

Astrofísica - I Introducción



3 - Telescopios

Astrofísica - I Introducción

3 - Telescopios

- Introducción
- Telescopios: colectores de luz y formación de imágenes
- Óptica de telescopios
 - Relación focal
 - Aberraciones
- Telescopios refractores y reflectores
- Estructuras, monturas y cúpulas
- Telescopios grandes
- Óptica activa y adaptativa
- Telescopios gigantes
- El proceso de medida
 - Fotometría
 - Espectroscopía
 - Detectores
- El espectro electromagnético
- Radiotelescopios. Interferometría
- Telescopios espaciales

Introducción

La astrofísica es una ciencia observacional

Desde el primer telescopio de Galileo, hace 400 años, hasta los actuales telescopios gigantes y los telescopios espaciales, los avances en instrumentación astronómica han impulsado la Astrofísica, incorporando al conocimiento nuevos objetos y fenómenos, e impulsando nuevas teorías y modelos

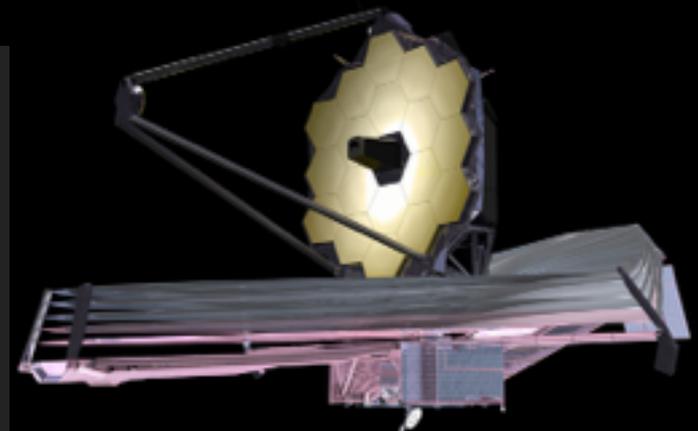
Las necesidades de desarrollar nuevas tecnologías para los telescopios modernos produce un retorno tecnológico en la sociedad actual

La astronomía actual hace uso de todo el espectro electromagnético. En los últimos años se han abierto nuevas ventanas al Universo



Principales funciones de un telescopio:

1. Recoger el máximo número de fotones (en todo el espectro electromagnético) de los objetos celestes para llegar a objetos más débiles con mayor señal
2. Aumentar el detalle (resolución angular) con que se pueden observar objetos extensos o separados por pequeños ángulos

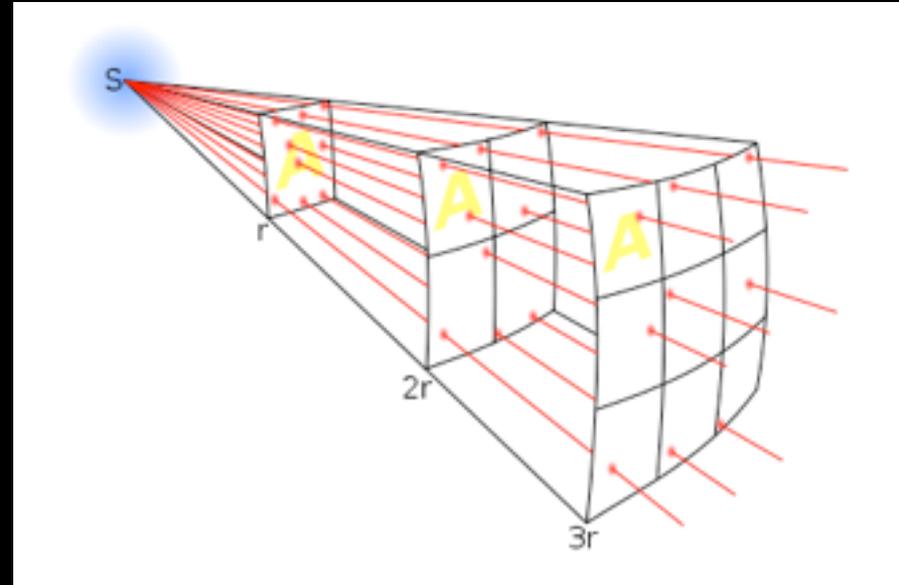


Telescopios como colectores de luz

Los objetos celestes que observamos tienen una luminosidad generalmente muy elevada.

Su distancia a nosotros es enorme y por lo tanto el flujo en la Tierra es pequeño.

Necesitamos recoger el mayor número de fotones para disponer de una señal medible.



Ley del cuadrado de la distancia

$$F = \frac{L}{4\pi d^2}$$

flujo F : energía recibida por unidad de área y tiempo
luminosidad L : energía emitida por unidad de tiempo
distancia d

El Sol (-26.74^{mag}):

$$L = 3.9 \times 10^{26} \text{ W}$$

$$d = 1 \text{ UA} = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$$

$$F = 1360 \text{ W/m}^2$$

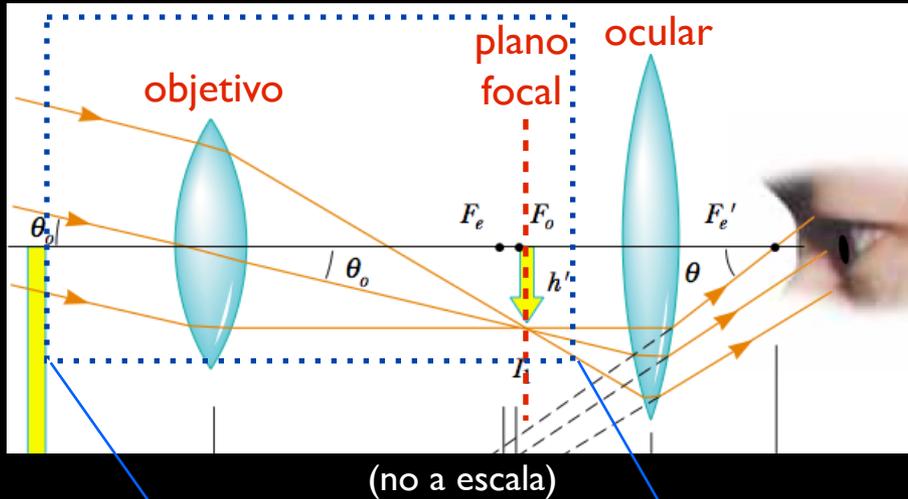
Para fotones de 550 nm:

$$n = 3.8 \times 10^{21} \text{ fot./s/m}^2$$

55 mag más débil (28^{mag}):

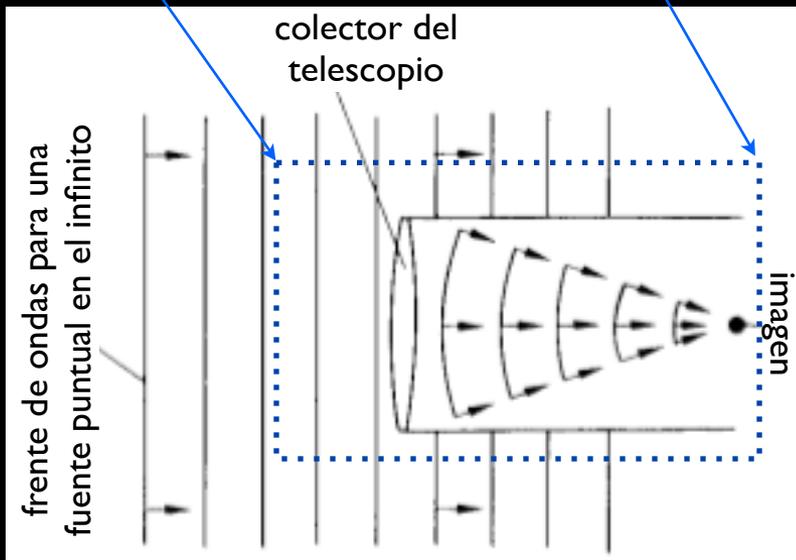
$$n = 0.4 \text{ fot./s/m}^2$$

Los telescopios forman imágenes



Además de su capacidad colectora, la formación de imágenes es la característica fundamental de los telescopios

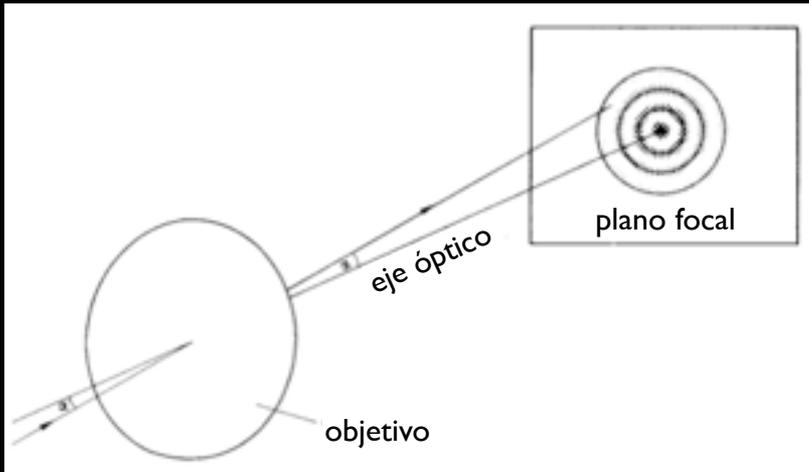
Para un objeto muy distante (rayos paralelos) el objetivo forma una imagen en el plano focal (a una distancia F_o del objetivo)



El frente de ondas de una fuente puntual lejana son planos paralelos. El colector del telescopio (objetivo) altera el frente de ondas para producir la imagen en el plano focal.

