



The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

La regla cósmica más afilada de DESI, y un quizá cuidadoso sobre la energía oscura

DESI midió la historia de expansión del universo con la regla acústica de bariones más precisa construida hasta ahora, a partir de seis millones de objetos. Por sí sola, esa regla concuerda con el modelo estándar en el que la energía oscura es una constante. Solo cuando DESI se combina con el fondo cósmico de microondas y una muestra de supernovas aparece una preferencia por energía oscura evolutiva: de $2,6\sigma$ a $3,9\sigma$ según qué supernovas se añadan, por debajo del umbral que los físicos exigen para un descubrimiento y sensible a los datos con los que se empareja. Una pregunta real hecha precisa, no una respuesta.

Written by Vera Rubin · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *DESI 2024 VI: Cosmological Constraints from the Measurements of Baryon Acoustic Oscillations*, DESI Collaboration: A. G. Adame, J. Aguilar, S. Ahlen, S. Alam, D. M. Alexander, et al., *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (JCAP)* 02 (2025) 021 · DOI: 10.1088/1475-7516/2025/02/021

Una regla hecha de sonido

Al comienzo del universo, antes de que hubiera estrellas, el plasma caliente de materia ordinaria y luz resonaba. Ondas de presión lo atravesaban a más de la mitad de la velocidad de la luz, hasta que el universo se enfrió lo suficiente para que se formaran átomos y el repique se detuviera, congelando una tenue distancia preferida en la distribución de la materia. Esa distancia, el *horizonte acústico*, es hoy de unos 150 megapársecs (aproximadamente 490 millones de años luz), y aparece como un ligero exceso de galaxias separadas por esa escala, en todas las direcciones y en todas las épocas. Los cosmólogos la llaman oscilación acústica de bariones, o BAO, y la usan como regla estándar: mide qué tamaño aparente tiene esa escala congelada en el cielo a distintas distancias, y trazas qué tan rápido se ha expandido el universo a lo largo de su historia.

El Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) fue construido para medir esa regla mejor que nadie. Su primera publicación de datos cartografía la escala BAO en galaxias, cuásares y el bosque Lyman-alfa de nubes de gas distantes: más de seis millones de objetos, repartidos en siete intervalos de redshift de 0,1 a 4,2. Para mantener la expectativa humana fuera del resultado, el equipo ejecutó el análisis *a ciegas*, ocultándose la respuesta cosmológica hasta que los métodos quedaron fijados. Es, con mucha diferencia, la medición BAO más precisa realizada.



DESI está montado en el telescopio Nicholas U. Mayall de 4 metros, en Kitt Peak, Arizona. El instrumento alimenta miles de fibras ópticas hacia espectrógrafos, convirtiendo posiciones en el cielo en espectros y redshifts para millones de galaxias y cuásares.

Qué es DESI

El **Dark Energy Spectroscopic Instrument** es un espectrógrafo instalado en el telescopio Nicholas U. Mayall de 4 metros, en Kitt Peak, Arizona. No ve la energía oscura directamente: nada puede hacerlo, porque la energía oscura no emite luz. En cambio registra los espectros de unas 5.000 galaxias y cuásares a la vez, lee el redshift de cada objeto a partir de cómo la expansión del universo ha estirado su luz y construye un mapa tridimensional de millones de ellos. Luego la energía oscura se infiere a partir de cómo ese mapa muestra que cambia la expansión cósmica con el tiempo. Para la cadena completa, desde las fibras robóticas hasta la regla acústica, véase *Cómo funciona DESI*.

El titular que viajó desde ahí fue que la energía oscura quizá no sea una constante: que la cosa misteriosa que acelera la expansión del universo podría estar *debilitándose* con el tiempo, agrietando el modelo cosmológico estándar. Esa afirmación no está inventada, pero es fácil leerla de más. La versión honesta es más específica y más interesante: la propia regla de DESI, por sí sola, concuerda con el modelo sencillo de siempre. La pista de algo nuevo aparece solo cuando combinas DESI con otros datos, y la fuerza de esa pista depende de qué otros datos elijas.

La regla acústica de bariones de DESI por sí sola es consistente con una energía oscura constante (una constante cosmológica). La preferencia por una energía oscura *evolutiva* aparece solo cuando DESI se combina con el fondo cósmico de microondas y una muestra de supernovas, y su fuerza cambia según qué muestra de supernovas se use.

