (BGS, LRG, ELG, QSOs) están codificados por color, resaltando la estructura a gran escala y las regiones aún incompletas del sondeo. Imagen sacada de <https://arxiv.org/pdf/2503.14745>.





Evolución de tres entornos de la suite de simulaciones Uchuu. Se indica el corrimiento al rojo en cada panel:  $z = 10.4, 5.2, 2.0$  y  $0.0$  (de arriba a abajo). Los entornos son: izquierda, el halo más masivo de Uchuu; centro, un halo tipo Vía Láctea de Shin-Uchuu; derecha, un vacío seleccionado a ojo en Shin-Uchuu. Los tamaños laterales son  $38, 2.3$  y  $35 h^{-1}$  Mpc, respectivamente. Créditos: <https://arxiv.org/abs/2007.14720>.

Esta flexibilidad permite aprovechar al máximo cada noche de observación y construir el mapa del universo de forma sistemática y eficiente.

### UCHUU: UN UNIVERSO SIMULADO

Observar el universo es solo una parte del trabajo. Para extraer conclusiones físicas, es imprescindible comparar los datos con modelos teóricos. Aquí es donde entra en juego Uchuu [9].

Uchuu es una simulación cosmológica de gran escala diseñada para reproducir la evolución de la materia oscura en el universo. Utiliza aproximadamente 2,1 billones de partículas en un volumen enorme, lo que permite capturar tanto estructuras grandes como detalles finos.

El objetivo de Uchuu es actuar como un “gemelo digital” del universo. Es decir, un entorno controlado donde se pueden probar teorías y comparar directamente con las observaciones de DESI.

El IAA-CSIC lidera este esfuerzo, desarrollando herramientas para convertir la simulación en catálogos de galaxias comparables con los datos reales.

Para ello se utiliza una técnica conocida como Subhalo Abundance Matching (SHAM) [10, 11]. Este método establece una relación entre halos de materia oscura y galaxias observadas. En términos simples,

asigna galaxias a estructuras simuladas en función de propiedades como la masa o la luminosidad.

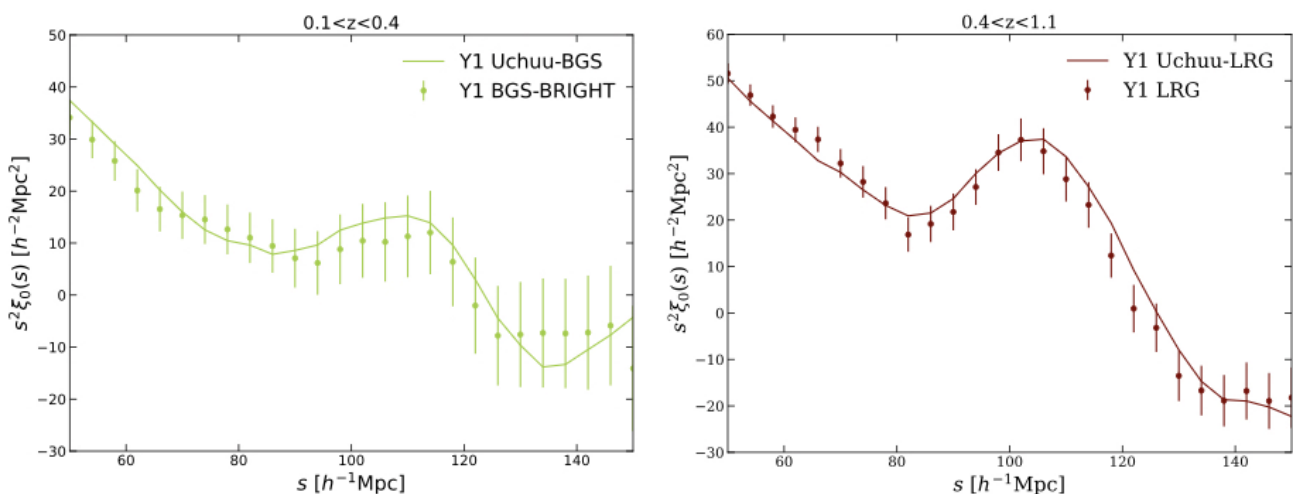
Por ejemplo, en la muestra BGS se trabaja con magnitudes absolutas, mientras que en las LRG se utilizan estimaciones de masa estelar [12]. Estas propiedades se relacionan con parámetros del halo, como la velocidad circular máxima.