Se producen interferencias entre los diferentes puntos del objetivo \rightarrow la imagen de un objeto puntual no es puntual sino que sigue un patrón de difracción

Los telescopios forman imágenes



Disco de Airy

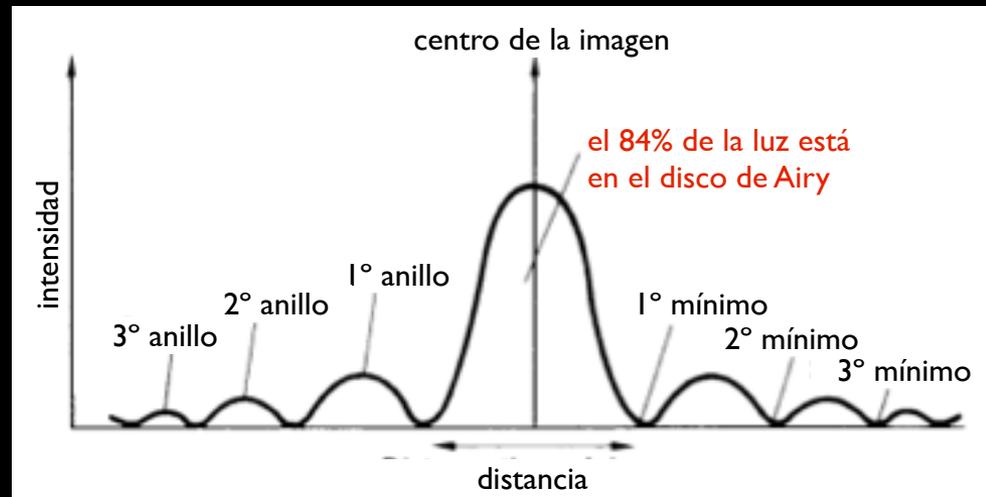
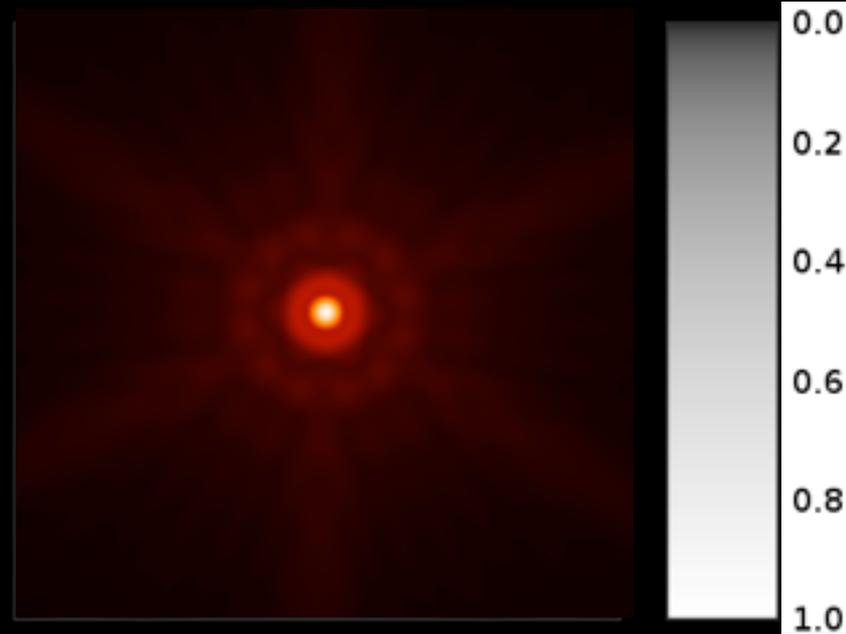
La figura de difracción por una abertura circular tiene una zona central brillante (disco de Airy) y anillos concéntricos alrededor.

Radio del disco de Airy:

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (\text{en radianes})$$

D : diámetro del objetivo

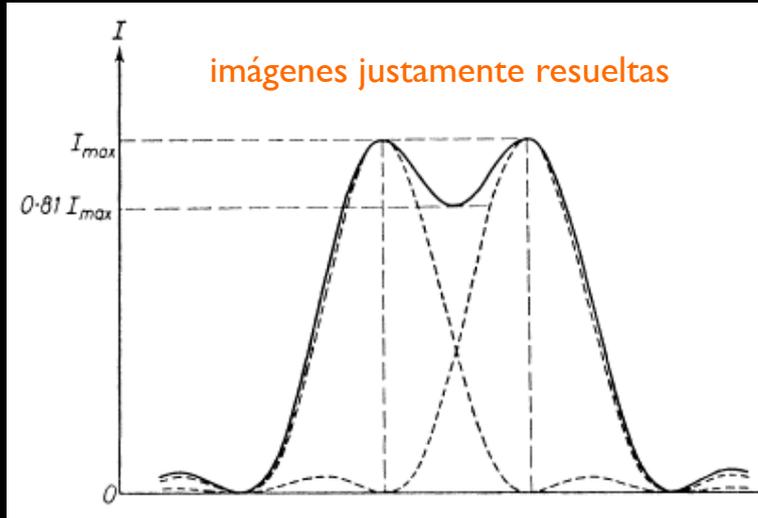
λ : longitud de onda de la radiación



A mayor diámetro, menor será el disco de Airy

Los telescopios forman imágenes

La existencia de los patrones de difracción impide que se puedan distinguir dos objetos muy cercanos



Criterio de Rayleigh:

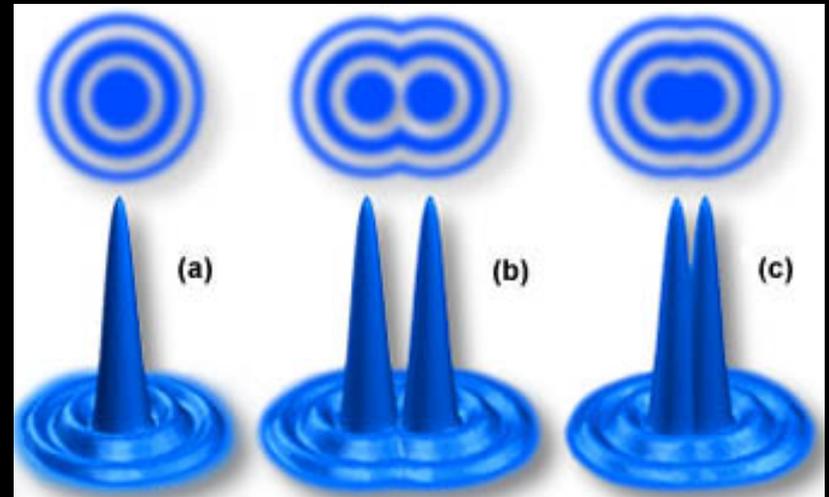
Dos imágenes se consideran resueltas si la distancia angular entre ellas es mayor que el radio del disco de Airy (el centro de un patrón de difracción coincide con el mínimo del otro)

$$\theta_R > 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

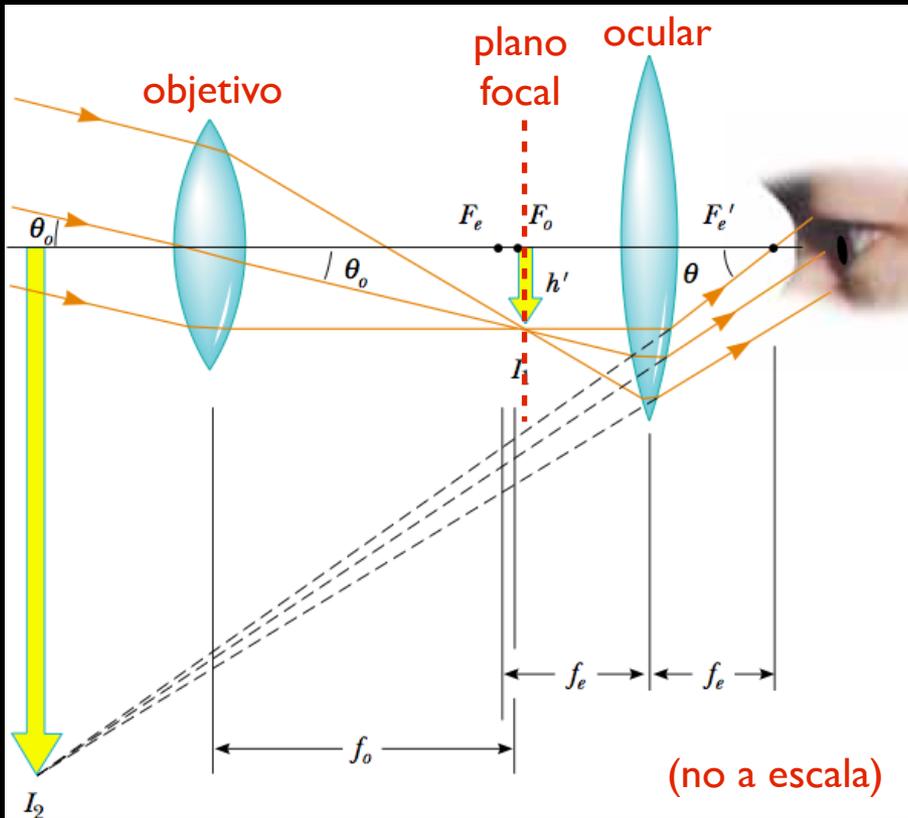
Resolución espacial: mide la capacidad de observar detalles en los objetos o de observar dos objetos muy cercanos entre sí

