El *Dark Energy Survey* ofrece la visión más precisa de la evolución del universo

La colaboración del Dark Energy Survey (Cartografiado de la Energía Oscura o DES) ha creado el mayor mapa hasta la fecha de la distribución y forma de las galaxias. Estos mapas trazan tanto la materia ordinaria como la materia oscura en el universo hasta una distancia de más de 7.000 millones de años luz. El análisis, que incluye los tres primeros años de datos del proyecto, es consistente con las predicciones del mejor modelo actual del universo, el modelo cosmológico estándar. Sin embargo, DES y otros experimentos siguen indicando que la materia en el universo actual es un poco más homogénea de lo previsto.

Fermilab, 27 de Mayo de 2021

Los nuevos resultados del *Dark Energy Survey* (Cartografiado de la Energía Oscura o DES) utilizan la mayor muestra de galaxias jamás analizada, distribuida en una enorme porción del cielo, para producir las medidas más precisas hasta la fecha de la composición y el crecimiento del universo. Los científicos han encontrado que la manera en que la materia se distribuye por el universo es consistente con las predicciones del modelo cosmológico estándar, el mejor modelo actual del universo.

A lo largo de seis años, DES examinó 5.000 grados cuadrados –casi una octava parte de todo el cielo– en 758 noches de observación, catalogando cientos de millones de objetos. Los resultados anunciados hoy se basan en los datos de los tres primeros años –226 millones de galaxias observadas en 345 noches– para crear los mapas más amplios y precisos hasta ahora de la distribución de las galaxias en el universo en épocas cósmicas relativamente recientes.

Dado que DES estudió tanto las galaxias cercanas como las que se encuentran a miles de millones de años luz, sus mapas proporcionan tanto una fotografía actual de la estructura a gran escala del universo como una película de cómo ha evolucionado esta en el curso de los últimos 7.000 millones de años.

Para poner a prueba el modelo actual del universo de los cosmólogos, los científicos de DES compararon sus resultados con las medidas del observatorio Planck, de la Agencia Espacial Europea. Planck utilizó unas señales de luz conocidas como fondo cósmico de radiación de microondas para remontarse al universo primitivo, apenas 400.000 años después del *Big Bang* (“la Gran Explosión”). Los datos de Planck ofrecen una visión precisa del universo hace 13.000 millones de años, y el modelo cosmológico estándar predice cómo debería evolucionar la materia oscura hasta el presente. Si las observaciones de DES no coinciden con esta

predicción, es posible que sea debido a que haya un aspecto del universo por descubrir. Aunque DES y varios estudios anteriores sobre galaxias han insistido en que el universo actual es un poco menos grumoso (más homogéneo) de lo que se predijo –un hallazgo intrigante que merece ser investigado en detalle– los resultados publicados en esta ocasión son coherentes con la predicción.

"DES ha puesto nuevos límites a la incertidumbre sobre la distribución y estructura de la materia oscura y energía oscura, rivalizando y complementando los realizados sobre el fondo cósmico de microondas", dijo Brian Yanny, un científico del Fermilab que coordinó el procesamiento y la gestión de los datos de DES. "Es emocionante tener medidas precisas de lo que hay ahí fuera y una mejor comprensión de cómo ha cambiado el universo desde su infancia hasta hoy".

La materia ordinaria constituye sólo un 5% del universo. La energía oscura, que según la hipótesis de los cosmólogos impulsa la expansión acelerada del universo al contrarrestar la fuerza de la gravedad, representa alrededor del 70%. El último 25% es materia oscura, cuya influencia gravitatoria une a las galaxias. Tanto la materia oscura como la energía oscura siguen siendo invisibles y misteriosas, pero DES trata de iluminar su naturaleza estudiando cómo la competencia entre ellas da forma a la estructura a gran escala del universo a lo largo del tiempo cósmico.

DES fotografió el cielo nocturno utilizando la Cámara de Energía Oscura compuesta por 570 millones de píxeles, que está instalada en el telescopio Víctor Blanco de 4 metros del Observatorio Interamericano de Cerro Tololo en Chile, un departamento de NOIRLab de la *National Science Foundation* de Estados Unidos. La Cámara de Energía Oscura, una de las cámaras digitales más potentes del mundo, fue diseñada específicamente para el DES y construida y probada en Fermilab. Los datos de DES se procesaron en el Centro Nacional de Aplicaciones de Supercomputación de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.

"Estos análisis son realmente vanguardistas, ya que requieren inteligencia artificial y computación de alto rendimiento dirigidas por los jóvenes científicos más inteligentes del momento", afirmó Scott Dodelson, físico de la Universidad Carnegie Mellon que codirige el Comité Científico del DES junto con Elisabeth Krause, de la Universidad de Arizona. "Es un honor formar parte de este equipo".