El resultado es una reconstrucción muy realista de la distribución de galaxias. Los catálogos generados reproducen con gran precisión el patrón de agrupamiento observado en el universo.

Esta concordancia no es un detalle menor. Es lo que permite confiar en que los modelos utilizados son adecuados para interpretar los datos.

Además, estos catálogos tienen múltiples aplicaciones prácticas. Sirven para validar métodos de análisis, probar estrategias de observación y estudiar posibles sesgos en los datos.

Un aspecto especialmente importante es la estimación de errores. Para ello se utiliza la suite GLAM-Uchuu, que genera miles de realizaciones independientes. Estas permiten calcular matrices de covarianza, fundamentales para cuantificar la incertidumbre en las medidas cosmológicas.



Monopolo de la función de correlación de dos puntos para Uchuu-BGS (líneas) y BGS-BRIGHT Y1 (puntos) en  $0.1 < z < 0.4$  (panel izquierdo), y para Uchuu-LRG y LRG Y1 en  $0.4 < z < 1.1$  (panel derecho). Imagen sacada de [12].

Todo el análisis de DESI y las simulaciones cosmológicas utilizadas para la construcción de las matrices de covarianza se han realizado en nuestro servidor Skun6 del IAA-CSIC. Asimismo, los productos derivados de estas simulaciones están disponibles a través de Skies & Universes (<https://www.skiesanduniverses.org/>), una plataforma desarrollada y gestionada por nuestro colaborador José Ruedas (IAA-CSIC).

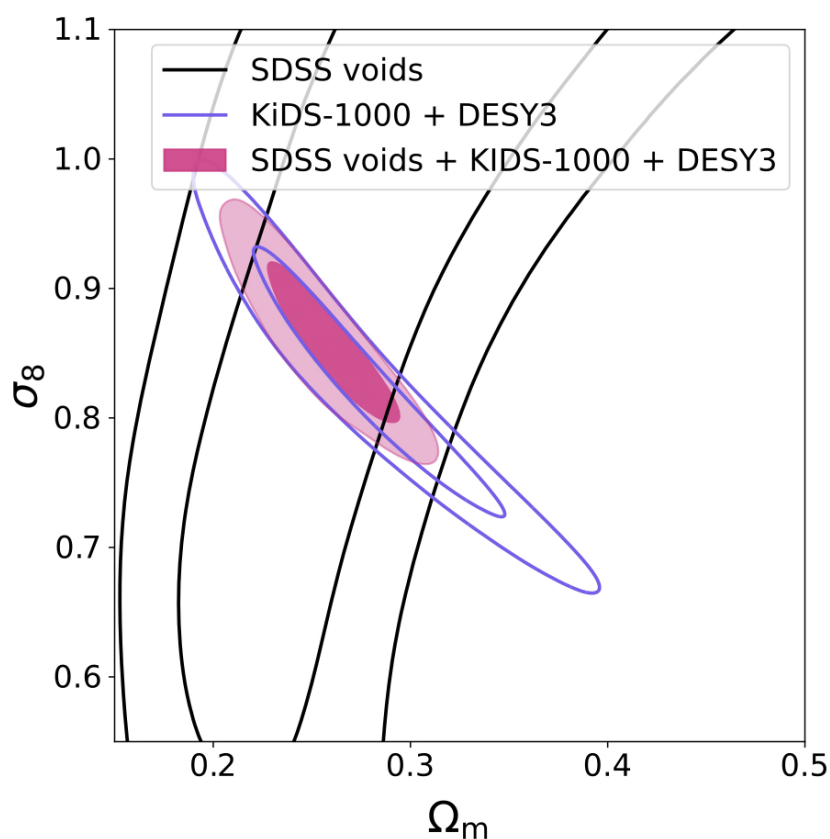
### EL PODER DE LO VACÍO: LOS VACÍOS CÓSMICOS

Aunque gran parte de la cosmología se centra en galaxias y cúmulos, existe otra estructura igualmente importante: los vacíos cósmicos. Los vacíos son regiones extensas del universo con una densidad de galaxias muy baja en comparación con la densidad promedio del universo. Lejos de ser irrelevantes, estas zonas contienen información muy