Regla estándar, y las dos formas en que puede variar la energía oscura

La escala BAO es una *regla estándar*: como conocemos su longitud real por la física del universo temprano, comparar su longitud real con su tamaño aparente a una distancia dada nos dice cuánto se había expandido el universo para entonces. Medida a muchas distancias, la regla traza toda la historia de expansión, que es lo que gobierna la energía oscura.

En el modelo estándar, llamado Λ CDM, la energía oscura es una *constante cosmológica*: una densidad fija de energía del espacio vacío que nunca cambia. Los físicos etiquetan su comportamiento con un parámetro de “ecuación de estado”, w , que para una verdadera constante cosmológica es exactamente -1 , en todas partes y siempre.

Para ponerlo a prueba, puedes relajar esa condición de dos maneras. La más simple es dejar que w sea alguna otra constante (todavía fija en el tiempo): esto es “wCDM”. La más rica es dejar que w cambie a medida que el universo se expande, descrita por dos números: w_0 , su valor hoy, y w_a , qué tan rápido deriva. Este modelo “ w_0w_a CDM” se reduce a Λ CDM en el único punto $w_0 = -1$, $w_a = 0$. Una preferencia por w_0 mayor que -1 con w_a negativo es lo que aquí significa “energía oscura evolutiva”: energía oscura que era más repulsiva en el pasado y se está aflojando ahora.

Qué hicieron los autores

- Midieron la escala BAO a partir del primer año de datos de DESI: galaxias, cuásares y el bosque Lyman-alfa, más de seis millones de objetos en siete intervalos de redshift que abarcan $0,1 < z < 4,2$.
- Ejecutaron el análisis **a ciegas**, ocultando el resultado cosmológico hasta que la metodología quedó fijada, para protegerse contra el sesgo de confirmación.
- Ajustaron el modelo estándar plano Λ CDM a DESI BAO solo, y luego en combinación con una restricción de nucleosíntesis del big bang y el fondo cósmico de microondas (CMB) de Planck y ACT.
- Extendieron el modelo de dos maneras: una w de energía oscura constante (w CDM) y una $w_0 w_a$ variable en el tiempo ($w_0 w_a$ CDM).
- Probaron el modelo variable en el tiempo combinando DESI+CMB con tres compilaciones distintas de supernovas de tipo Ia por turno: Pantheon+, Union3 y DES-SN5YR, en lugar de escoger una.
- Pusieron límites a la masa sumada de los neutrinos y comprobaron cómo se mueven esos límites si se permite que el fondo de energía oscura varíe.

Qué encontraron

- **DESI BAO solo es consistente con el modelo estándar.** Da una densidad de materia $\Omega_m = 0,295 \pm 0,015$ y, cuando se permite que la energía oscura tenga una w constante, $w = -0,99 (+0,15/-0,13)$, justo sobre el valor de constante cosmológica -1 .
- Combinado con el CMB y su lente gravitacional, DESI da $\Omega_m = 0,307 \pm 0,005$ y una constante de Hubble $H_0 = 67,97 \pm 0,38 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ($68,52 \pm 0,62$ cuando se empareja con nucleosíntesis y la escala acústica del CMB).
- **En el modelo variable en el tiempo, las combinaciones prefieren energía oscura evolutiva:** $w_0 > -1$ y $w_a < 0$. La preferencia es de $2,6\sigma$ para DESI+CMB, y cuando se añade una muestra de supernovas pasa a $2,5\sigma$, $3,5\sigma$ o $3,9\sigma$ para Pantheon+, Union3 o DES-SN5YR respectivamente (sigma mide cuánto se sitúa un resultado respecto de la expectativa del modelo estándar; 5σ es el umbral habitual para afirmar un descubrimiento, y no es una declaración de que la interpretación sea correcta; guía).
- Si se deja libre, la masa sumada de los neutrinos queda acotada con fuerza: por debajo de $0,072 \text{ eV}$ (95 % de confianza) para DESI+CMB, pero el artículo dice explícitamente que este límite se afloja de forma sustancial si se permite que el fondo de energía oscura se aparte de Λ CDM.

Lo que esto no demuestra

- **No** muestra que la energía oscura esté evolucionando. La propia regla de DESI es consistente con una constante cosmológica; la pista de evolución aparece solo en ajustes *combinados*, y solo en el

modelo más rico de dos parámetros.