θ_R : **poder de resolución angular teórico** de un telescopio

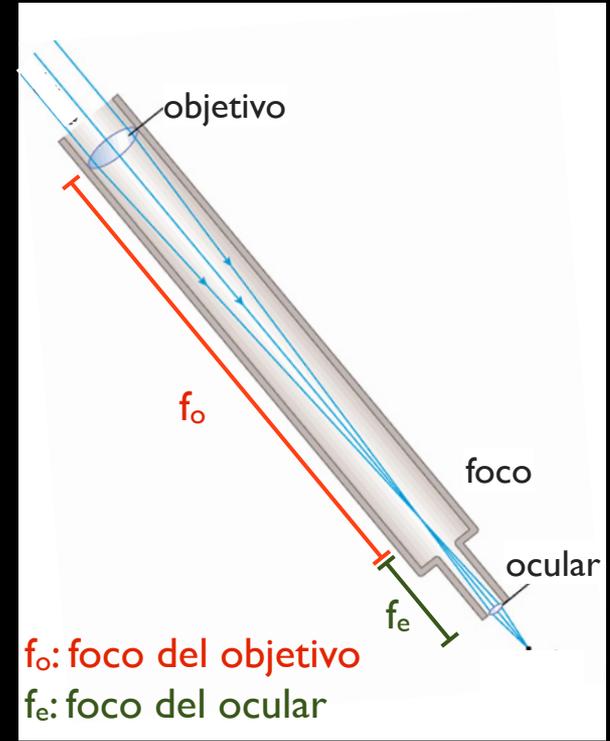
(Un valor alto de D no es sólo necesario para recoger más luz, sino también para resolver objetos más cercanos)



Óptica de un telescopio



a escala



Telescopio en uso visual: el objetivo del telescopio forma la imagen en el plano focal. Allí se observa con detalle con la ayuda de un ocular. El foco del objetivo (F_o) se hace coincidir aproximadamente con el foco del ocular (F_e) y la segunda imagen se forma en el infinito

$$\tan \theta_0 \approx \theta_0 = -\frac{h'}{f_o}$$

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{h'}{f_e}$$

El **aumento angular** es el cociente entre las distancias focales del objetivo y del ocular:

$$m = \frac{\theta}{\theta_0} = \frac{h'/f_e}{-h'/f_o} = -\frac{f_o}{f_e}$$

Relación focal

Se define la **relación focal** de un telescopio como la razón entre la distancia focal del objetivo y su diámetro:

$$F = \frac{f}{D}$$

La cantidad de energía recogida es proporcional al área del objetivo y se reparte por todo el área de la imagen. La densidad de flujo (energía/unidad de área) en el plano de la imagen, aumenta con el área del objetivo y disminuye con la distancia focal (a mayor f se reparte en un área mayor):

$$\text{Iluminación} \propto \left(\frac{D}{f}\right)^2 = \frac{1}{F^2}$$

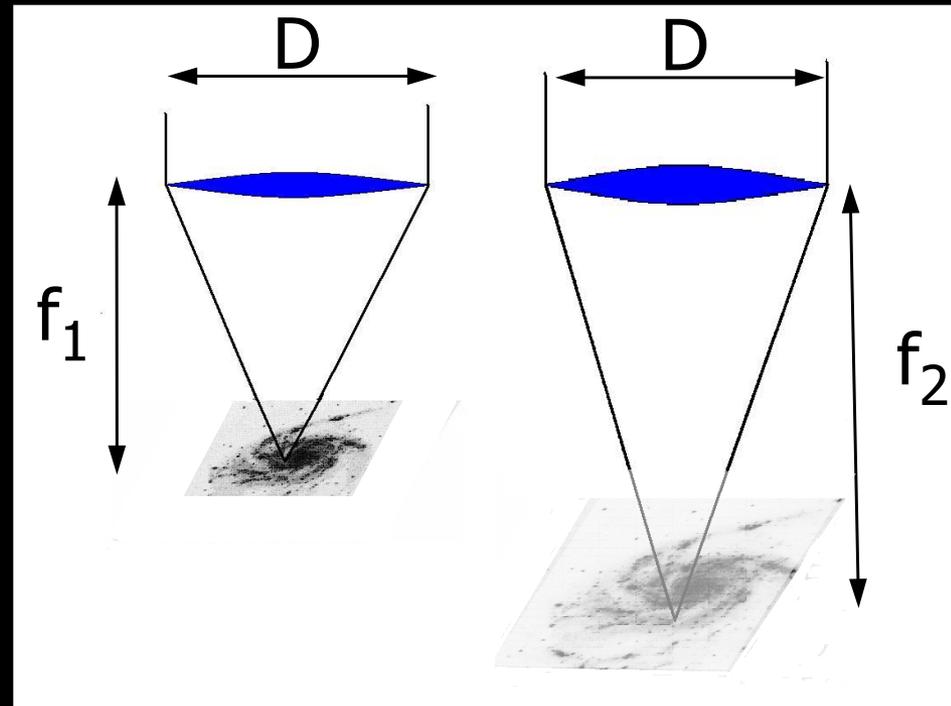
A la relación focal F se le llama **apertura relativa** (también número F)

Ejemplo: $f = 4 D \Rightarrow F = 4$ ó $f/4$

Los telescopios de menor relación focal son más luminosos

($F = 8$ es cuatro veces menos luminoso que $F = 4$)

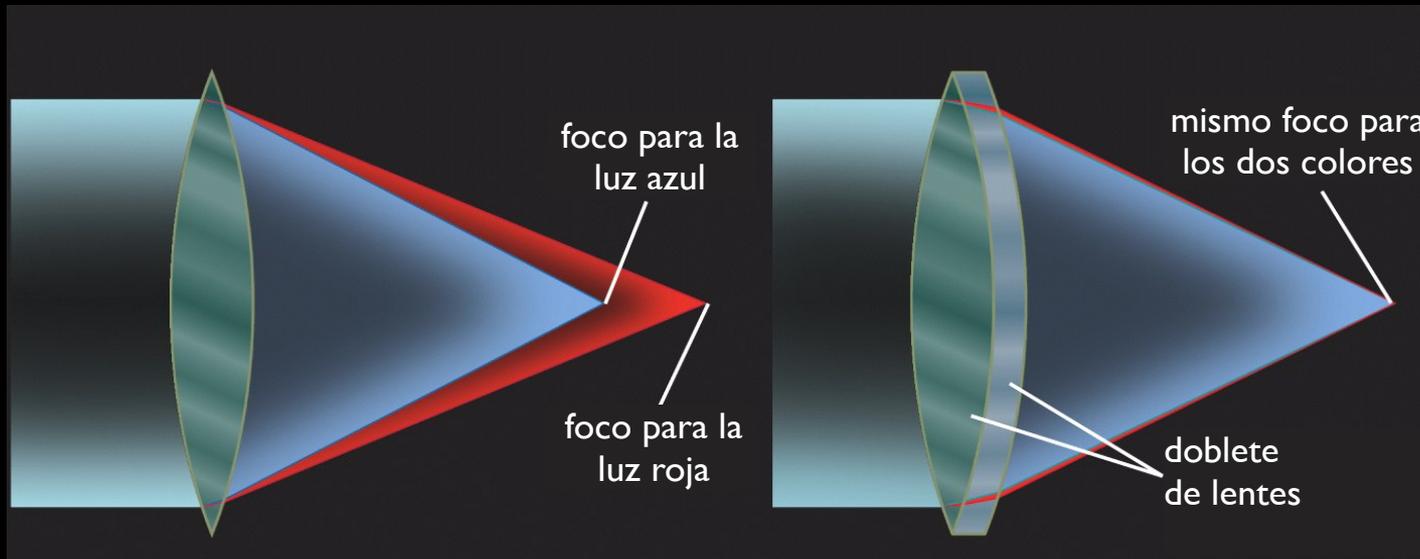
Para dos telescopios con igual apertura, es más luminoso el de menor distancia focal ($f_1 < f_2$)



Aberraciones

Las aberraciones de los telescopios degradan la calidad de las imágenes: aberración cromática, aberración esférica, coma, astigmatismo, curvatura de campo, distorsión

Aberración cromática:



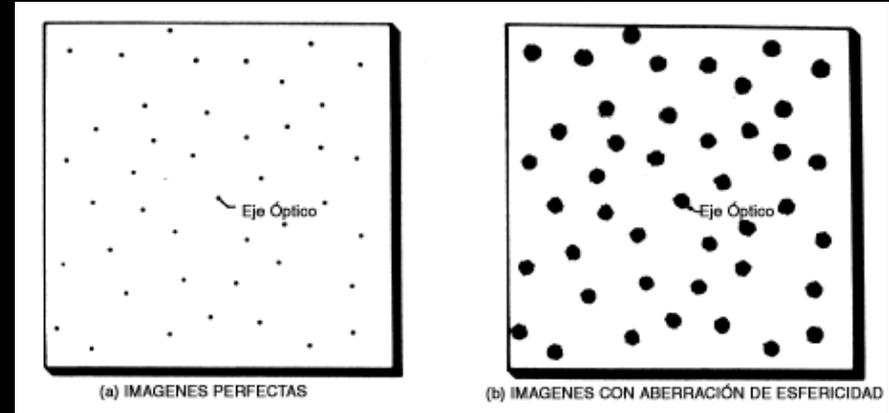
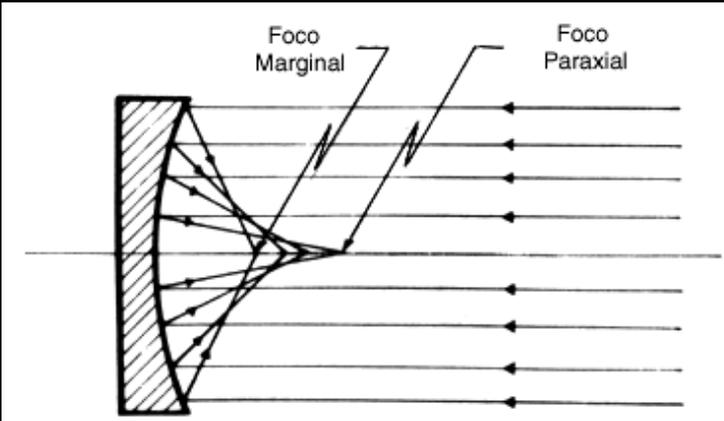
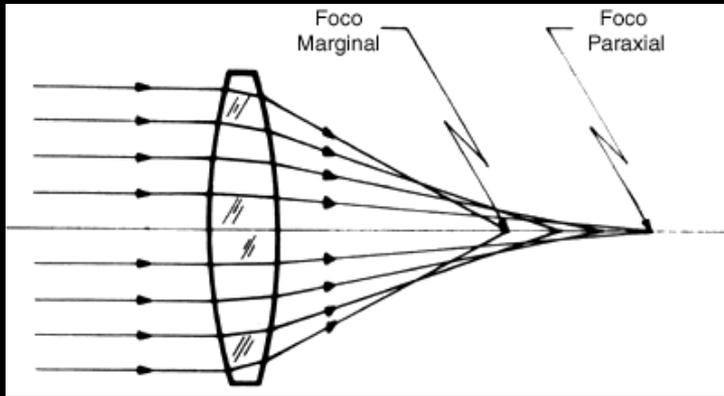
La distancia focal del objetivo depende del índice de refracción, y por tanto, de la longitud de onda de la luz

Se soluciona con dobletes o tripletes de lentes de diferentes materiales

Aberraciones

Las aberraciones de los telescopios degradan la calidad de las imágenes: aberración cromática, aberración esférica, coma, astigmatismo, curvatura de campo, distorsión

Aberración esférica:



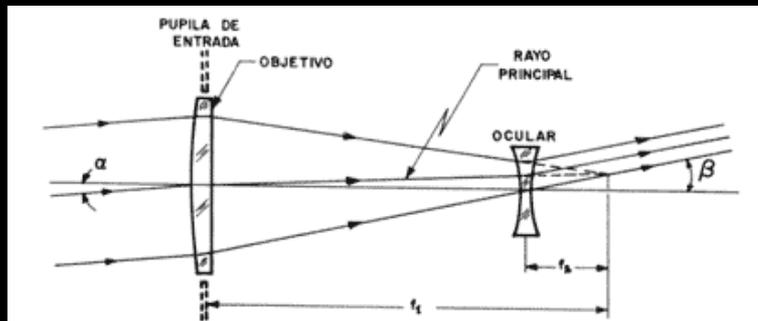
Imágenes de M100
antes y después de
solucionar la
aberración esférica
del HST

La aproximación paraxial (rayos muy próximos al eje óptico) no se cumple exactamente. La posición del foco depende de la distancia al eje. Se puede corregir con lentes con curvatura no constante o espejos parabólicos en vez de esféricos

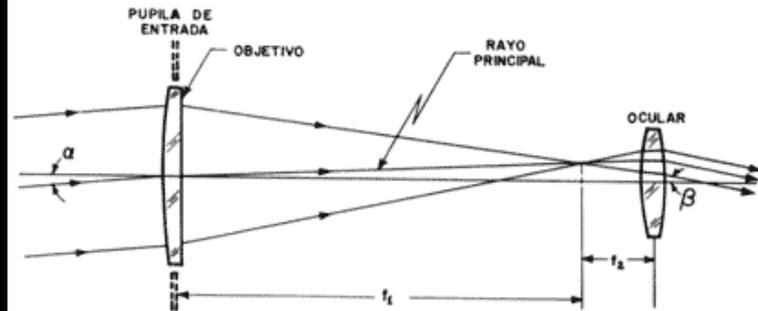
Telescopios refractores

El objetivo está formado por lentes

Refractores de uso visual



(a)



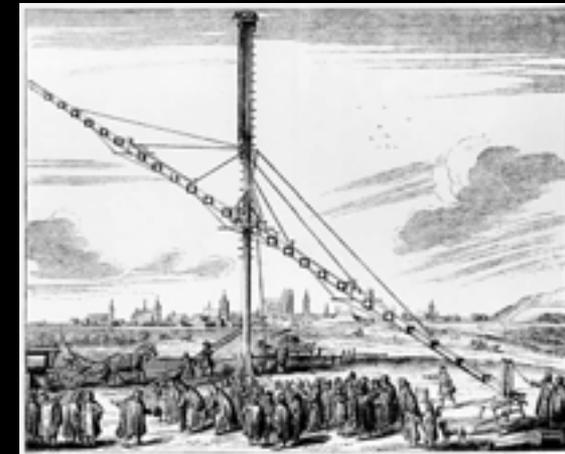
(b)

Telescopio de Galileo

- Visión directa

Telescopio de Kepler

- Clásico astronómico. Vista invertida



Telescopios refractores



Telescopio de Yerkes de 40" ($D = 1 \text{ m}$, $f = 19.4 \text{ m}$)

Telescopios refractores



Telescopio James Lick
de 36" ($D = 91$ cm,
 $f = 17.6$ m)

VENTAJAS:

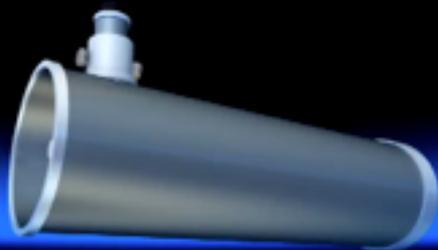
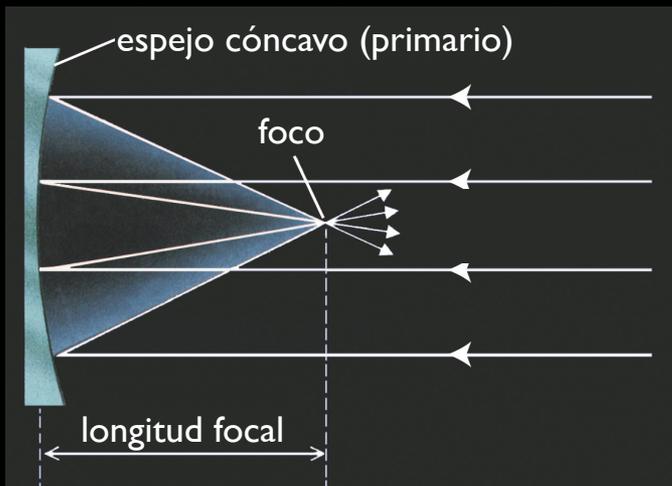
- ✓ Mantenimiento bajo
- ✓ Montado en tubo (no hay luz parásita en el plano focal)

DESVENTAJAS:

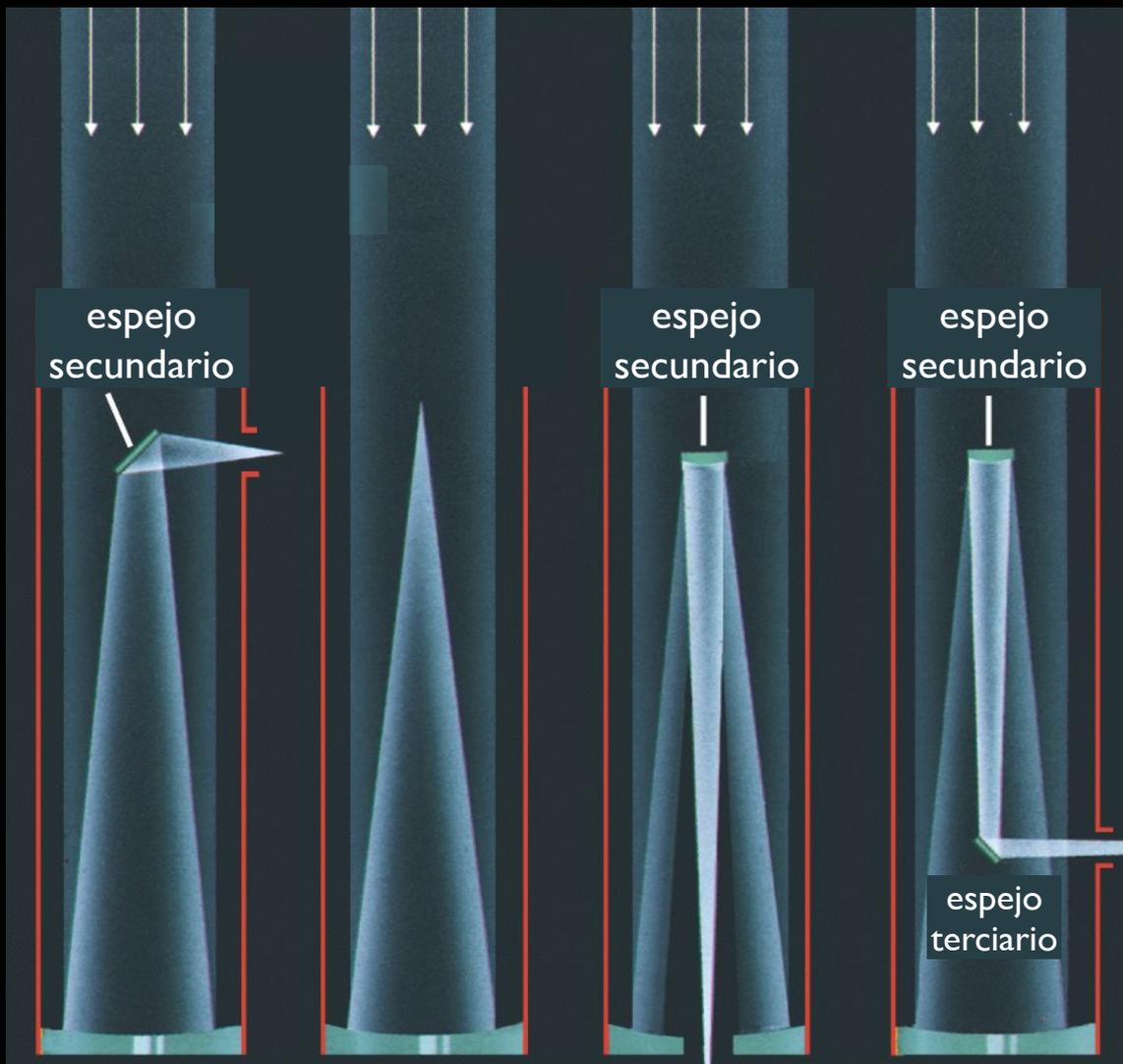
- * Aberración cromática
- * Absorción de la luz al atravesar la lente
- * Dificultades técnicas para construir grandes objetivos (peso, defectos, caro)

Telescopios Reflectores

El objetivo es un espejo cóncavo en lugar de una lente



Con espejos auxiliares se consiguen diferentes diseños dependiendo de dónde se sitúe el foco



foco
Newton

foco
primario

foco
Cassegrain

foco
Coudé

Telescopios Reflectores

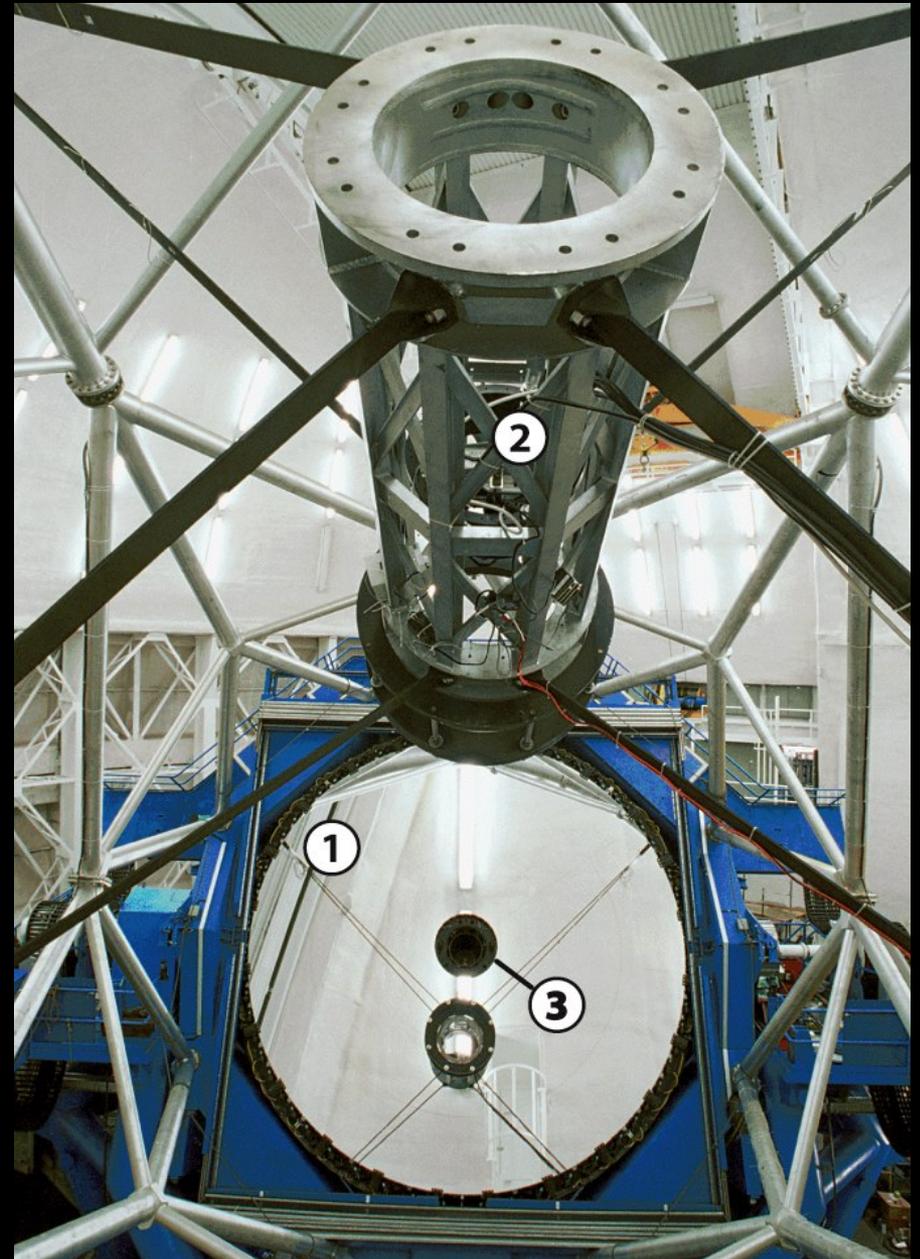


Telescopio 3.5 m
Calar Alto

Telescopios Reflectores

Telescopio Gemini Norte
(Hawaii)

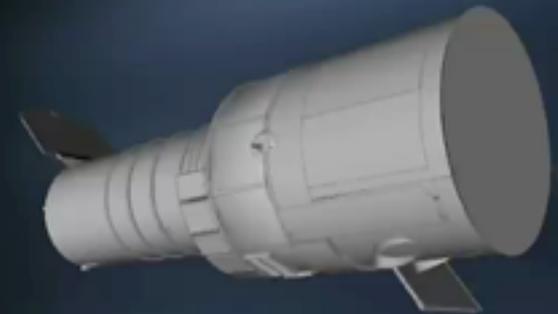
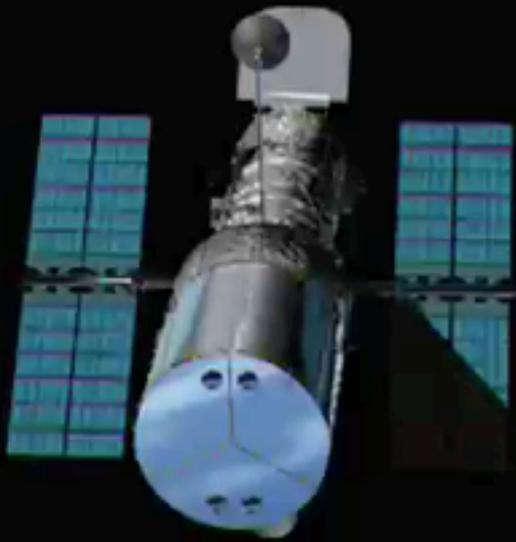
- ① Espejo primario de 8.1 m
- ② Espejo secundario de 1 m
- ③ Foco Cassegrain