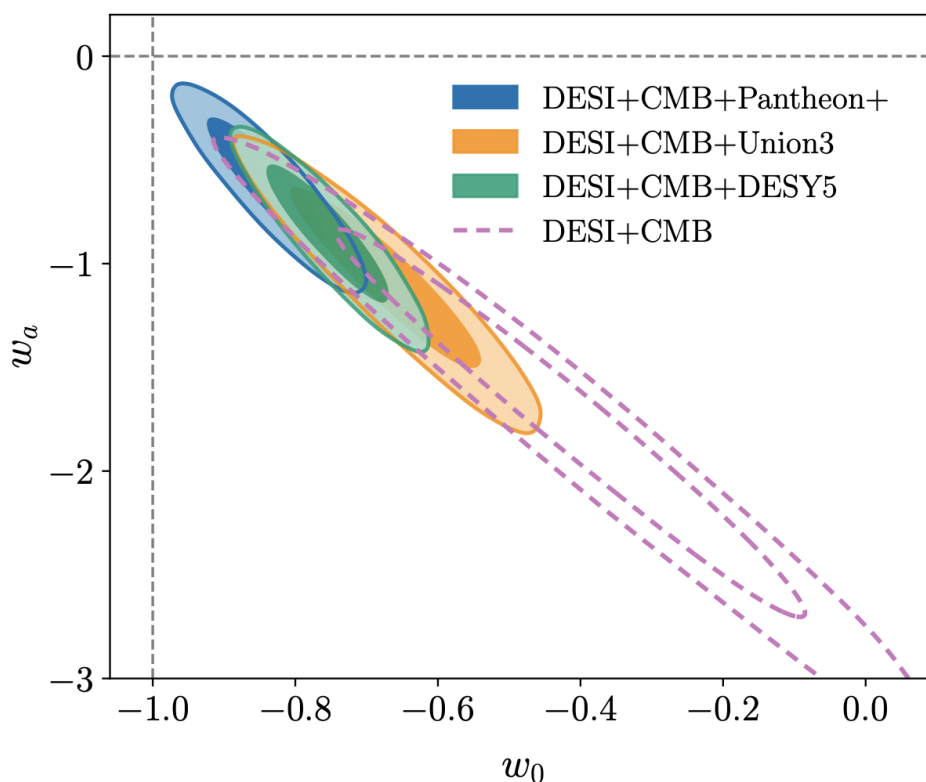
sensible a los parámetros cosmológicos. Una de sus ventajas es que están menos afectadas por procesos astrofísicos complejos. Esto las convierte en laboratorios más limpios para estudiar la expansión del universo.

El IAA-CSIC, en colaboración con el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), está desarrollando modelos teóricos para describir la abundancia y distribución de estos vacíos [13]. Estos modelos dependen de parámetros como la densidad de materia,  $\Omega_m$ , y la amplitud de las fluctuaciones de densidad,  $\sigma_8$ .

El enfoque ha sido validado utilizando datos del Sloan Digital Sky Survey (SDSS) y simulaciones como Uchuu. Los resultados muestran que los voids aportan información complementaria a la obtenida con galaxias.



Contornos de KiDS-1000+DESY3 (contornos azules), los voids de SDSS (contornos negros) y la combinación de ambos (contorno rosa relleno). Estos contornos representan regiones de probabilidad del 68% y 95% en el plano  $\sigma_8$ - $\Omega_m$ . Imagen sacada de [13].



Distribuciones posteriores de  $w_0$  y  $w_a$  ajustadas con el modelo  $w_0 w_a$  CDM usando datos de DESI en combinación con CMB y distintos conjuntos de supernovas. Los contornos muestran niveles de confianza del 68% y 95%. Las líneas grises indican el caso  $\Lambda$ CDM ( $w_0 = -1$ ,  $w_a = 0$ ), cuya desviación se detecta con una significancia de hasta  $4.2\sigma$  según el conjunto de datos utilizado. Imagen sacada de [14].

