Nuevas pistas sobre la naturaleza de la energía oscura

- **La medida obtenida fija la escala del universo cuando tenía la mitad de su edad actual con una precisión del 2%, la más precisa nunca obtenida para esa época. Los resultados se hicieron públicos ayer.**
- **Investigadores del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), el Institut de Ciències de l'Espai (ICE-CSIC,IEEC), el Institut de Física d'Altes Energies (IFAE) y el Instituto de Física Teórica (UAM-CSIC) han liderado el análisis científico de los datos.**

Imagen de campo profundo. Dark Energy Survey/DOE/FNAL/DECam/CTIO/NOIRLab/NSF/AURA

Madrid, 20 de febrero de 2024.- Hoy en día disponemos de un modelo estándar de la cosmología, la versión actual de la teoría del *big bang*. Aunque se ha mostrado muy exitoso, sus consecuencias son asombrosas. **Solo conocemos el 5% del contenido del universo**, que es materia ordinaria. El restante 95% está constituido por dos entes exóticos y que nunca se han producido en laboratorio, cuya naturaleza física es aún desconocida. Se trata de la materia oscura, que da cuenta del 25% del contenido del cosmos, y de la **energía oscura, que contribuye con un 70%.** En el modelo estándar de la cosmología, la energía oscura es la energía del espacio vacío, y su densidad permanece constante a lo largo de la evolución del universo.

De acuerdo con esta teoría, en el universo muy temprano se propagaron ondas de sonido. En esas etapas tempranas, el universo tenía una temperatura y una densidad enormes. La presión en este gas inicial trataba de separar las partículas que lo formaban, mientras que la gravedad trataba de juntarlas, y la competición entre las dos fuerzas creó ondas sonoras que se propagaron desde los inicios del universo hasta unos 400.000 años después del Big Bang. En ese momento la radiación y la materia dejaron de interaccionar y las ondas quedaron congeladas, dejando **una huella en la distribución espacial de la materia.** Esta huella se observa como una pequeña acumulación preferencial de galaxias separadas por una distancia característica, denominada por los cosmólogos escala de las oscilaciones acústicas de los bariones (BAO por sus siglas en inglés, *Baryon Acoustic Oscillations*), y corresponde con la distancia recorrida por las ondas sonoras en esos 400.000 años.

Una nueva medida de la distancia cósmica

El *Dark Energy Survey* (DES, o Cartografiado de la Energía Oscura) **acaba de medir la escala BAO cuando el universo tenía la mitad de su edad actual con una precisión del 2%**, la determinación más precisa hasta el momento en una época tan temprana, y la primera vez que una medida sólo con imágenes es competitiva con grandes campañas de espectroscopía diseñadas específicamente para detectar esta señal.

La distancia que viaja la onda sonora en el universo primitivo depende de procesos físicos muy bien conocidos, así que se puede determinar con gran precisión, fijando una vara de medir para el universo. Es lo que los cosmólogos llaman una regla estándar, y en este caso tiene una longitud de unos 500 millones de años luz. Observando el ángulo que esta regla estándar subtiende en el cielo a diferentes distancias (o lo que es lo mismo, en diferentes épocas del universo), se puede determinar la historia de la expansión cósmica y con ella las propiedades físicas de la energía oscura. En particular, se puede determinar analizando el fondo de microondas, la radiación liberada cuando se formaron los átomos, 400.000 años después del *Big Bang* y que nos da una foto del universo muy temprano, tal y como publicó la colaboración Planck en 2018. También se puede determinar en el universo tardío mediante el estudio de la escala BAO en cartografiados de galaxias, tal y como ha hecho DES. El análisis de la consistencia de ambas determinaciones es una de las pruebas más exigentes a las que se puede someter al modelo estándar de la cosmología.

«Es un orgullo ver cómo tras casi veinte años de esfuerzo continuado, DES produce resultados científicos de máxima relevancia en cosmología», comenta Eusebio Sánchez, responsable del grupo de cosmología del CIEMAT. «Es una excelente recompensa al esfuerzo que hemos invertido en el proyecto».

