

Unidad III.

Estructura a gran escala

Parte 8: Experimentos de energía oscura

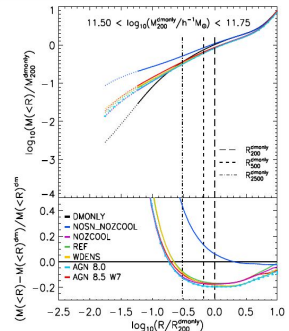
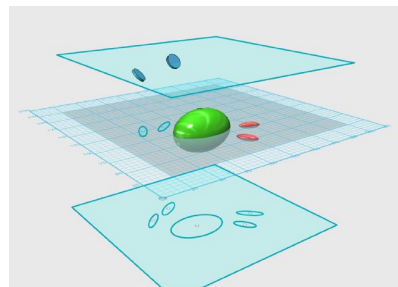
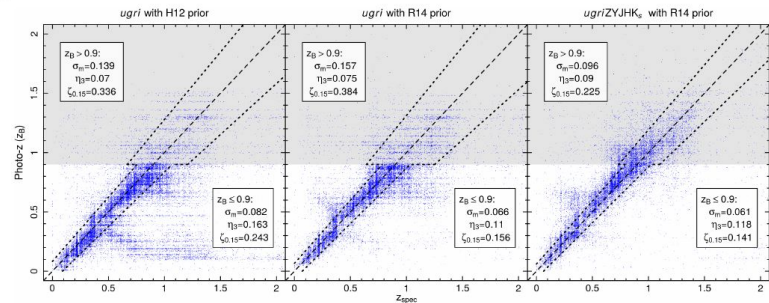
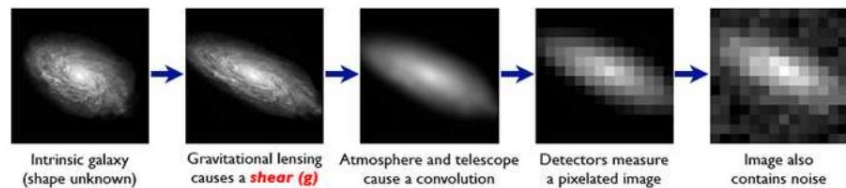
Recordatorio...

Efectos sistemáticos en lentes débiles

Efectos instrumentales se resumen en el problema de medición de elipticidades, complicado por anisotropías en la PSF (aditivo) y sesgos de ruido y modelo (multiplicativo).

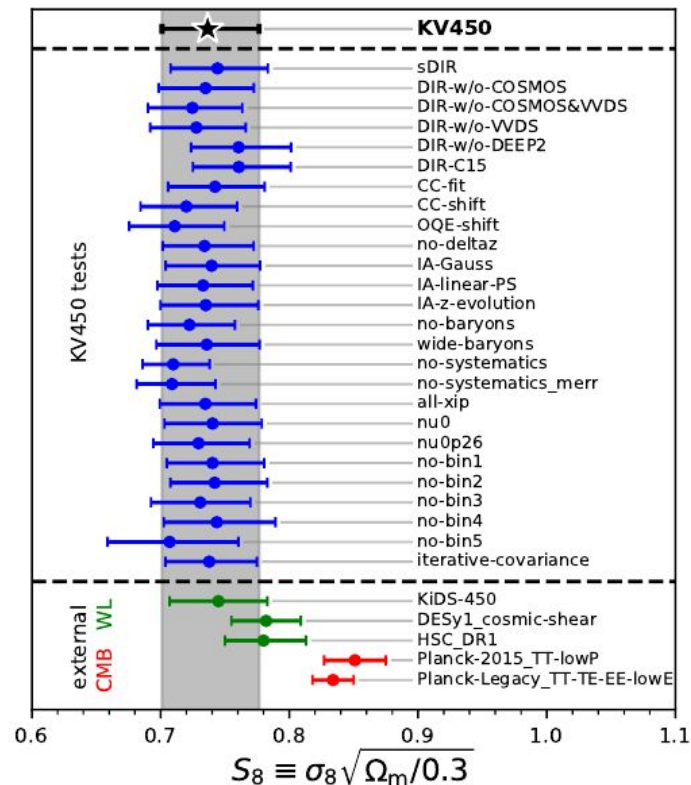
Efectos astrofísicos incluyen redshifts fotométricos, alineamientos intrínsecos de galaxias, y el efecto de los bariones en la distribución de masa.

Todos estos efectos se modelan y hacen crecer la incerteza de los resultados; el objetivo es que no dominen sobre la incerteza estadística. De todos estos efectos, el dominante en la actualidad son los redshifts fotométricos.



Cosmología con lentes débiles

El gráfico de la derecha resume estos efectos para el proyecto KiDS. Todos los efectos parecen estar incorporados correctamente en estos experimentos, en el sentido de que ningún efecto adicional considerado desplaza el valor central de S_8 más de 1σ .



Sigamos!

Experimentos de energía oscura actuales

En la actualidad, tres experimentos dominan la escena: KiDS, DES y HSC, los que ya encontramos en esta unidad.

- Kilo-Degree Survey (KiDS)+VISTA Kilo-Degree NIR Galaxy Survey (VIKING):

1350 deg², ugrIZYJHK, seeing ~0.8"

- Dark Energy Survey (DES):

5000 deg², grizY, seeing ~1"

- Hyper-SuprimeCam Strategic Survey Program (HSC-SSP):

1300 deg², grizY, seeing ~0.6"

Los experimentos de la próxima década

La década de los 2020 seguramente verá otra revolución en el estudio del Universo a gran escala, con proyectos capaces de producir imágenes de mayor calidad, en mayor cantidad, y con un conocimiento de las mediciones y su interpretación que no ha dejado de mejorar. Los experimentos que liderarán estudios de cosmología durante la próxima década son:

- Fotometría óptica/infrarroja: LSST, Euclid*, WFIRST*
- Espectroscopía óptica/infrarroja: PFS, DESI, HETDEX
- Rayos X: eROSITA
- Radio: SKA
- mm: Simons Observatory, CMB-S4