Un avance reciente ha sido combinar el análisis de vacíos con medidas de lente gravitacional débil. Estas medidas permiten estudiar cómo la materia, visible e invisible, curva la luz. Datos de proyectos como KiDS-1000 y DESY3 han sido clave en este sentido. Al combinar ambas técnicas, se ha logrado reducir las incertidumbres en parámetros cosmológicos de forma significativa. En algunos casos, la mejora alcanza factores de entre 2 y 3. Esto demuestra el potencial de los voids como herramienta cosmológica. Actualmente, este tipo de análisis se está aplicando a los datos de DESI. La muestra BGS, con su gran volumen, permitirá estudiar vacíos con un nivel de detalle sin precedentes.

### RESULTADOS QUE DESAFÍAN EL MODELO ESTÁNDAR

Uno de los aspectos más interesantes de DESI es su capacidad para poner a prueba el modelo cosmológico estándar, conocido como  $\Lambda$ CDM. Este modelo

ha sido extremadamente exitoso durante las últimas décadas. Describe un universo dominado por materia oscura y energía oscura, esta última en forma de constante cosmológica.

Sin embargo, las nuevas medidas de DESI están empezando a mostrar posibles tensiones con este modelo. Un elemento clave en este análisis son las oscilaciones acústicas de bariones (BAO). Estas estructuras se originaron en el universo temprano y actúan como una regla estándar para medir distancias. Los datos recientes [14] sugieren que la expansión del universo podría no seguir exactamente las predicciones del modelo  $\Lambda$ CDM. En particular, algunos resultados apuntan a la posibilidad de que la energía oscura no sea constante, sino que evolucione con el tiempo. Este comportamiento se describe mediante parámetros como  $w_0$  y  $w_a$ . Si estos resultados se confirman, implicarían la necesidad de revisar el modelo cosmológico actual.

Es importante destacar que estas tensiones aún están bajo estudio. Podrían deberse a efectos sistemáticos o a limitaciones en los datos. Aun así, el potencial impacto es enorme. Estaríamos ante una posible señal de nueva física más allá del modelo estándar. El reconocimiento de DESI ha trascendido el ámbito científico. Su mapa tridimensional del universo ha sido destacado internacionalmente y ha recibido atención en medios generalistas.

### MIRANDO AL FUTURO: DESI-II

El proyecto DESI continúa su evolución con su próxima fase: DESI-II. Esta extensión del programa observacional, que se desarrollará hasta 2028, tiene como objetivo ampliar y mejorar el mapa del universo, incorporando nuevos tipos de objetos y aumentando significativamente el volumen observado. Gracias a estos avances, se espera que las mediciones cosmológicas alcancen una precisión mucho mayor, con mejoras de hasta un factor de 3 en algunos parámetros clave. Esta mayor exactitud permitirá estudiar con más detalle la distribución de galaxias, la expansión del universo y los vacíos cósmicos, contribuyendo a comprender mejor las tensiones existentes en cosmología. DESI-II combina observaciones de alta calidad con análisis teóricos avanzados, representando un enfoque integral para explorar la estructura a gran escala del cosmos. Su impacto promete transformar nuestra manera de estudiar el universo, estableciendo nuevos estándares en cartografía cósmica y en la precisión de los parámetros cosmológicos.