«Una de las tareas más complicadas del proceso es limpiar la muestra de galaxias de contaminantes observacionales: **distinguir entre galaxias y estrellas o mitigar los efectos de la atmósfera en las imágenes**», dice Martín Rodríguez Monroy, investigador postdoctoral en el IFT de Madrid. "Es fundamental eliminar los efectos observacionales que contaminan la muestra de galaxias para asegurar que los resultados obtenidos con ella son completamente fiables".

«Lo que observamos es que las galaxias tienen una mayor tendencia a estar separadas entre sí por un ángulo de 2,90 grados en el cielo frente a otras distancias», comenta Santiago Ávila, investigador postdoctoral del IFAE, uno de los coordinadores del análisis. «¡Esa es la señal! La onda se puede ver claramente en los datos», añade refiriéndose al primer gráfico. «Es una preferencia sutil, pero estadísticamente relevante», dice, «y podemos determinar el recorrido de la onda con una precisión del 2%.

Como referencia, la luna llena ocupa en el cielo medio grado de diámetro. Así que **si fuéramos capaces de ver las galaxias a simple vista, la distancia BAO se vería como 6 lunas llenas».**

16 millones de galaxias para medir el universo de hace 7.000 millones de años

Para la medida de la escala BAO DES ha utilizado 16 millones de galaxias, distribuidas sobre un octavo del cielo, y que han sido especialmente seleccionadas para determinar a qué distancia están con suficiente precisión.

«Es importante seleccionar una muestra de galaxias que nos permita medir la escala BAO con la mayor precisión posible», señala Juan Mena, quien realizó su doctorado en el CIEMAT sobre este estudio y hoy en día es investigador postdoctoral en el Laboratorio de Física Subatómica y Cosmología de Grenoble (Francia). «Nuestra muestra está optimizada con el fin de tener un buen compromiso entre un mayor número de galaxias y la certeza con la que podemos determinar su distancia».

Las distancias cosmológicas son tan grandes que la luz tarda miles de millones de años en llegar a nosotros, dándonos así la oportunidad de observar el pasado cósmico. La muestra de galaxias utilizada en este estudio nos abre una ventana al universo de hace siete mil millones de años, algo menos de la mitad de su edad actual.

Pistas sobre la misteriosa energía oscura

Un hallazgo interesante de este estudio es que el tamaño que estas ondas ocupan en el cielo es un 4% más grande de lo predicho a partir de las medidas hechas por el satélite Planck de la ESA en el universo temprano utilizando la radiación de fondo de microondas. Dadas las incertidumbres del análisis y la muestra de galaxias, esta discrepancia tiene un 5% de posibilidades de ser una mera fluctuación estadística. Si no lo fuese, **podríamos estar ante una de las primeras pistas de que la teoría actual de la cosmología no es del todo completa**, y la naturaleza física de las componentes oscuras es todavía más exótica de lo que se pensaba.

«Por ejemplo, **la energía oscura podría no ser la energía del vacío**, su densidad podría cambiar con la expansión del universo, o incluso el espacio podría estar ligeramente curvado», comenta Anna Porredon, investigadora española en la universidad de Bochum (RUB), en Alemania. Esta investigadora, becada por el programa *Marie Skłodowska-Curie Actions* de la Unión Europea, ha sido una de las coordinadoras de este análisis.

La escala BAO ha sido medida por otros proyectos cosmológicos previos a DES en diferentes edades del universo, fundamentalmente el *Baryonic Oscillation Spectroscopic Survey* (BOSS) y su extensión (eBOSS), que fueron diseñados para este propósito (véase la segunda imagen). Sin embargo, la medida de DES es la más precisa a una edad tan temprana del Universo, con la mitad de incertidumbre que eBOSS en esa época. El importante aumento de precisión ha permitido revelar la posible discrepancia en la escala BAO respecto al modelo estándar de la cosmología.

«Para seguir esta pista, el siguiente paso crucial es combinar esta información con otras técnicas exploradas por DES para entender la naturaleza de la energía oscura» comenta Hugo Camacho, investigador postdoctoral del Laboratorio Nacional de Brookhaven (EE. UU.), anteriormente en el Instituto de Física Teórica de la Universidad Estatal Paulista de Brasil (IFT-UNESP) y miembro del Laboratorio Interinstitucional de e-Astronomia (LIneA), y añade: «Además, DES también allana el camino para una nueva era de descubrimientos en cosmología, que será seguida por futuros experimentos con medidas aún más precisas».