Los experimentos de la próxima década

La década de los 2020 seguramente verá otra revolución en el estudio del Universo a gran escala, con proyectos capaces de producir imágenes de mayor calidad, en mayor cantidad, y con un conocimiento de las mediciones y su interpretación que no ha dejado de mejorar. Los experimentos que liderarán estudios de cosmología durante la próxima década son:

- **Fotometría óptica/infrarroja: LSST, Euclid*, WFIRST***
- **Espectroscopía óptica/infrarroja: PFS, DESI, HETDEX**
- **Rayos X: eROSITA**
- Radio: SKA
- mm: Simons Observatory, CMB-S4

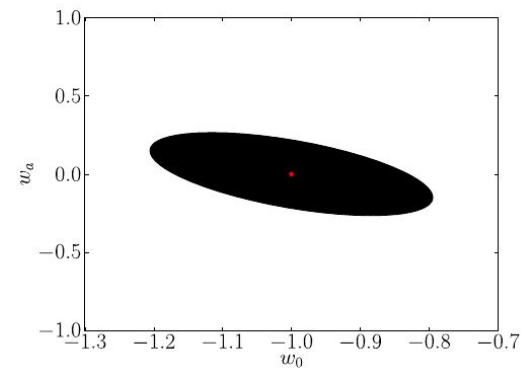
Generalmente estos experimentos presentan sus predicciones en términos de la **figura de mérito** de energía oscura. Esta figura de mérito corresponde básicamente al inverso del área ocupada por el contorno incluyendo el 95% de la probabilidad para un par de parámetros. En el caso de la energía oscura, estos dos parámetros son típicamente w_0 y w_a , donde

$$w(a) = w_0 + (1 - a)w_a$$

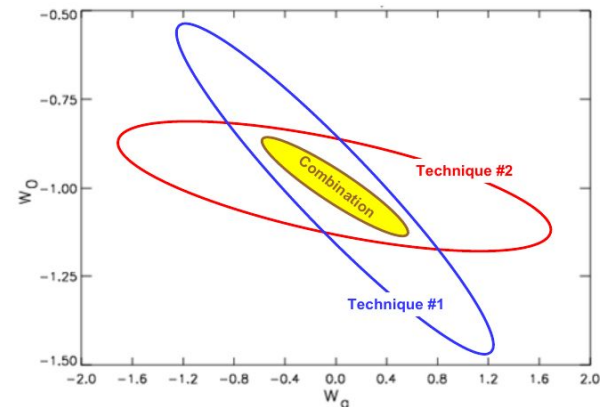
y $w(a)$ define la evolución de la ecuación de estado de la energía oscura. Se define así la figura de mérito de energía oscura:

$$\text{FoM} = \frac{1}{\pi \sigma(w_0) \sigma(w_a)}$$

El verdadero poder de los experimentos de energía oscura está en su sinergia: la combinación de observables que tienen distintas dependencias en los parámetros aumenta significativamente la figura de mérito.



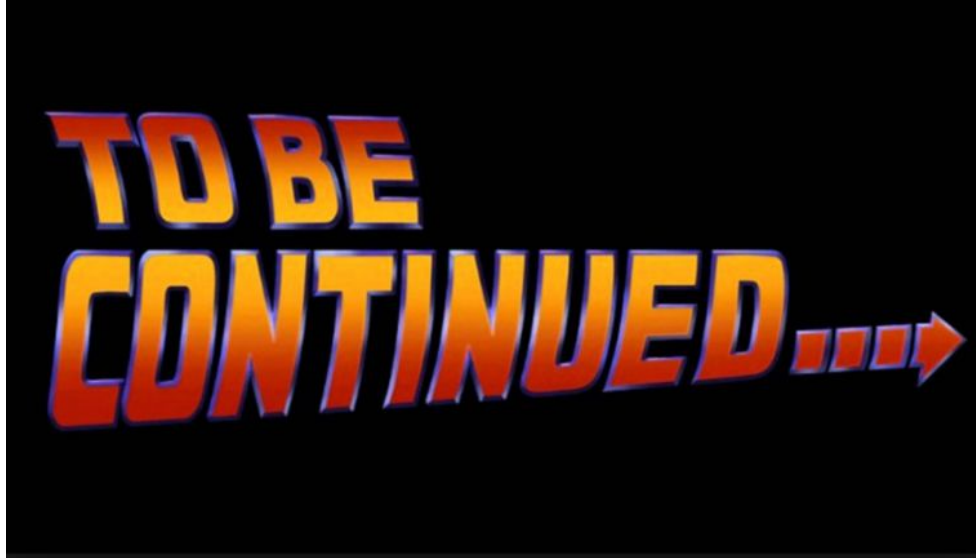
“La figura de mérito es inversamente proporcional a la cantidad de tinta necesaria para imprimir la elipse de arriba”. (Slosar 2010).



Albrecht et al. (2006)

LSST

Aprenderemos sobre LSST en una de las presentaciones durante Junio.

