

DE IMÁGENES DEL FUTURO SATÉLITE EUCLID

La mayoría de astrónomos será capaz de responder a la pregunta: “¿de qué está compuesto nuestro universo?”. El famoso gráfico circular (véase la Figura 1) dice: “casi el 70% es Energía Oscura (Dark Energy, DE), algo menos del 30% es Materia Oscura (Dark Matter, DM), y ese porcentaje que falta es la materia ordinaria (Ordinary Matter or Baryonic Matter, BM)¹. Pero, ¿cómo se obtienen estos resultados? Los datos más precisos sobre la composición de nuestro universo y sobre los valores de los parámetros del Modelo Cosmológico Estándar se han obtenido a partir de las observaciones del Fondo Cósmico de Microondas, siendo la misión Planck el mejor ejemplo de esta era. Sin embargo, la cosmología moderna está avanzando hacia una nueva era donde los datos de la Estructura a Gran Escala de nuestro universo serán los protagonistas. En este aspecto, se espera que el satélite Euclid sea crucial en la tarea de revisar el Modelo Cosmológico Estándar.



Guadalupe Cañas Herrera
Universidad de Leiden / Consorcio Euclid
canasherrera@lorentz.leidenuniv.nl

LA MISIÓN EUCLID Y EL OBJETIVO

La Agencia Espacial Europea (ESA) tiene actualmente en marcha la misión Euclid². El objetivo de esta misión es intentar comprender el universo oscuro: origen y naturaleza de la expansión acelerada del universo en su historia reciente, de la cuál se hace responsable a la denominada Energía Oscura, e intentar discernir diferentes modelos sobre la Materia Oscura. Para ello, el satélite Euclid, cuyo lanzamiento se planificó para finales del año que viene, tomará numerosas imágenes de galaxias y cúmulos de galaxias lejanos en el espectro óptico e infrarrojo. El objetivo es crear dos catálogos de galaxias con propiedades distintas: un catálogo fotométrico y un catálogo espectroscópico, con el que se estudiarán las denominadas pruebas observacionales primarias de la misión. Estas pruebas primarias son complementarias entre sí y se espera que consigan resultados prometedores a la hora de constreñir el Modelo Cosmológico Estándar.

Con el catálogo fotométrico se estudiará el efecto de lente gravitatoria débil (Weak Lensing) y la agrupación de galaxias a partir del redshift fotométrico (Galaxy Clustering photometric), midiendo el espectro de potencias angular de ambos observables (Angular Power Spectrum) a partir de galaxias que se encuentran a un redshift aproximado de entre prácticamente 0 y 2.5. Al mismo tiempo, con el catálogo espectroscópico se estudiará la agrupación de galaxias, esta vez utilizando los redshifts espectroscópicos y en el espacio de Fourier, suplementado con mediciones de Oscilaciones Acústicas Bariónicas (Baryonic Acoustic Oscillations, BAO) y distorsiones en el espacio redshift (Redshift Space Distortions, RSD). En este caso, los observables espectroscópicos utilizarán galaxias hasta redshift 1.8.

Para lograr estas mediciones, el satélite Euclid, que estará en el punto Lagrangiano L2 entre la Tierra y el Sol, observará aproximadamente 15000 grados cuadrado del cielo libre de contaminación lumínica de nuestro sistema solar y nuestra galaxia. Se espera que Euclid sea capaz de tomar imágenes de alrededor de 10 miles de millones de fuentes. En términos más técnicos, la misión durará aproximadamente seis años y el satélite en cuestión se lanzará con una Soyuz desde la Guyana Francesa.