- **No** significa “ Λ CDM está muerto” ni “Einstein estaba equivocado”. El número más fuerte, $3,9\sigma$, está por debajo de la convención de 5σ que los físicos exigen antes de llamar descubrimiento a algo, y el modelo estándar sigue ajustando bien a DESI solo.
- El resultado **no** es independiente de la muestra. Cambiar la compilación de supernovas mueve la significación de $2,5\sigma$ a $3,9\sigma$, más de una sigma completa. Una señal cuyo tamaño depende tanto de qué conjunto externo le acoplas es una pista que perseguir, no una medición que archivar.
- La inclinación de DESI *solo* hacia $w_0 > -1$ está impulsada **en parte por un punto anómalo único**: el intervalo de galaxias en redshift 0,51, que queda ligeramente alto frente a Λ CDM. Pero aquí es donde el artículo hace los deberes: trata ese punto como una fluctuación estadística y muestra que sustituir *todas* las mediciones de bajo redshift de DESI ($z < 0,6$) por las antiguas de SDSS deja intacto el resultado de energía oscura. El punto extraño tira de DESI por sí solo; **no** sostiene la pista combinada. (Grupos independientes han examinado después con más detalle su papel.) Así que este caveat corta en sentido contrario a como a veces se cuenta: el resultado fue sometido a estrés contra su dato más anómalo, y aguantó.
- El límite de masa de neutrinos **no** es un veredicto independiente del modelo. Solo es estrecho si la expansión de fondo se mantiene en Λ CDM; relaja eso, y el límite se relaja con ello.

¿Qué solidez tienen las pruebas?

- **Muy fuerte como medición de distancia.** La regla BAO es una de las herramientas más limpias de la cosmología, la de DESI es la más precisa hasta ahora, y el análisis a ciegas es exactamente la salvaguarda que quieres contra leer en los datos una respuesta esperada.
- **Genuinamente intrigante, pero no decisiva, como afirmación sobre energía oscura.** Una preferencia de $2,6\sigma$ desde DESI+CMB, que sube a $3,9\sigma$ con el conjunto de supernovas más restrictivo, es la clase de resultado que merece más tiempo de telescopio, no la clase que derriba un modelo. La razón honesta para la cautela es la dispersión entre muestras de supernovas; para su crédito, los autores también comprobaron que su punto BAO más anómalo no impulsa el resultado, exactamente los deberes que necesita una afirmación así.
- El artículo es cuidadoso consigo mismo: reporta la significación de tres maneras en lugar de citar la mayor, y señala la dependencia de modelo de su resultado sobre neutrinos. La exageración, cuando existe, está en el relato posterior, no en el artículo.

Por qué importa

Durante un cuarto de siglo, “energía oscura” y “constante cosmológica” se han usado casi como sinónimos, porque toda medición era consistente con una w exactamente igual a -1 . DESI es el primer conjunto de datos lo bastante preciso como para, combinado con otros, siquiera *preguntar* si ese -1 deriva, y obtener una respuesta que no sea un no plano. Eso es un cambio real en lo que los datos pueden hacer, y por eso el resultado merece atención. Pero la misma precisión es lo que nos deja ver cuán condicional es la pista: viva en algunas combinaciones de datos, silenciosa en otras, y

sensible sobre todo a qué catálogo de supernovas se empareja con DESI. La postura correcta no es ni el descarte ni la revolución anunciada temprano. Es observar la siguiente publicación más grande de DESI, DR2, ya disponible en 2025, y las muestras independientes de supernovas, y ver si la deriva se afirma o se desvanece. Así se ve un quizá genuino en cosmología, y vale la pena reportarlo como quizá.

En pocas palabras

DESI ha medido la historia de expansión del universo con la mejor regla acústica de bariones construida hasta ahora, a partir de seis millones de objetos. Por sí sola, esa regla concuerda con el modelo estándar en el que la energía oscura es una constante. Combínala con el fondo cósmico de microondas y una muestra de supernovas, y aparece una preferencia por energía oscura que cambia con el tiempo: de $2,6\sigma$ a $3,9\sigma$, según qué supernovas añadidas. Eso es una pista real e interesante, no un descubrimiento: queda por debajo del umbral que exigen los físicos, y cambia según los datos de supernovas con los que la emparejes. La energía oscura podría estar evolucionando. DESI ha convertido eso en una pregunta que vale la pena formular con precisión; aún no en una pregunta que haya respondido.

Fuentes

DESI Collaboration, arXiv:2404.03002 (published in JCAP)

<https://arxiv.org/abs/2404.03002>

DESI Collaboration, JCAP 02 (2025) 021, DOI 10.1088/1475-7516/2025/02/021

<https://doi.org/10.1088/1475-7516/2025/02/021>