Para cuantificar la distribución de la materia oscura y el efecto de la energía oscura, DES se basó en dos fenómenos principales. En primer lugar, a gran escala, las galaxias no se distribuyen aleatoriamente por el espacio, sino que forman una estructura en forma de red debido a la gravedad de la materia oscura. DES ha medido cómo ha evolucionado esta red cósmica a lo largo de la historia del universo. La agrupación de galaxias que forma la red cósmica, a su vez, reveló regiones con una mayor densidad de materia oscura.

En segundo lugar, DES detectó las señales características de la materia oscura a través de lentes gravitacionales débiles. Cuando la luz de una galaxia lejana viaja por el espacio, la

gravedad de la materia ordinaria y de la oscura puede desviarla, dando lugar a una imagen distorsionada de la galaxia vista desde la Tierra. Al estudiar cómo se alinean las formas aparentes de las galaxias lejanas entre sí y con las posiciones de las galaxias cercanas a lo largo de la línea de visión, los científicos de DES dedujeron la distribución espacial (o aglomeración) de la materia oscura en el universo.

El análisis de la enorme cantidad de datos recogidos por DES fue una misión formidable. El equipo comenzó analizando solo el primer año de datos, que se publicó en 2017. Ese proceso preparó a los investigadores para utilizar técnicas más sofisticadas para analizar el conjunto de datos más amplio, que incluye la mayor muestra de galaxias jamás utilizada para estudiar las lentes gravitacionales débiles.

Por ejemplo, el cálculo del desplazamiento al rojo (*redshift* en inglés) de una galaxia -el cambio en la longitud de onda de la luz debido a la expansión del universo- es un paso clave para medir cómo cambian a lo largo de la historia cósmica tanto la agrupación de galaxias como las lentes gravitacionales débiles. El desplazamiento al rojo de una galaxia está relacionado con su distancia, lo que permite caracterizar el agrupamiento tanto en el espacio como en el tiempo.

"Hubo una mejora significativa en la forma de calibrar las distribuciones de desplazamiento al rojo de las muestras de galaxias", dijo Judit Prat, investigadora postdoctoral de la Universidad de Chicago que analizó las lentes gravitacionales débiles captadas por DES. "Ha sido un gran esfuerzo en el que se ha invertido mucho trabajo. Ahora tenemos un método que nadie ha utilizado antes, y es muy robusto".

Se eligieron diez regiones del cielo como "campos profundos" que la Cámara de la Energía Oscura (DEcam) fotografió repetidamente a lo largo del estudio. El apilamiento de esas imágenes permitió a los científicos vislumbrar galaxias más lejanas. A continuación, el equipo utilizó la información sobre el desplazamiento al rojo de los campos profundos para calibrar las medidas del resto de la región del estudio. Este y otros avances en las medidas y el modelado, junto con el triplicado el volumen de datos en comparación con el primer año, permitieron al equipo determinar la densidad y la aglomeración del universo con una precisión sin precedentes.

Junto con el análisis de las señales de lentes gravitacionales débiles, DES también midió con precisión otras sondas que delimitan el modelo cosmológico de forma independiente: la agrupación de galaxias a mayor escala (oscilaciones acústicas de bariones), la abundancia de los cúmulos masivos de galaxias y las mediciones de alta precisión de los brillos y desplazamientos al rojo de las supernovas de tipo Ia. Estas medidas adicionales se combinarán con el actual análisis de lentes débiles para obtener límites aún más estrictos sobre el modelo estándar.

"DES ha proporcionado resultados científicos eficientes y de vanguardia, directamente relacionados con la misión de Fermilab de desentrañar la naturaleza fundamental de la materia, la energía, el espacio y el tiempo", dijo el director de Fermilab, Nigel Lockyer. "Un equipo

dedicado de científicos, ingenieros y técnicos de instituciones de todo el mundo llevó a cabo el cartografiado y recogió sus frutos".

La colaboración DES está formada por más de 400 científicos de 25 instituciones de siete países.

"La colaboración es notablemente joven. Está muy inclinada hacia los investigadores postdoctorales y los doctorandos, que están haciendo una gran cantidad del trabajo de DES", dijo el director y portavoz de DES, Rich Kron, que es un científico de Fermilab y de la Universidad de Chicago. "Eso es realmente gratificante. Una nueva generación de cosmólogos se está formando con el *Dark Energy Survey*".