A RESULTADOS CIENTÍFICOS: CÓMO LOGRARLO

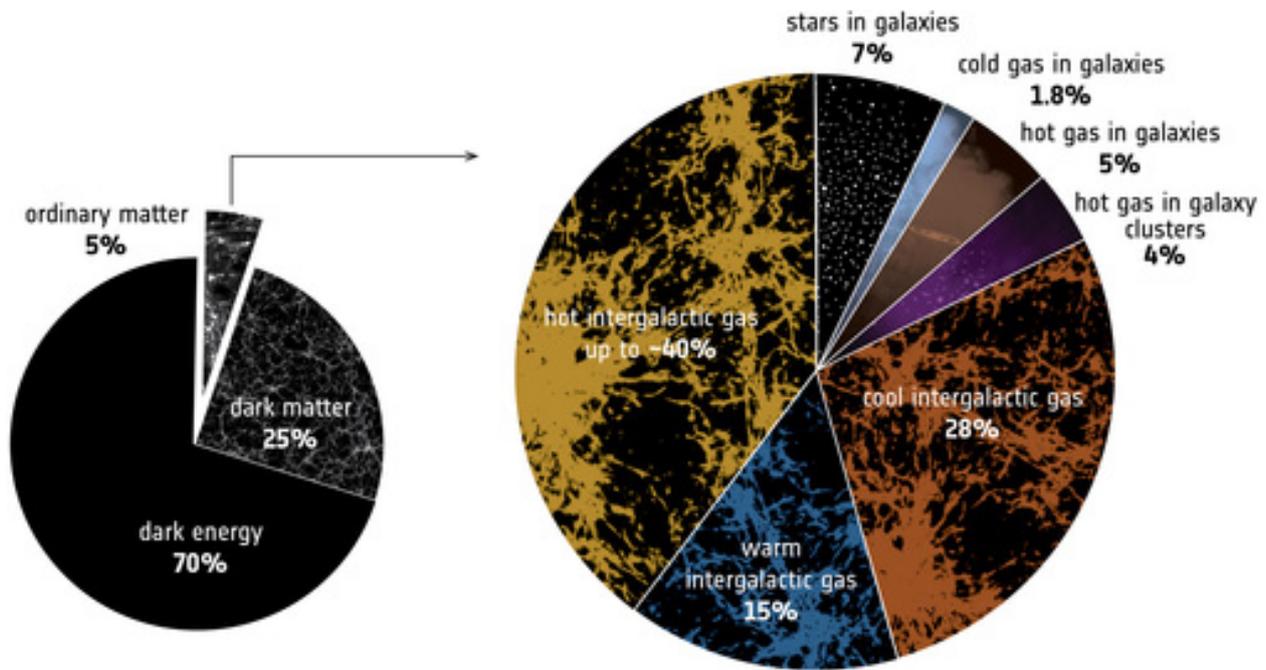


Figura 1. Gráfico Circular con la composición de nuestro Universo. Crédito: ESA.

La magia de la ingeniería dentro del satélite Euclid consistirá en un telescopio con un espejo de aproximadamente 1.2 metros de diámetro (diseñado y fabricado por Airbus), que estará equipado con dos instrumentos científicos: VIS (una cámara panorámica CCD en el espectro visible de gran calidad), NISP-P (un fotómetro triple del infrarrojo cercano en las bandas Y, J y H) y NISP-S (un espectrógrafo de hendidura conocido en inglés como “slitless spectrograph”). La integración de estos instrumentos dentro del módulo de carga concluyó a finales del 2020, y actualmente está listo para que la empresa Thales Alenia Space, en Turín, introduzca el módulo de carga en el módulo final para el lanzamiento.

¿Y quién se encargará de la explotación y análisis de los datos? En 2012, la ESA seleccionó a el Consorcio Euclid como el equipo responsable de la parte científica, producción de datos y control de los instrumentos. La motivación es clara: intentar responder preguntas relacionadas con la física fundamental y la cosmología referentes a la natu-

raleza de la energía oscura y su relación con la gravedad a partir del análisis de los observables primarios. En particular, desde un punto de vista de la cosmología teórica, la misión se centrará en estudiar si la energía oscura puede modelarse como una constante o si su comportamiento puede explicarse gracias a modelos de gravedad modificada. También se comprobarán diferentes modelos de Materia Oscura frente a los datos. Además, se espera que Euclid pueda dar información valiosa de manera indirecta sobre el universo temprano y sus condiciones iniciales, que fueron responsables de la formación de la estructura cósmica que vemos hoy en día.