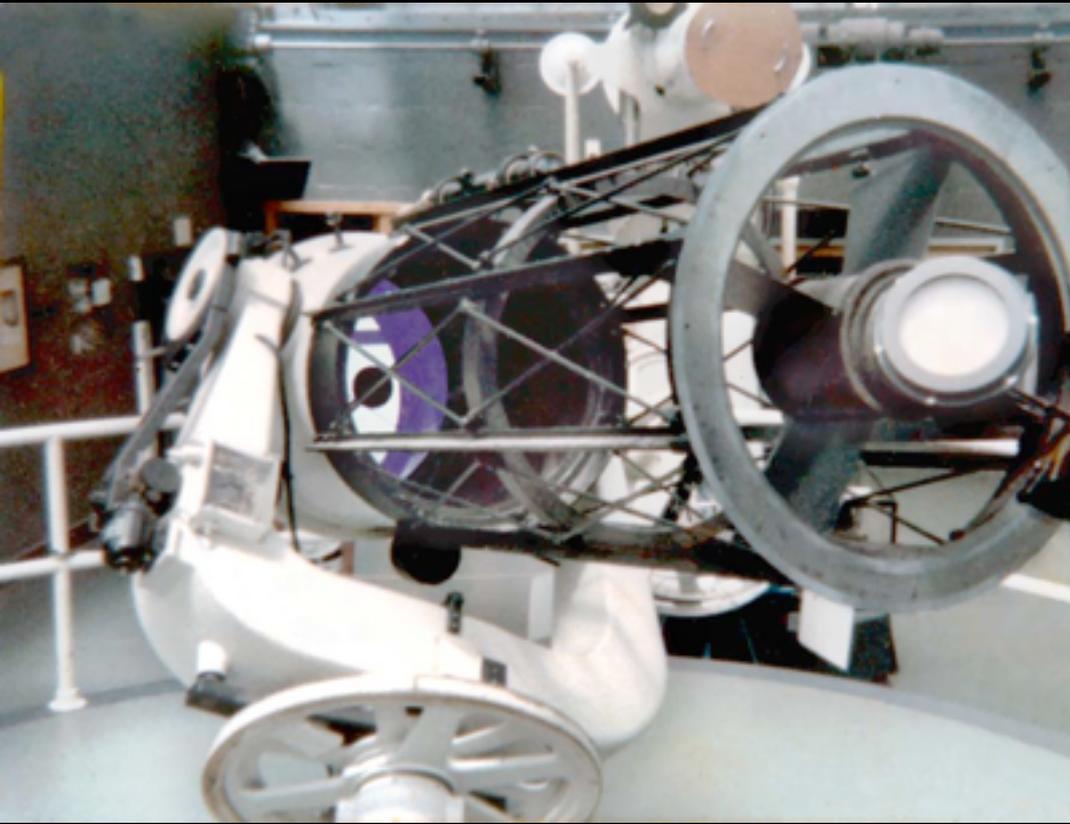
Telescopios Reflectores

Telescopio Espacial Hubble

2.4 m



Telescopios Reflectores



Reflector de 60 cm



GTC 10.4 m

VENTAJAS:

- ✓ No tiene aberración cromática
- ✓ El objetivo puede ser muy grande

DESVENTAJAS:

- * Problemas de mantenimiento: colimado, limpieza, aluminizado, etc

Estructuras

- Sostiene y mantiene colimados los elementos ópticos
- Permite el acoplamiento de los sistemas de análisis y detección
- Deben evitarse vibraciones y luz difusa
- Deben compensarse las dilataciones térmicas

Estructuras Tubulares

- Preferida en refractores
- Excesivo peso
- Impide la luz difusa



Telescopio 1.5 m, La Silla, Chile

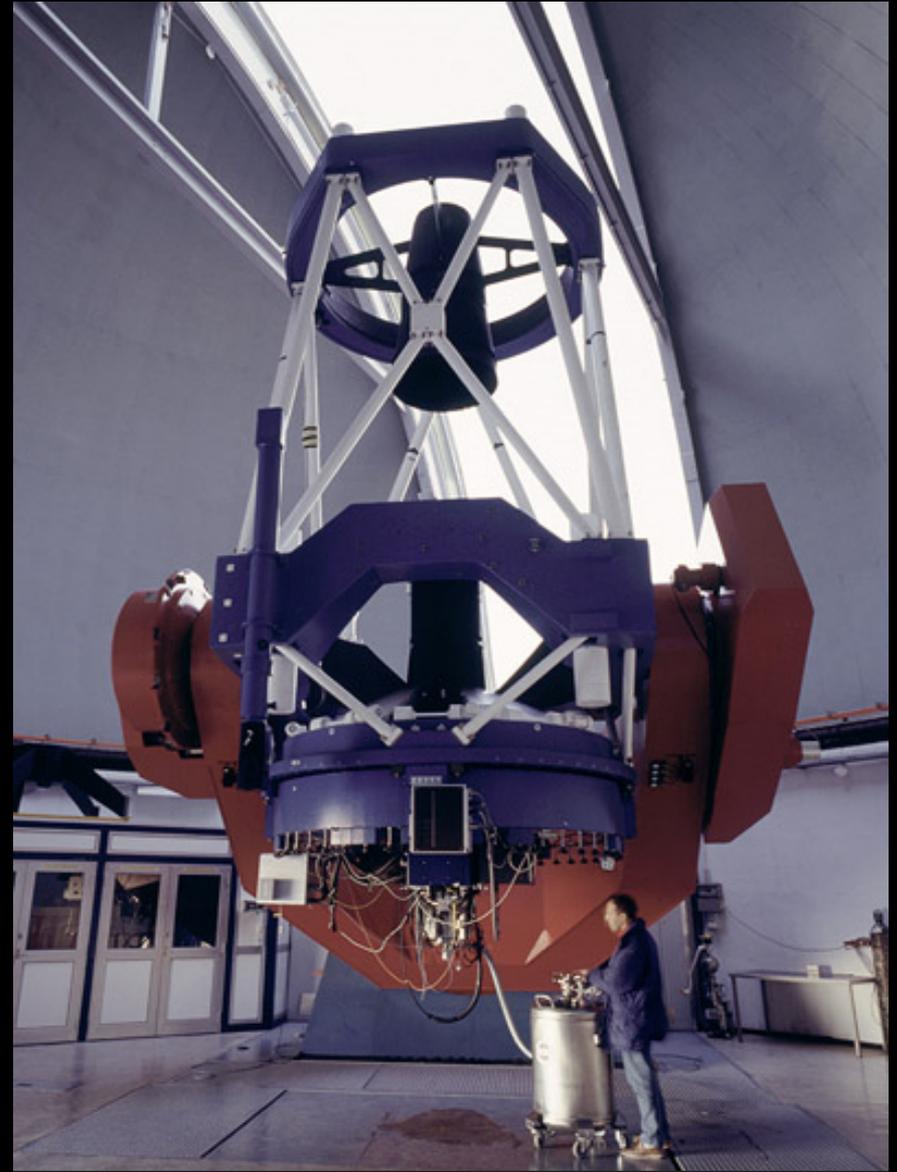
Estructuras

Serrurier

- Para reflectores de gran tamaño
- Celdas de anillas y barras cruzadas
- Centro de gravedad cerca del primario.
- Diafragmas para impedir luz difusa



Telescopio Ostrowik, 0.6 m, Polonia



ESO/MPI, 2.2 m, La Silla, Chile

Monturas

Permiten a los telescopios apuntar y seguir a los objetos celestes en su movimiento diurno.

Monturas ecuatoriales

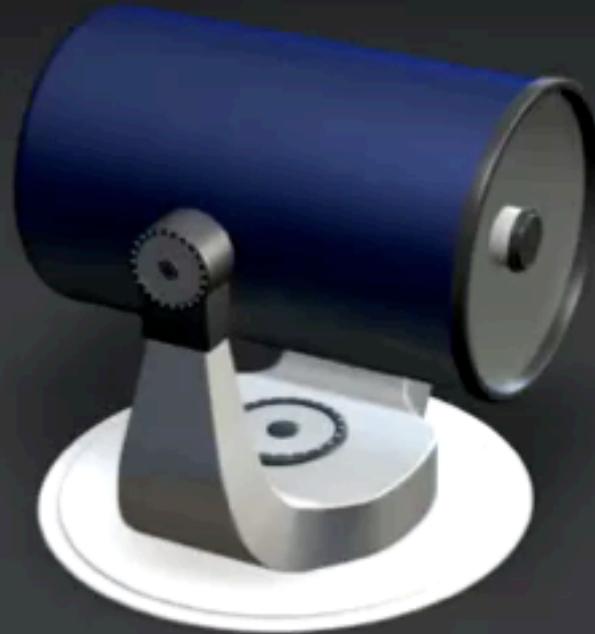


Coordenadas ecuatoriales: ángulo horario (o ascensión recta) y declinación

Monturas

Permiten a los telescopios apuntar y seguir a los objetos celestes en su movimiento diurno.