DES concluyó las observaciones del cielo nocturno en 2019. Con la experiencia de analizar la primera mitad de los datos, el equipo está ahora preparado para manejar el conjunto completo. Se espera que el análisis final de DES ofrezca una imagen aún más precisa de la materia oscura y la energía oscura en el universo. Además, los métodos desarrollados por el equipo han allanado el camino para que futuros estudios del cielo exploren los misterios del cosmos.

"El verdadero legado de DES serán los grandes pasos que hemos tenido que dar y que fueron esenciales para este resultado clave, y que serán fundamentales para la próxima generación de experimentos cosmológicos que comenzarán pronto", dijo Michael Troxel, físico de la Universidad de Duke y coordinador del proyecto clave de análisis de los tres primeros años de datos de DES. Entre los próximos experimentos se incluyen tanto los que estarán basados en el espacio como los terrestres, entre los últimos tendremos el *Legacy Survey of Space and Time*, desde el Observatorio Vera C. Rubin.

"Con estos instrumentos que hemos construido para mirar en la oscuridad, estamos trabajando en resolver misterios universales", dijo Troxel.

Los resultados recientes del DES se presentarán en un seminario científico el 27 de mayo. Veintinueve artículos estarán disponibles en el repositorio *online* arXiv.org

El Dark Energy Survey es una colaboración de más de 400 científicos de 25 instituciones de siete países. Para más información sobre el estudio, visite la página web del experimento.
Los proyectos DES han sido financiados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, la National Science Foundation, el Ministerio de Ciencia y Educación de España, el Science and Technology Facilities Council del Reino Unido, el Higher Education Funding Council de Inglaterra, el National Center for Supercomputing Applications de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, el Kavli Institute of Cosmological Physics de la Universidad de Chicago, la Autoridad de Financiación de Fondos y Proyectos de Brasil, la Fundación Carlos Chagas Filho de Apoyo a la Investigación del Estado de Río de Janeiro, el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de Brasil y el Ministerio de Ciencia y Tecnología, la Fundación Alemana de Investigación y las instituciones colaboradoras en el Dark Energy Survey.

El Observatorio Interamericano de Cerro Tololo, el NOIRLab de la NSF, es operado por la Asociación de Universidades para la Investigación en Astronomía (AURA) en virtud de un acuerdo de cooperación con la *National Science Foundation* (NSF). La NSF es una agencia federal independiente creada por el Congreso de EEUU en 1950 para promover el progreso de la ciencia. La NSF apoya la investigación básica y a las personas para crear conocimientos que transformen el futuro.
El NCSA de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign proporciona supercomputación y recursos digitales avanzados para el emprendimiento científico de la nación. En el NCSA, los profesores de la Universidad de Illinois, el personal, los estudiantes y colaboradores de todo el mundo utilizan recursos digitales avanzados para abordar los grandes retos de la investigación en beneficio de la ciencia y la sociedad. El NCSA lleva más de 30 años haciendo progresar a un tercio de las empresas de Fortune 50® al reunir a la industria, los investigadores y los estudiantes para resolver los grandes retos a gran velocidad y escala. Para más información, visite www.ncsa.illinois.edu
Fermilab es el principal laboratorio nacional de Estados Unidos para la investigación en física de partículas y aceleradores. Fermilab, un laboratorio de la Oficina de Ciencia del Departamento de Energía de los Estados Unidos, está situado cerca de Chicago, Illinois, y es operado bajo contrato por la *Fermi Research Alliance LLC*. Visite la página web de Fermilab en www.fnal.gov y síganos en Twitter en @Fermilab.

La Oficina de Ciencia del DOE es la que más apoya la investigación básica en ciencias físicas en los Estados Unidos y trabaja para abordar algunos de los retos más apremiantes de nuestro tiempo. Para más información, visite science.energy.gov.

Traducido por Santiago Ávila (IFT UAM-CSIC, Madrid),
Andrés Plazas Malagón (Princeton University, EEUU),
Bernardita Ried (Santiago, Universidad de Chile) &
Ignacio Sevilla (CIEMAT, Madrid)

El *Dark Energy Survey* ha tomado imágenes de unos 5.000 grados cuadrados del cielo austral. El estudio ha cartografiado cientos de millones de galaxias para ayudar a los investigadores a comprender la expansión acelerada de nuestro universo. Foto: Reidar Hahn, Fermilab
https://vms.fnal.gov/asset/detail?recid=1814576

El *Dark Energy Survey* fotografió el cielo nocturno utilizando la Cámara de Energía Oscura de 570 megapíxeles en el telescopio Blanco de 4 metros del Observatorio Interamericano de Cerro Tololo en Chile, una división del NOIRLab de la *National Science Foundation*. Foto: Reidar Hahn, Fermilab
https://vms.fnal.gov/asset/detail?recid=1814523