Aparte de los observables principales, Euclid proporcionará una serie de observables no primarios que serán de mucha utilidad para otras ramas de la astrofísica, como por ejemplo, la relación de los observables principales con el Fondo Cósmico de Microondas (CMB), la correlación cruzada de la agrupación de galaxias con eventos de ondas gra-

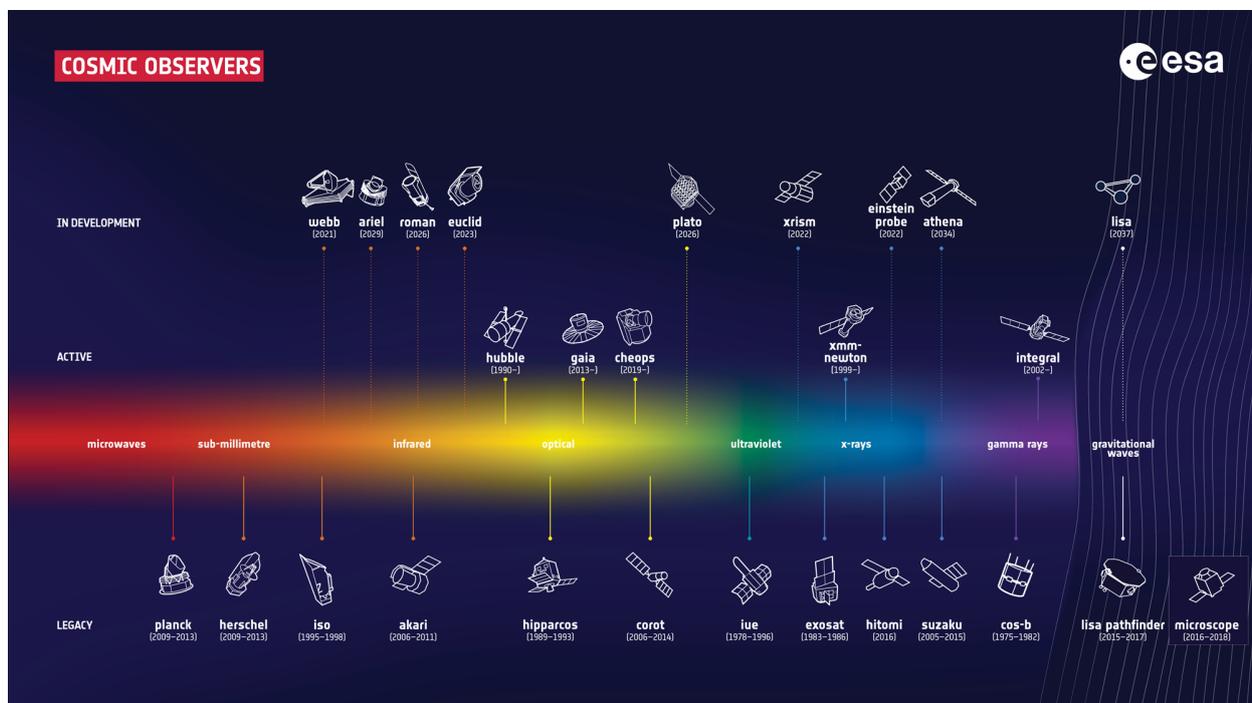


Figura 2. La flota de misiones de la ESA destinadas a hacer observaciones cosmológicas.

vitacionales detectados por LIGO (o próximamente con LISA), el estudio y comprensión de la evolución de las galaxias, detección de supernovas e incluso detección y estudio de exoplanetas. Para poder desarrollar todos los objetivos científicos de la misión, el Consorcio Euclid se compone de más de mil investigadores de diferentes ramas científicas: astrónomos, astrofísicos y físicos teóricos.

EXPLOTAR LOS DATOS

Para poder explotar los datos científicos de la misión, se utilizará fundamentalmente la estadística Bayesiana³ para obtener la distribución de probabilidad de los parámetros de los modelos cosmológicos mas allá del modelo estándar. Sin embargo, no será una tarea fácil.

En primer lugar, las imágenes originales serán procesadas para poder producir los vectores con los datos. Al mismo tiempo, se requerirán ‘recetas’ teóricas para modelar las pruebas observacionales

primarias para poder producir los vectores teóricos que contengan los parámetros del modelo cosmológico que se desee testear frente a los datos.