Monturas acimutales



Coordenadas horizontales: acimut y altura

Monturas Ecuatoriales

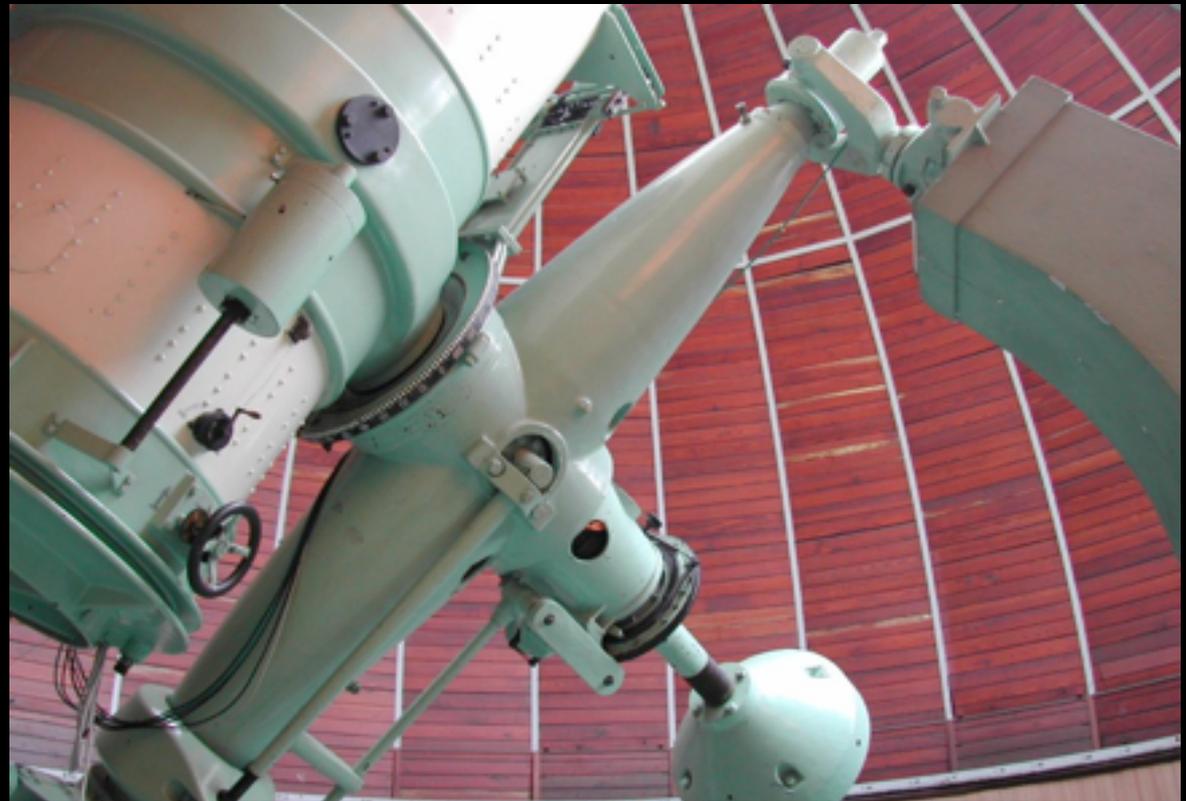
- Una vez apuntado, el seguimiento se realiza moviendo sólo el eje polar a velocidad cte
- El eje polar debe apuntar exactamente al polo norte celeste (puesta en estación)
- Las tensiones que soportan los ejes varían según donde se apunte

Asimétricas



Forststernwarte Jena, 50 cm

Montura alemana

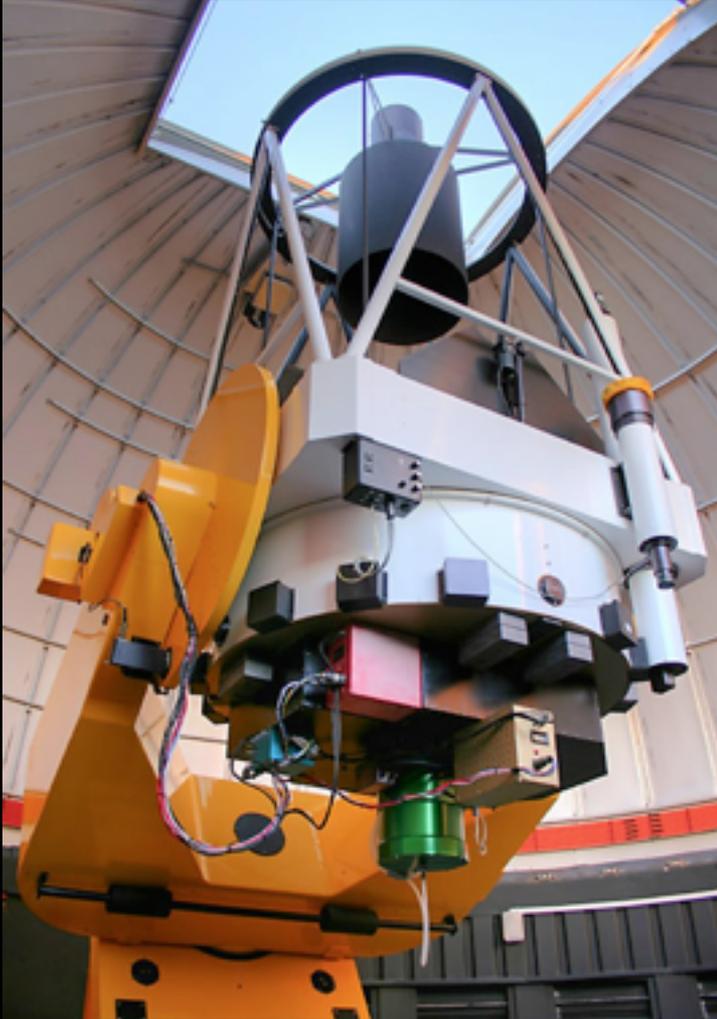


Telescopio Zeiss, 1 m, Merate Astronomical Observatory, Italia

Montura inglesa

Monturas Ecuatoriales

Simétricas (I)



1.3 m, Las Campanas, Chile

Montura en horquilla (“Fork mount”)



Telescopio Hooker, 100 pulgadas, Monte Wilson

Montura inglesa de bastidor (“Yoke mount”)

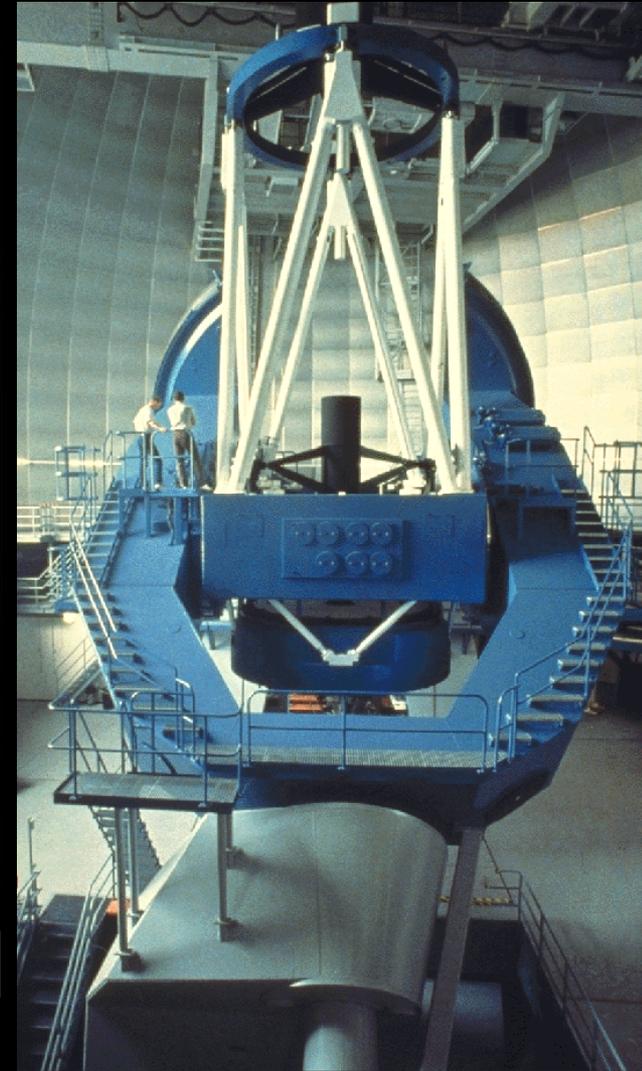
Monturas Ecuatoriales

Simétricas (2)



Telescopio Hale, 200 pulgadas, Monte Palomar

Montura en herradura (“Horseshoe mount”)



Telescopio 3.5 m, Calar Alto

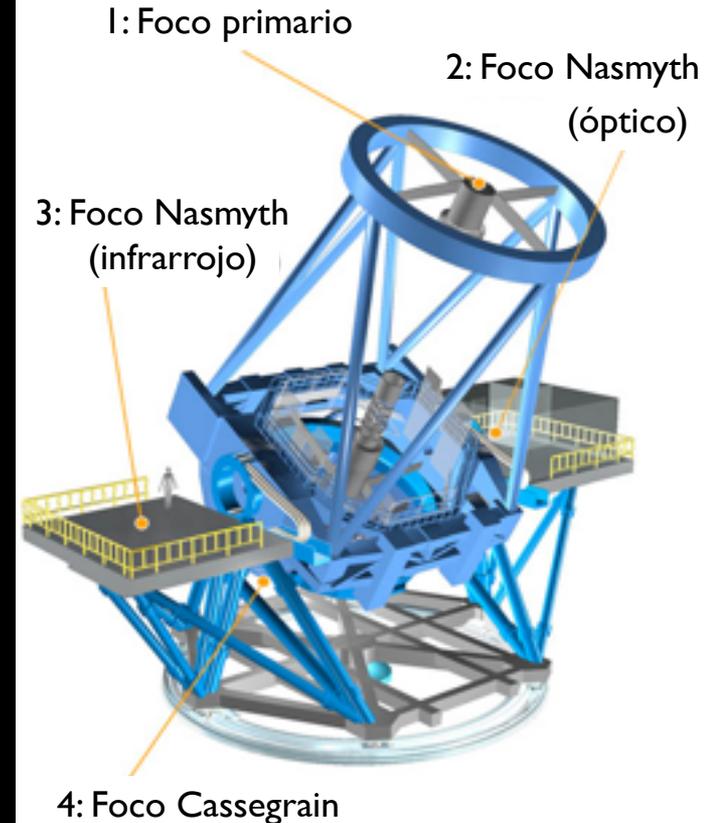
Monturas Acimutales

- Las tensiones que soportan los ejes no varían en ninguna posición de apuntado.
- Necesita mover los dos ejes para el seguimiento.
- Pueden cargar estructuras de telescopios muy pesados.