El *Dark Energy Survey*

Como su nombre indica, DES es un gran proyecto cosmológico especialmente concebido para estudiar las propiedades de la energía oscura. Es una colaboración internacional de más de 400 científicos de 7 países, con su sede central en Fermilab (laboratorio nacional del departamento de energía de EEUU), Chicago. El proyecto está diseñado para utilizar cuatro métodos complementarios entre sí: distancias cosmológicas con supernovas, número de cúmulos de galaxias, la distribución espacial de las galaxias y el efecto de lente gravitacional débil (más detalles en https://www.darkenergysurvey.org/the-des-project/science/).

Además, estos métodos pueden combinarse entre sí para obtener mayor potencia estadística y mejor control de las observaciones, que se espera que sean consistentes. Es especialmente relevante la combinación del efecto lente gravitacional con la distribución espacial de las galaxias. Estos análisis ponen a prueba el modelo cosmológico de una manera muy exigente. Los resultados utilizando la mitad de los datos de DES ya se han publicado con gran impacto y se espera que las medidas finales, utilizando el conjunto completo de datos, más de 150 millones de galaxias, se publiquen este mismo año. «DES nos permite entender por primera vez si la expansión acelerada del Universo, que comenzó hace 6.000 millones de años, es consistente con nuestro modelo actual para el origen del mismo», comenta Martín Crocce, quien co-coordina este último análisis desde el ICE.

Para conseguir utilizar todas estas técnicas, DES construyó la Cámara de la Energía Oscura (DECam, por *Dark Energy Camera*), de 500 Megapíxeles, una de las mayores y más sensibles del mundo. Está instalada en el telescopio Víctor M. Blanco, con un espejo de 4m de diámetro, en el Observatorio Interamericano de Cerro Tololo, en Chile, operado por la fundación nacional de ciencia de Estados Unidos (NSF). DES ha cartografiado un octavo de la bóveda celeste hasta una profundidad sin precedentes. Tomó imágenes en 4 colores entre 2013 y 2019 y actualmente se encuentra en la fase final del análisis científico de estas imágenes. Las instituciones españolas forman parte del proyecto desde su inicio en 2005 y, además de haber colaborado de manera destacada en el diseño, fabricación, pruebas e instalación de DECam y en la toma de datos, tienen importantes responsabilidades en la gestión científica a día de hoy.

Más información en *www.darkenergysurvey.org/collaboration*.

Personas de contacto:

IFAE

Dr. Santiago Ávila, investigador postdoctoral, savila@ifae.es

CIEMAT

Dr. Eusebio Sánchez, investigador científico, eusebio.sanchez@ciemat.es

IFT-UAM/CSIC

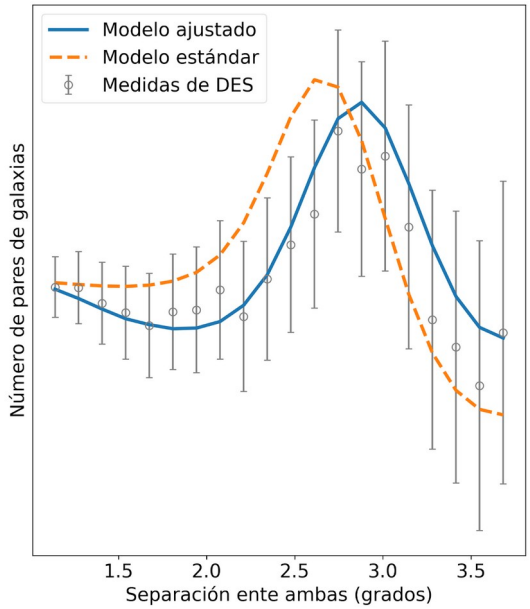
Dr. Martín Rodríguez-Monroy, investigador postdoctoral, martin.rodriguez@uam.es