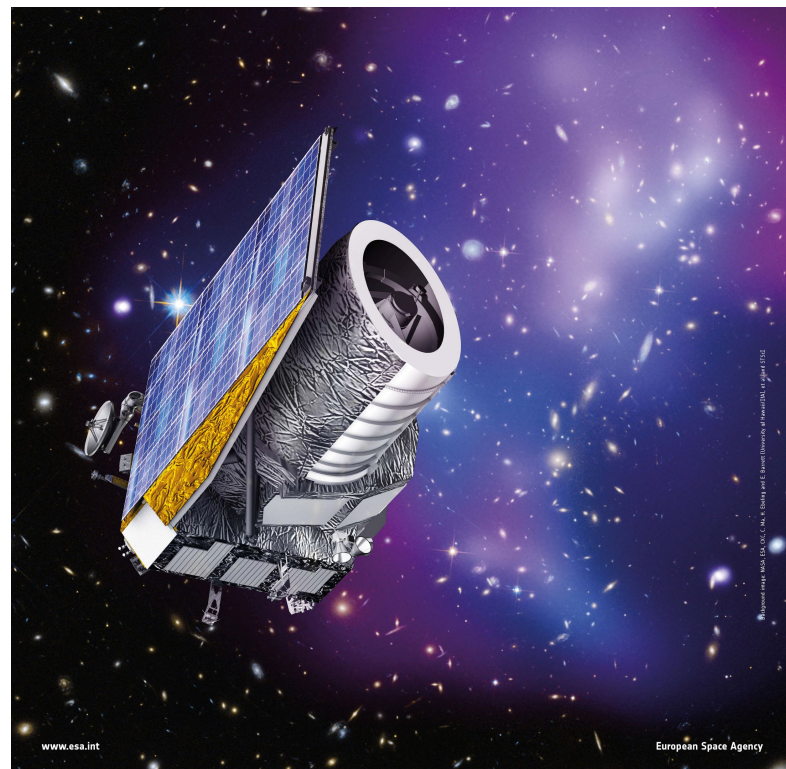


Euclid



El satélite Euclid es la principal misión de energía oscura de la agencia espacial europea (ESA). Sus principales objetivos son:

- FoM ~ 400 ($\sigma(w_0) \sim 0.02$, $\sigma(w_a) \sim 0.1$) usando lentes débiles y aglomeración de galaxias.
- Medir el exponente del factor de crecimiento, γ , con una precisión de 0.02 (1σ), para distinguir GR de algunos modelos de gravedad modificada.
- Medir la suma de la masa de neutrinos con una precisión menor a 0.03 eV.
- Determinar n_s , el índice espectral del espectro de potencias de materia primordial, a $\sim 1\%$, y el grado de no-Gaussianidad en las fluctuaciones primordiales.

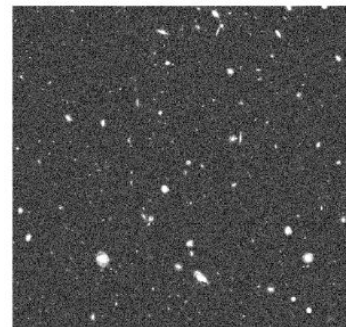
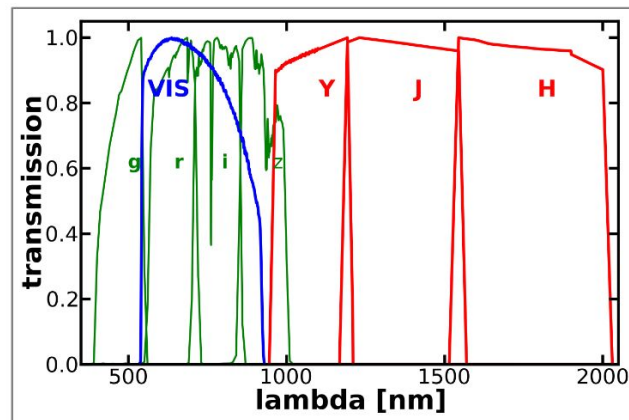


Euclid



Para cumplir estos objetivos, Euclid ha sido diseñado de la siguiente manera:

- Espejo primario de 1.2 m.
- Campo de visión: 0.55 deg^2 , resolución $\sim 0.2''$
- Mapeo amplio: 15.000 deg^2 (todo el cielo extragaláctico). Mapeo profundo: 40 deg^2 .
- Imágenes ópticas, imágenes y espectroscopía (baja resolución) infrarroja.
- Una sola banda óptica (VIS) para detectar la mayor cantidad posible de galaxias lejanas.
- Lanzamiento: fines 2021. Duración: 5 años
- Gran soporte de instrumentos en la Tierra, especialmente para determinar redshifts.



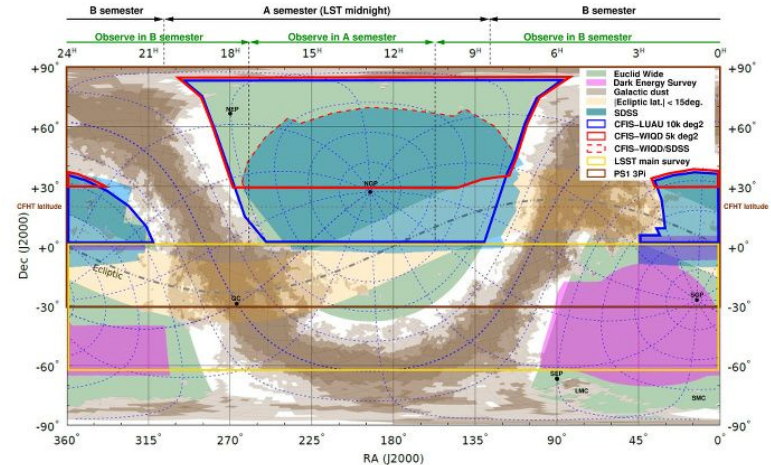
Laureijs et al. (2011)

Euclid



Para cumplir estos objetivos, Euclid ha sido diseñado de la siguiente manera:

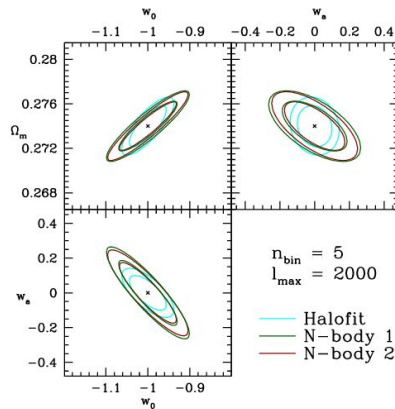
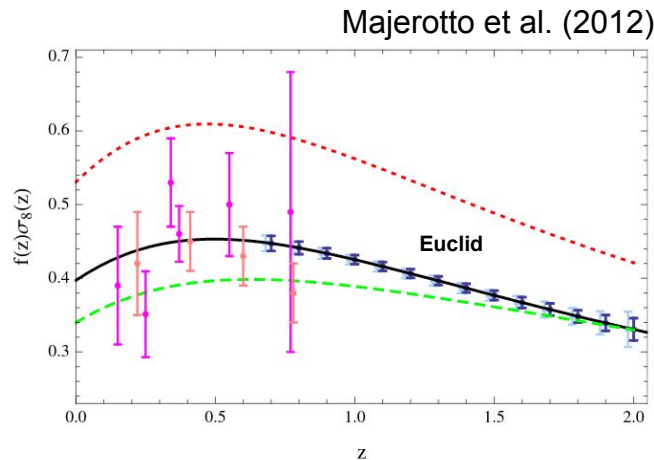
- Espejo primario de 1.2 m.
- Campo de visión: 0.55 deg^2 , resolución $\sim 0.2''$
- Mapeo amplio: 15.000 deg^2 (todo el cielo extragaláctico). Mapeo profundo: 40 deg^2 .
- Imágenes ópticas, imágenes y espectroscopía (baja resolución) infrarroja.
- Una sola banda óptica (VIS) para detectar la mayor cantidad posible de galaxias lejanas.
- Duración: 5 años (Lanzamiento: fines 2021)
- Gran soporte de instrumentos en la Tierra, especialmente para determinar redshifts.



Euclid

Principales observables:

- Aglomeración:
 - 3-D usando espectroscopía infrarroja
 - $z = 0.9 - 2.0$
 - 50 millones de objetos
 - BAO, RSD, Alcock-Paczynski, ...
- Lentes débiles:
 - Mediciones de *cosmic shear* en 3D
 - $z = 0 - 2.0$
 - Mediciones de elipticidad y photo-z usando fotometría óptica e infrarroja para 1500 millones de galaxias
 - Densidad de fuentes ~ 30 gal/arcmin²



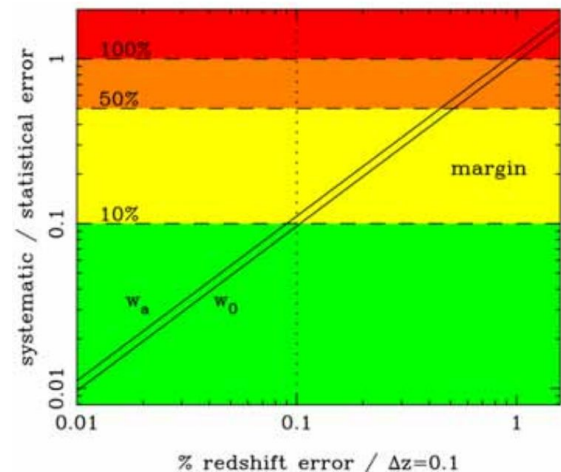
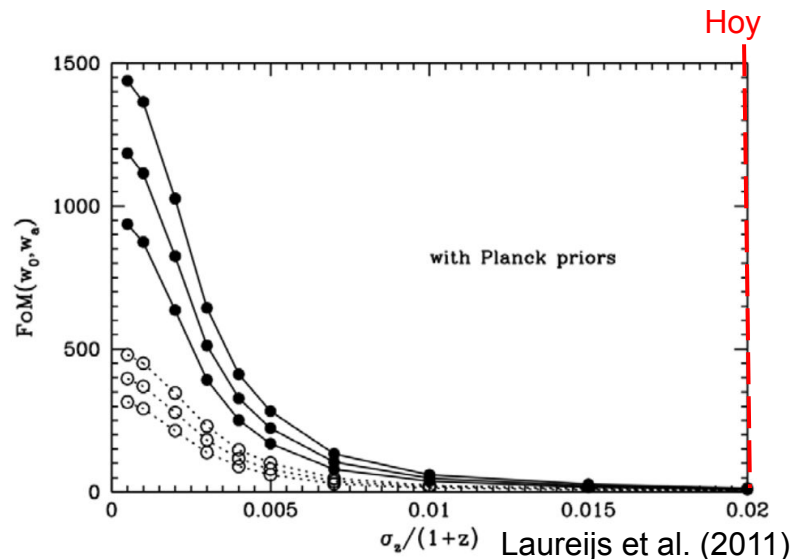
Amendola et al. (2018)

Euclid

Como ya dijimos, la precisión de los redshifts fotométricos es el efecto sistemático más preocupante para las mediciones de lente débil ahora y en el futuro cercano. Aquí se muestra cómo depende la figura de mérito de la energía oscura en la incerteza en redshifts fotométricos.

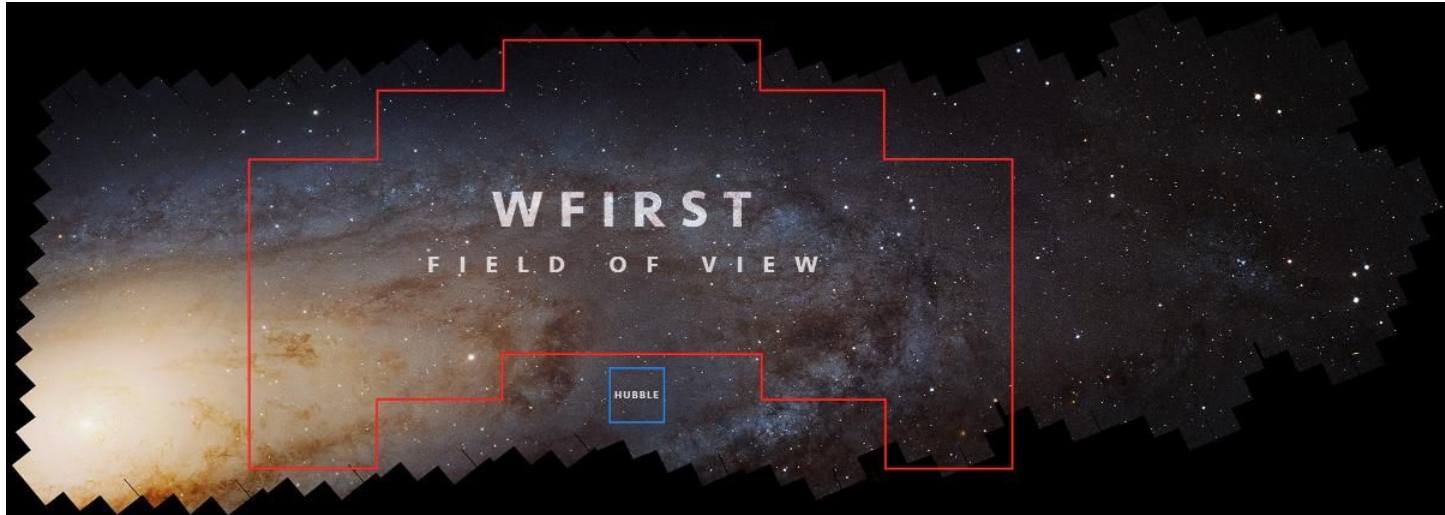
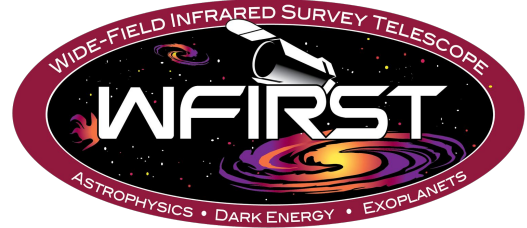
Abajo, la contribución de efectos sistemáticos a la incerteza total, como función nuevamente de la incerteza en redshifts fotométricos.