### REFERENCIAS

- [1] DESI Collaboration, A. Aghamousa, J. Aguilar, S. Ahlen, S. Alam, L. E. Allen, C. Allende Prieto, J. Annis, S. Bailey, C. Balland, O. Ballester, C. Baltay, L. Beaufore, C. Bebek, T. C. Beers, and others, arXiv e-prints , arXiv:1611.00036 (2016), arXiv:1611.00036 [astro-ph.IM] .
- [2] DESI Collaboration, A. Aghamousa, J. Aguilar, S. Ahlen, S. Alam, L. E. Allen, C. Allende Prieto, J. Annis, S. Bailey, C. Balland, O. Ballester, C. Baltay, L. Beaufore, C. Bebek, T. C. Beers, and others, arXiv e-prints , arXiv:1611.00037 (2016), arXiv:1611.00037 [astro-ph.IM] .
- [3] J. H. Silber, P. Fagrelus, K. Fanning, M. Schubnell, J. N. Aguilar, S. Ahlen, J. Ameer, O. Ballester, C. Baltay, C. Bebek, D. Benton Beard, R. Besuner, L. Cardiel-Sas, R. Casas, F. J. Castander, and others, AJ 165, 9 (2023), arXiv:2205.09014 [astro-ph.IM] .
- [4] T. N. Miller, P. Doel, G. Gutierrez, R. Besuner, D. Brooks, G. Gallo, H. Heetderks, P. Jelinsky, S. M. Kent, M. Lampton, M. E. Levi, M. Liang, A. Meisner, M. J. Sholl, J. H. Silber, and others, AJ 168, 95 (2024), arXiv:2306.06310 [astro-ph.IM] .
- [5] C. Hahn, M. J. Wilson, O. Ruiz-Macias, S. Cole, D. H. Weinberg, J. Moustakas, A. Kremin, J. L. Tinker, A. Smith, R. H. Wechsler, S. Ahlen, S. Alam, S. Bailey, D. Brooks, A. P. Cooper, and others, AJ 165, 253 (2023), arXiv:2208.08512 [astro-ph.CO] .
- [6] R. Zhou, B. Dey, J. A. Newman, D. J. Eisenstein, K. Dawson, S. Bailey, A. Berti, J. Guy, T.-W. Lan, H. Zou, J. Aguilar, S. Ahlen, S. Alam, D. Brooks, A. de la Macorra, and others, AJ 165, 58 (2023), arXiv:2208.08515 [astro-ph.CO] .
- [7] E. Chaussidon, C. Yeche, N. Palanque-Delabrouille, D. M. Alexander, J. Yang, S. Ahlen, S. Bailey, D. Brooks, Z. Cai, S. Chabanier, T. M. Davis, K. Dawson, A. de laMacorra, A. Dey, B. Dey, and others, ApJ 944, 107 (2023), arXiv:2208.08511 [astro-ph.CO] .
- [8] A. Raichoor, J. Moustakas, J. A. Newman, T. Karim, S. Ahlen, S. Alam, S. Bailey, D. Brooks, K. Dawson, A. de la Macorra, A. de Mattia, A. Dey, B. Dey,

- G. Dhungana, S. Eftekharzadeh, and others, *AJ* 165, 126 (2023), arXiv:2208.08513 [astro-ph.CO] .
- [9] T. Ishiyama, F. Prada, A. A. Klypin, M. Sinha, R. B. Metcalf, E. Jullo, B. Altieri, S. A. Cora, D. Croton, S. de la Torre, D. E. Millán-Calero, T. Oogi, J. Ruedas, and C. A. Vega-Martínez, *MNRAS* 506, 4210 (2021).
- [10] S. A. Rodríguez-Torres, C.-H. Chuang, F. Prada, H. Guo, A. Klypin, P. Behroozi, C. H. Hahn, J. Comparat, G. Yepes, A. D. Montero-Dorta, J. R. Brownstein, C. Maraston, C. K. McBride, J. Tinker, S. Gottlöber, and others, *MNRAS* 460, 1173 (2016), arXiv:1509.06404 [astro-ph.CO]
- [11] F. Prada, J. Ereza, A. Smith, J. Lasker, R. Vaisakh, R. Kehoe, C. A. Dong-Páez, M. Siudek, M. S. Wang, S. Alam, F. Beutler, D. Bianchi, S. Cole, B. Dey, D. Kirkby, and others, *A&A* 698, A170 (2025), arXiv:2306.06315 [astro-ph.CO] .
- [12] E. Fernández-García, F. Prada, A. Smith, J. DeRose, A. J. Ross, S. Bailey, M. W. Wang, Z. Ding, C. Guandalin, C. Lamman, R. Vaisakh, R. Kehoe, J. Lasker, T. Ishiyama, S. M. Moore, and others, accepted in *JCAP*.
- [13] E. Fernández-García, J. E. Betancort-Rijo, F. Prada, T. Ishiyama, A. Klypin, and J. Ereza, *A&A* 695, A19 (2025), arxiv:2406.13736 [astro-ph.CO] .
- [14] DESI Collaboration, *Phy. Rev. D* 112, 083515 (2025), arxiv:2503.14738 [astro-ph.CO] .