ICE

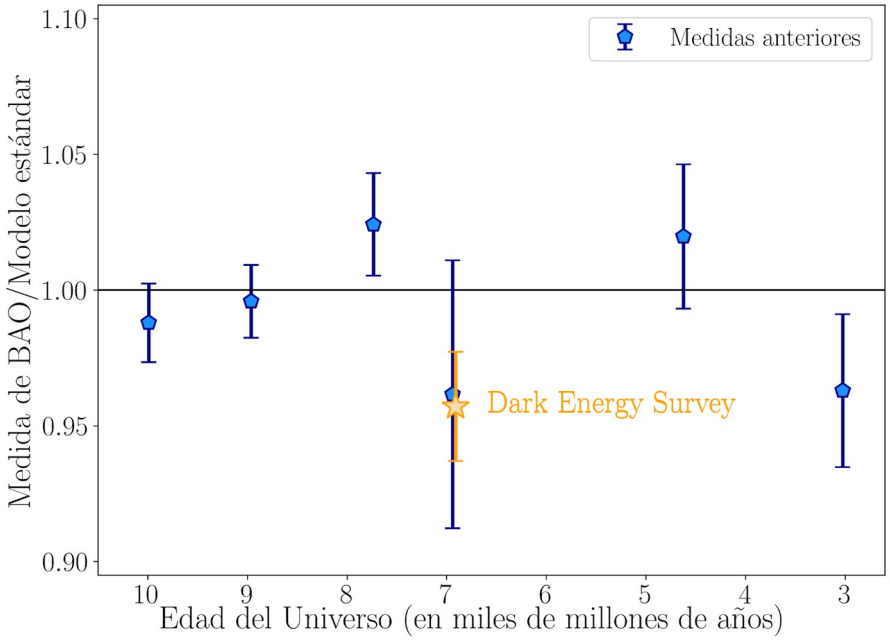
Dr. Martín Crocce, científico titular, crocce@ice.csic.es

Artículo científico: https://arxiv.org/abs/2402.10696

Material gráfico:



Pie de foto 1: Señal de las oscilaciones acústicas de bariones (BAO) en los datos del Dark Energy Survey (DES). Cuando representamos el número de pares de galaxias en función de la separación angular en el cielo, vemos un exceso de pares a 2.90 grados. Esto es provocado por las ondas BAO que han viajado cientos de millones de años luz desde el Big Bang. La onda ocupa un tamaño en el cielo algo superior a la predicha por el modelo estándar de cosmología y los datos de Planck. Crédito de la imagen: Dark Energy Survey Collaboration.



Pie de foto 2: En dorado vemos la medida de la escala BAO del Dark Energy Survey, que se desvía del modelo estándar (línea horizontal en 1 en este gráfico) un 4%, mientras que las incertidumbres asociadas al análisis son del 2% (indicadas por la barra vertical). Esta discrepancia podría ser una pista sobre la energía oscura o podría ser por mero azar, con un 5% de posibilidades. Esta medida se ha hecho observando galaxias que emitieron su luz cuando el Universo tenía aproximadamente la mitad de su edad actual, que es 14 mil millones de años. En azul se muestran medidas del Baryonic Oscillations Spectroscopic Survey (BOSS) y su extensión (eBOSS). DES nos da la medida más precisa cuando el Universo tenía unos 7 mil millones de años de edad. Crédito de la imagen: Dark Energy Survey Collaboration.

Pie de foto 3: Izquierda: El Observatorio Interamericano de Cerro Tololo (CTIO) en los andes chilenos. Centro: El telescopio Víctor M. Blanco, con un espejo de 4m de diámetro. Se encuentra dentro de la cúpula plateada del edificio central de la foto de la izquierda. Derecha: Plano focal de DECam (Dark Energy Camera). Contiene 62 sensores CCD ultrasensibles especialmente diseñados para el proyecto DES y permite fotografiar el universo con una profundidad sin precedentes. Crédito de las imágenes: DOE/FNAL/DECam/R. Hahn/CTIO/NOIRLab/NSF/AURA. Están disponibles de manera pública en: https://noirlab.edu/public/es/images/

El IFT

El IFT-UAM/CSIC es un centro mixto de la Universidad Autónoma de Madrid y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, dedicado íntegramente a la investigación en física teórica, con el foco en las cuestiones más fundamentales, desde las partículas elementales hasta la cosmología, pasando por la frontera de la complejidad cuántica. Sus investigadores lideran numerosos proyectos tanto en el ámbito nacional como internacional, apoyados en una intensa actividad de formación de jóvenes investigadores y una original labor de divulgación de la física.

Para más información y entrevistas:

Laura Marcos Mateos

laura.marcos@csic.es

comunicacion@ift.csic.es

912999879