Los requerimientos en términos de redshifts fotométricos son muy estrictos. Para eso Euclid cuenta con un gran soporte de observatorios en la Tierra que tomarán tanto imágenes como espectros de miles de fuentes.



WFIRST-AFTA

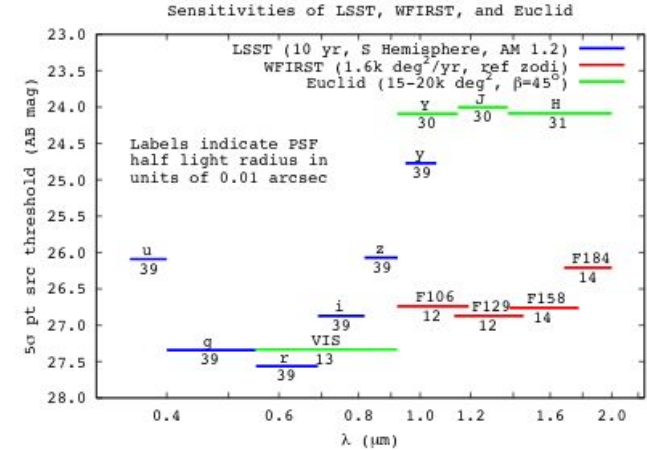
Wide-Field Infrared Survey Telescope Astrophysics Focused Telescope Assets, financiado y desarrollado por NASA. Casi fue decomisionado, de no ser por la donación del espejo (y uno de respuesto) por parte de la Oficina Nacional de Reconocimiento del ejército de EEUU.



WFIRST-AFTA

En cosmología, busca responder 3 preguntas clave:

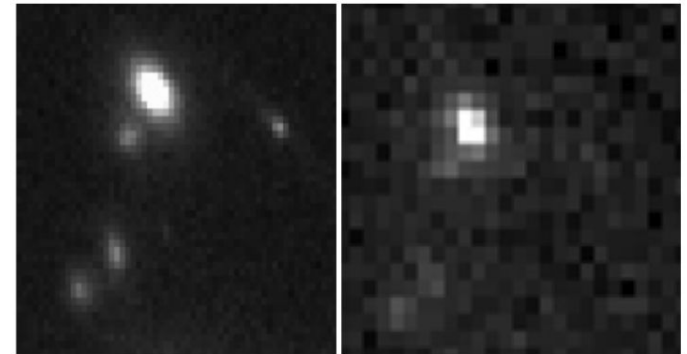
- ¿Por qué se está acelerando el Universo?
 - SN, BAO(z), lentes débiles, cúmulos
- ¿Qué es la materia oscura?
 - subhalos de materia oscura alrededor de la Vía Láctea, cúmulos, lentes fuertes
- ¿Cuáles son las propiedades de los neutrinos?
 - tasa de crecimiento y espectro de potencias



Simulaciones:

WFIRST

Euclid



WFIRST-AFTA

Algunas especificaciones:

- Espejo primario de 2.4 m
- Campo de visión: 0.28 deg^2 , resolución $1.2''$
- Imágenes y espectroscopía de baja resolución en el infrarrojo cercano (YZJHFW $0.76 - 2.0 \mu\text{m}$), con espectroscopía de campo integral
- Mapeo de Alta Latitud: 2000 deg^2 . Mapeo para supernovas: 28 deg^2 cada 5 días. Mapeo de exoplanetas: 2.8 deg^2 cada 15 min.
- Lanzamiento: 2025
- Duración del proyecto principal: 2 años.
Telescopio abierto a la comunidad al menos 5 años (25%).