La herramienta que se utilizará para comparar los datos con la teoría será la ‘likelihood’. De esta manera, la ‘likelihood’ se convierte en una pieza clave para poder discernir que valores más probables tienen los parámetros de un modelo dado los datos. Su obtención es necesaria para poder llevar a cabo el estudio estadístico de los datos de Euclid. El Consorcio Euclid es consciente de su importancia y por lo tanto ha creado un grupo de trabajo específico para esta tarea. El Grupo de Trabajo Multidisciplinar Likelihood (“Inter-Science Task Force Likelihood”, IST:L) es el encargado de diseñar, modelar y crear esta likelihood, a la vez que tiene la responsabilidad de leer los vectores de los datos y de escribir el código para los vectores teóricos a partir de las recetas de los grupos científicos dentro de la colaboración. Es un grupo de trabajo

especial y multidisciplinar dentro del consorcio formado por científicos muy diferentes entre sí (físicos teóricos, cosmólogos observacionales, científicos de datos y de computación...), dirigido por tres líderes con amplia experiencia en análisis de datos y en el funcionamiento de Euclid. Nuestra tarea consiste no solo en obtener la likelihood desde un punto de vista teórico, sino que somos los responsables de generar los códigos computacionales para poder realizar el estudio estadístico completo para todo el consorcio una vez que los datos reales estén disponibles tras el lanzamiento del satélite Euclid.

Un año y medio después de la creación del IST:L, la primera versión de nuestro software vio la luz en un estreno interno dentro del consorcio. Su nombre es CLOE (Cosmological Likelihood and Observables in Euclid, traducido como Likelihood Cosmológica y Observables de Euclid). Todos los miembros del Consorcio Euclid pueden descargarse esta primera versión y probarla. Esta primera versión de CLOE ha sido el resultado no sólo del trabajo de investigación de una lista inmensa de científicos que trabajan en el consorcio, sino que recoge también la experiencia de muchos cosmólogos que están acostumbrados a realizar este tipo de estudios estadísticos. Por lo tanto, hemos intentado que CLOE sea lo más flexible, agradable e intuitivo posible para el usuario.

LA COSMOLOGÍA TIENE SU FUTURO EN LAS MEDICIONES DE LA ESTRUCTURA A GRAN ESCALA DEL UNIVERSO

Prácticamente todos los objetivos que Euclid tiene durante su misión serían imposibles de alcanzar por una única persona: se necesitan ingenieros, físicos, astrónomos, gestores, técnicos, etc. Un gran número de investigadores que trabajamos dentro de la Fuerza Especial de Trabajo de la Likelihood somos cosmólogos teóricos que pertenecemos al grupo científico de teoría dentro del consorcio Euclid. Nuestro trabajo principal consiste en desarrollar y estudiar modelos teóricos diferentes del Modelo Cosmológico Estándar para poder explicar ciertos fenómenos observacionales y predecir cómo se van a comportar las pruebas cosmológicas en estos nuevos modelos. Sin embargo, nuestro objetivo va un paso más allá: queremos estudiar nosotros mismos estos modelos frente a los datos, y por eso sabemos que las responsabilidades dentro de este grupo de trabajo son cruciales.

Los mayores avances científicos recientes realizados en el campo de la cosmología han venido de la mano de grandes colaboraciones científicas (WMAP, Planck, BICEP, LIGO/VIRGO...) y seguirán viniendo con la nueva generación de experimentos destinados a explotar la información codificada en la estructura a gran escala de nuestro universo (DES, SKA, Vera Rubin Observatory...) ^{4,5}, donde muchas mentes dispuestas a trabajar en equipo dejan de lado los individualismos para dar paso a la ciencia colaborativa. Este es el caso de Euclid. En la siguiente década, Euclid tendrá un impacto directo y fundamental en el campo de la cosmología. Representará un gran cambio de sentido en el enfoque de análisis de datos cosmológicos que se estaba llevando a cabo actualmente, cerrando finalmente la era de la cosmología de precisión con los estudios del Fondo Cósmico de Microondas y comenzando la era de precisión con los estudios de la estructura a gran escala del universo.

REFERENCIAS

- ¹ https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2020/09/aa33910-18/aa33910-18.html
- ² <https://arxiv.org/pdf/1110.3193.pdf>
- ³ <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1763.0053>
- ⁴ <https://www.darkenergysurvey.org/des-year-3-cosmology-results-papers/>
- ⁵ <https://spain.skatelescope.org>