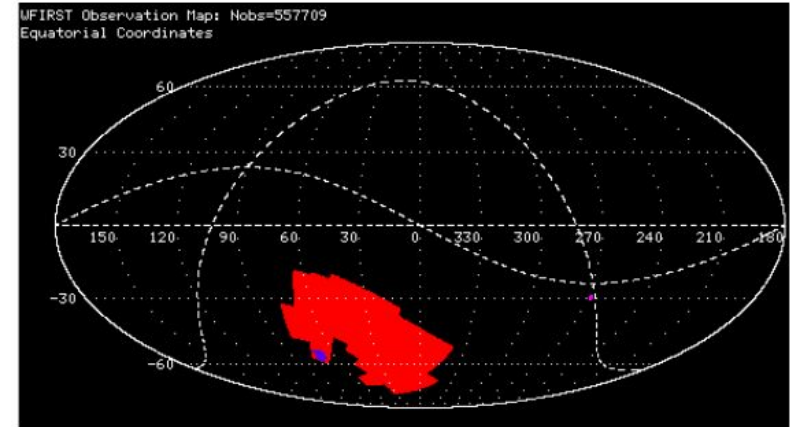
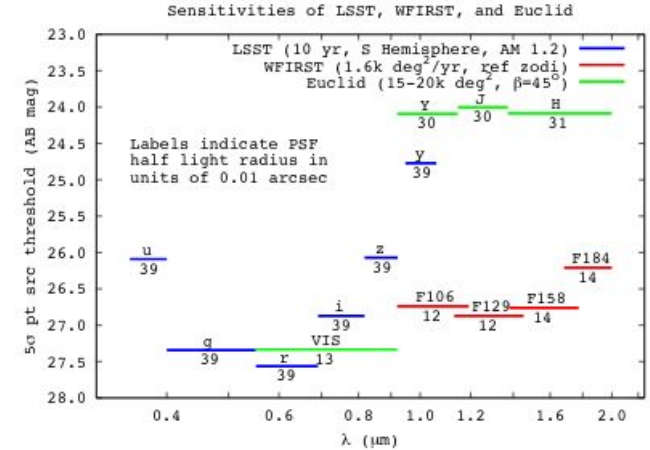


Figure 2.39: The footprint of the WFIRST 2.4 observations. The red region shows the WFIRST 2.4 observations. The blue region shows the LSST observations.

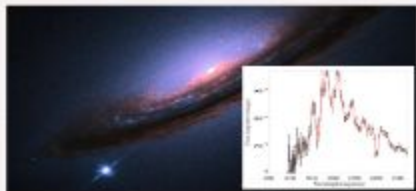
The WFIRST-2.4 Dark Energy Roadmap

Supernova Survey

wide, medium, & deep imaging
+
IFU spectroscopy
2700 type Ia supernovae
 $z = 0.1-1.7$



standard candle distances
 $z < 1$ to 0.20% and $z > 1$ to 0.34%



High Latitude Survey

spectroscopic: galaxy redshifts
20 million H α galaxies, $z = 1-2$
2 million [OIII] galaxies, $z = 2-3$

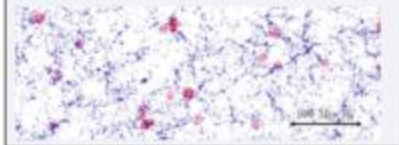
imaging: weak lensing shapes
500 million lensed galaxies
40,000 massive clusters



standard ruler

distances
 $z = 1-2$ to 0.4%
 $z = 2-3$ to 1.3%

expansion rate
 $z = 1-2$ to 0.72%
 $z = 2-3$ to 1.8%



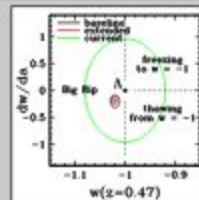
dark matter clustering

$z < 1$ to 0.16% (WL); 0.14% (CL)
 $z > 1$ to 0.54% (WL); 0.28% (CL)
1.2% (RSD)



history of dark energy
+
deviations from GR

$w(z)$, $\Delta G(z)$, $\Phi_{\text{REL}}/\Phi_{\text{NREL}}$

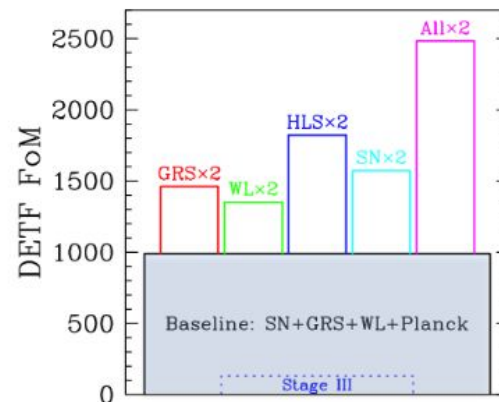
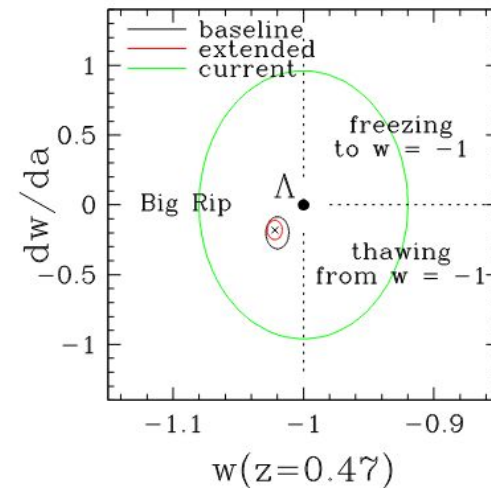


WFIRST-AFTA

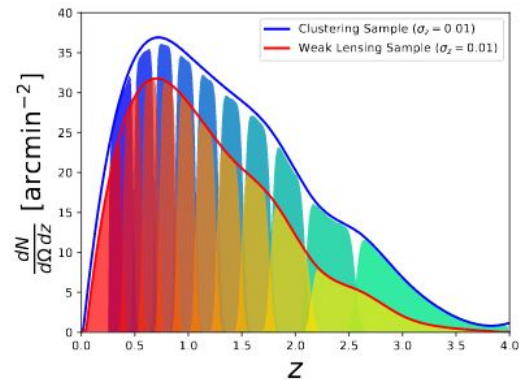
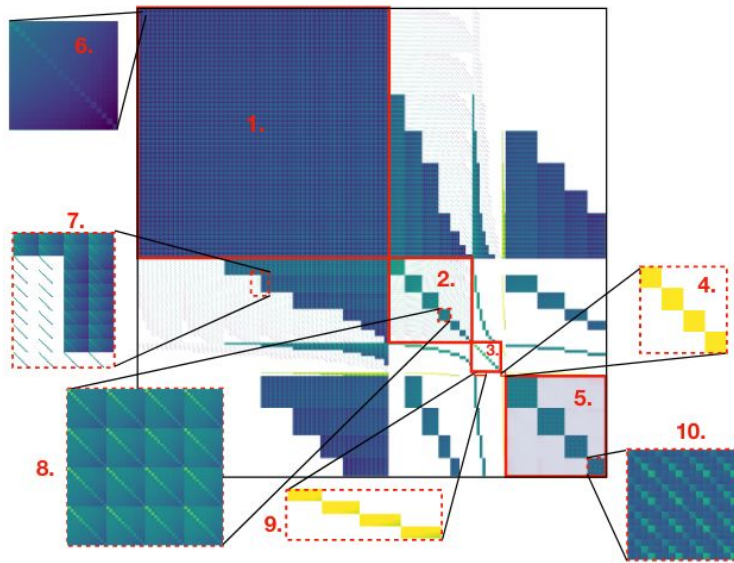
Energía oscura con WFIRST:

- 2700 SN hasta $z=1.7$, en un período de 2 años
- BAO con H α a $z=1-2$ y [OIII] a $z=2-3$
- 40.000 cúmulos de galaxias sobre $10^{14} M_{\text{sun}}$
- ~ 50 gal/arcmin² para lentes débiles

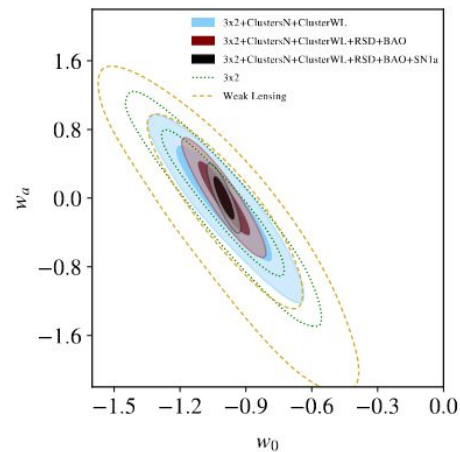
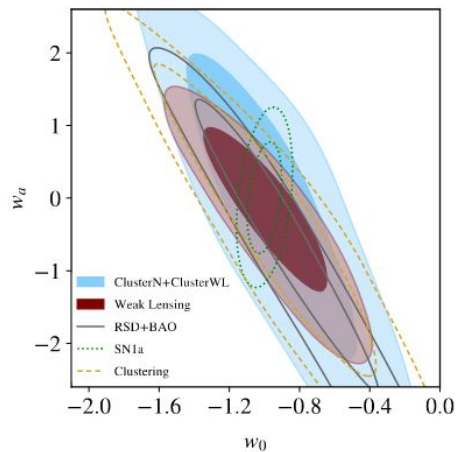
WFIRST SN + gg + WL



Combinación de observables



Eifler et al. (2020)



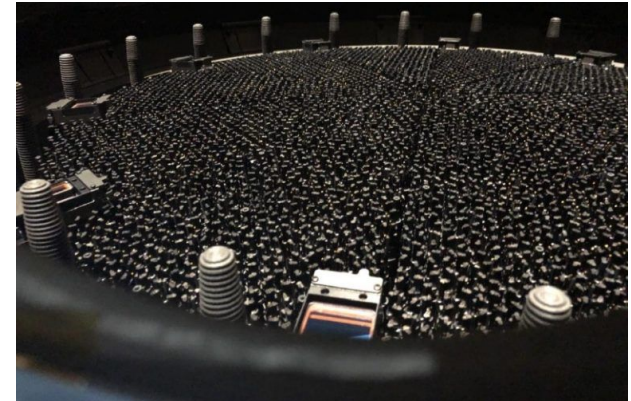
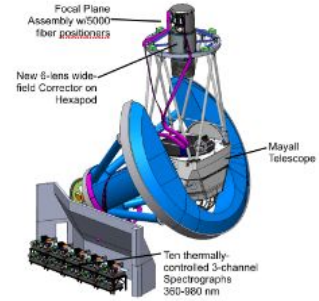
Dark Energy Spectroscopic Instrument



DESI es un espectrógrafo montado desde 2018 en el telescopio Mayall de 4 m en Kitt Peak, EEUU. Su principales objetivos son:

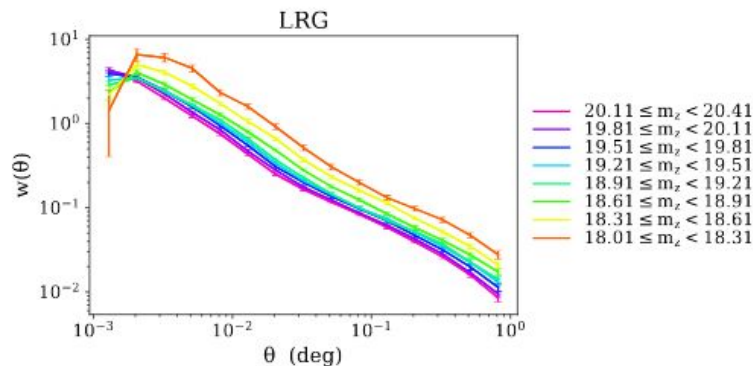
- Determinar la naturaleza de la energía oscura midiendo la escala de BAO
- Determinar la tasa de crecimiento de estructura usando RSD

Esto lo conseguirá midiendo los redshifts de 34 millones de galaxias hasta $z=2$, usando 5000 fibras controladas robóticamente sobre un campo de 8 deg^2 en el cielo, cubriendo longitudes de onda 360-980 nm.

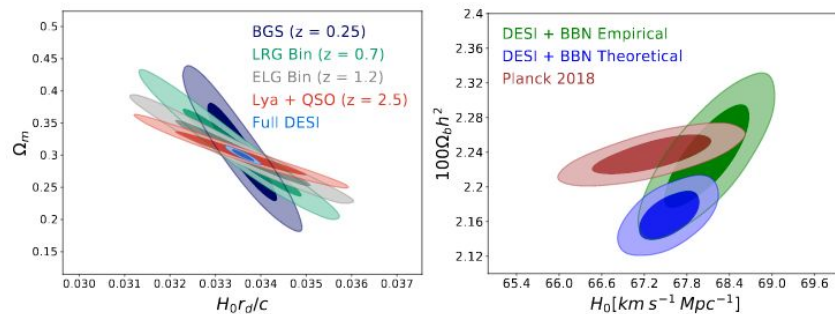


DESI

En la figura de abajo es evidente el valor de cubrir un gran rango de redshifts. Esto permite romper la degeneración entre parámetros cosmológicos que gobiernan la expansión del Universo y el crecimiento de estructuras.



Kitanidis et al. (2019)



Cuceu et al. (2020)

eROSITA



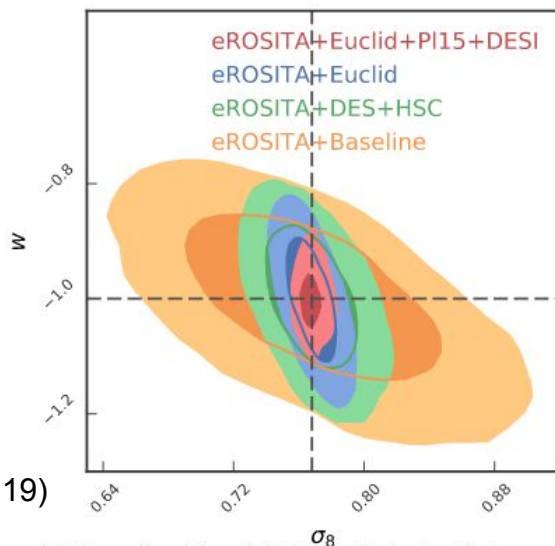
“extended ROentgen Survey with an Imaging Telescope Array”. Telescopio de que observará todo el cielo en rayos X medianos, hasta 10 keV. Fue lanzado exitosamente en Julio 2019. Es un consorcio entre las agencias científicas Alemana y Rusa (que se repartieron la mitad del cielo para cada una).

Su principal objetivo es determinar la naturaleza de la energía oscura y el crecimiento de estructuras a través de la abundancia y distribución de cúmulos de galaxias. Para esto, observará el cielo completo múltiples veces durante 7 años.

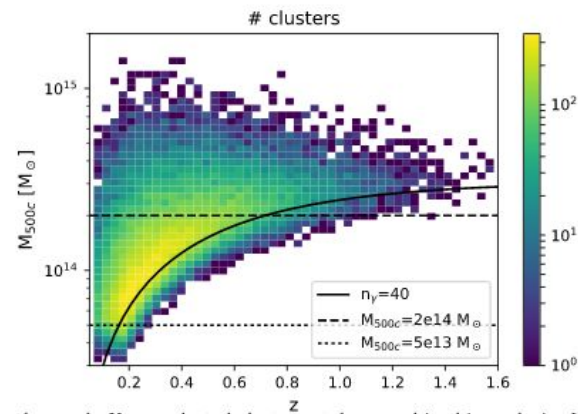
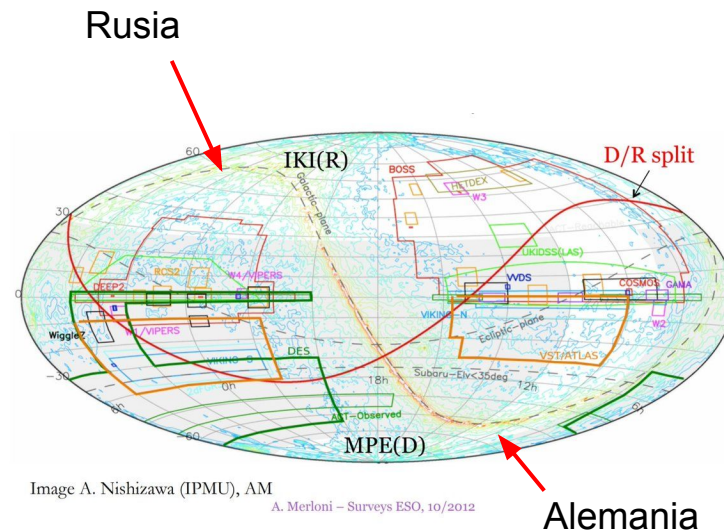


eROSITA

- 100.000 cúmulos de galaxias hasta $z \sim 1.5$
- Resolución: 15 arcsec (casi XMM-Newton)



Grandis et al. (2019)



Referencias

- Albrecht, A., et al., 2006. *Report of the Dark Energy Task Force*. [arXiv:astro-ph/0609591](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0609591)
- Amendola, L., et al., 2018. *Cosmology and fundamental physics with the Euclid satellite*. [LRR, 21, 2](https://arxiv.org/abs/1804.07333)
- Cuceu, A., et al., 2019. *Baryon Acoustic Oscillations and the Hubble constant: past, present and future*. [JCAP, 10, 044](https://arxiv.org/abs/1907.00072)
- Eifler, T., et al., 2020. *Cosmology with the Wide-Field Infrared Survey Telescope -- Multi-Probe Strategies*. [arXiv:2004.05271](https://arxiv.org/abs/2004.05271)
- Grandis, S., et al., 2019. *Impact of weak lensing mass calibration on eROSITA galaxy cluster cosmological studies - a forecast*. [MNRAS, 488, 2041](https://arxiv.org/abs/1907.00072)
- Kitanidis, E., et al., 2019. *Imaging Systematics and Clustering of DESI Main Targets*. [arXiv:1911.05714](https://arxiv.org/abs/1911.05714)
- Laureijs, R., et al., 2011. *Euclid Definition Study Report*. [arXiv:1110.3193](https://arxiv.org/abs/1110.3193)
- Majerotto, E., et al., 2012. *Probing deviations from general relativity with the Euclid spectroscopic survey*. [MNRAS: 424, 1392](https://arxiv.org/abs/1204.3625)
- Spergel, D., et al., 2013. *Wide-Field InfraRed Survey Telescope-Astrophysics Focused Telescope Assets WFIRST-AFTA Final Report*. [arXiv:1305.5422](https://arxiv.org/abs/1305.5422)