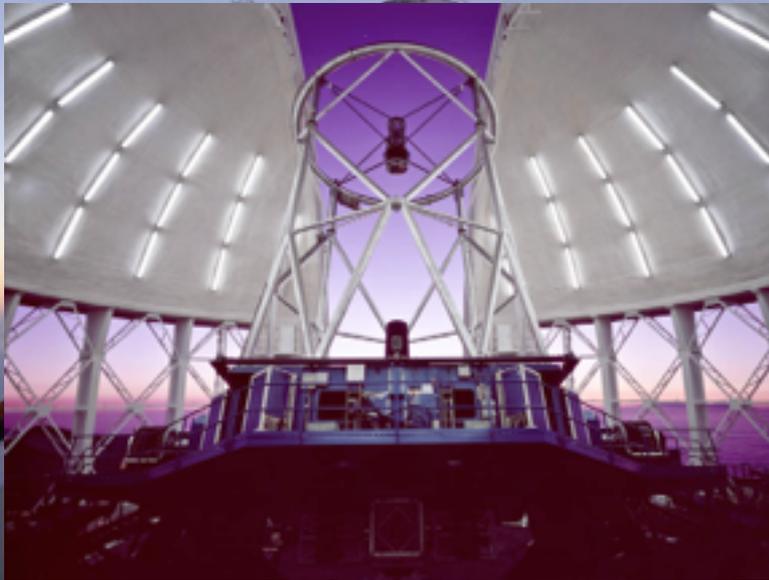
William Herschel Telescope, 4.2 m, La Palma

Focos del telescopio

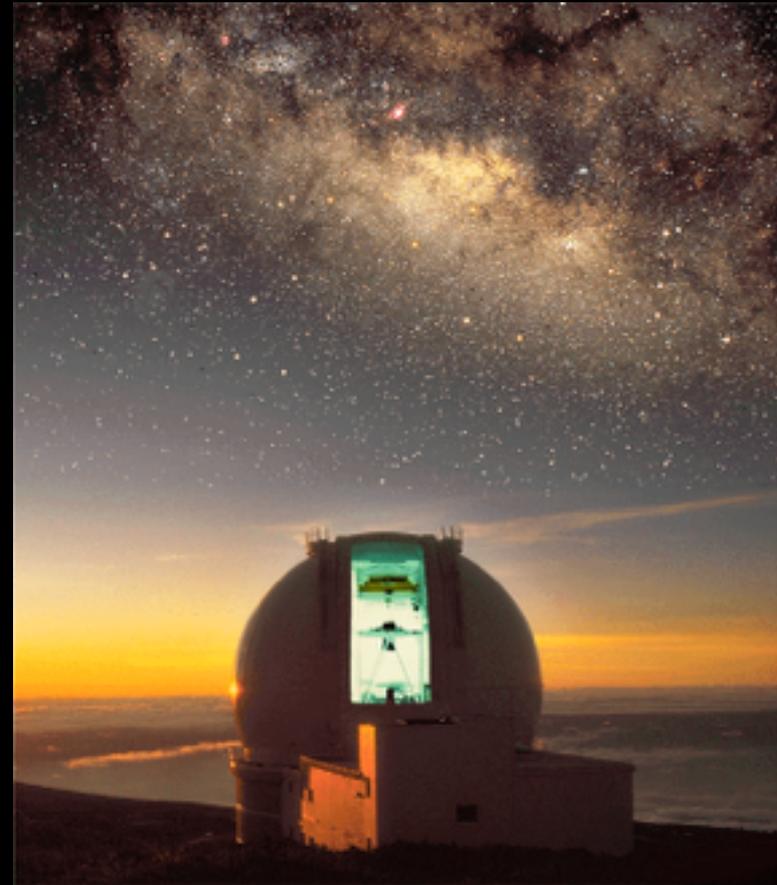


Cúpulas de telescopios

- Las cúpulas protegen los telescopios y demás instrumentos de las inclemencias del tiempo
- Las corrientes convectivas turbulentas generadas en el interior degradan la resolución
- Lo ideal es dejar el telescopio al aire

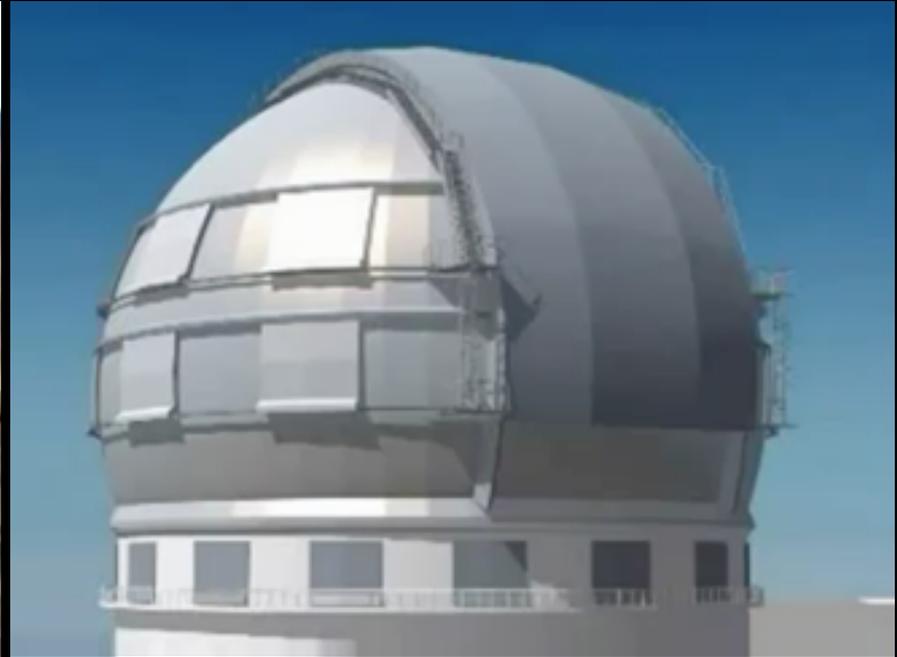


Gemini Norte, 8.1 m, Mauna Kea, Hawaii



William Herschel Telescope, 4.2 m, La Palma

Cúpulas de telescopios



Cúpula de GTC

Cúpulas de telescopios



Gemini Norte, 8.1 m, Mauna Kea, Hawaii

Telescopios grandes

Parámetros de calidad de los telescopios

- Tamaño Área del objetivo relacionada con la capacidad colectora
- Calidad óptica Se pretende formar imágenes
- Monturas Para apuntar y guiar (exposiciones largas)

Mejorar estos parámetros repercute en el coste.

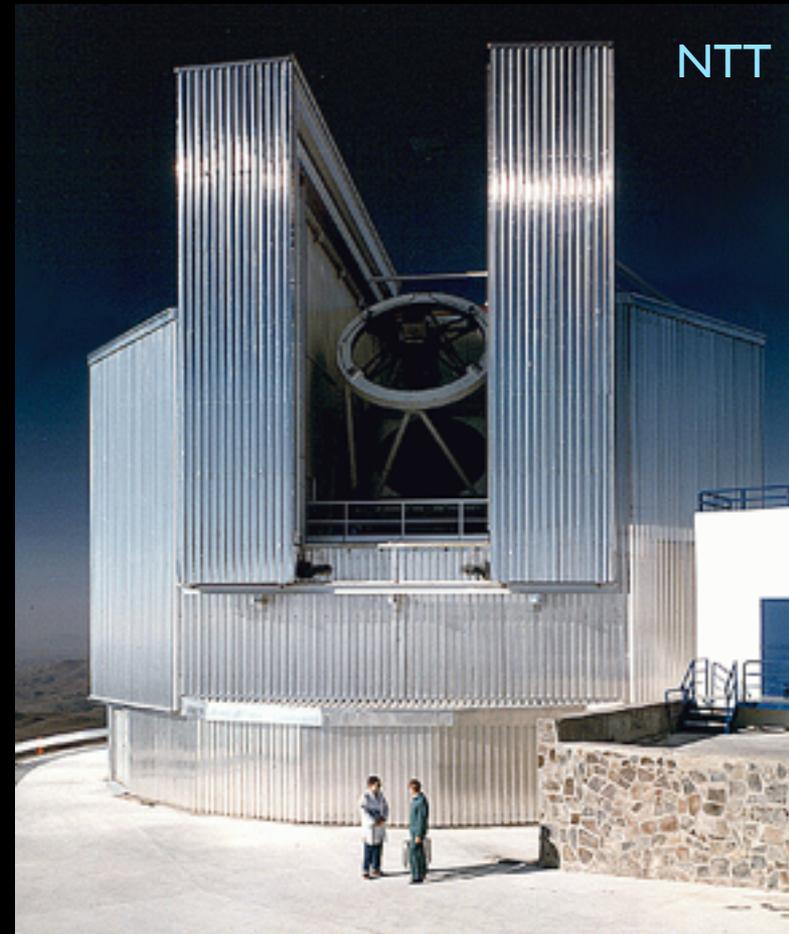
Telescopios clásicos

- Espejo primario rígido (monolítico)
- Estructura de tubos rígidos
- Monturas ecuatoriales

Telescopios actuales

- Espejo primario delgado o segmentado
- Estructura Serrurier
- Monturas acimutales

No se pueden fabricar telescopios grandes con el diseño antiguo.



Telescopios grandes



LBT (*Large Binocular Telescope*) (2 telescopios de 8.4 m)

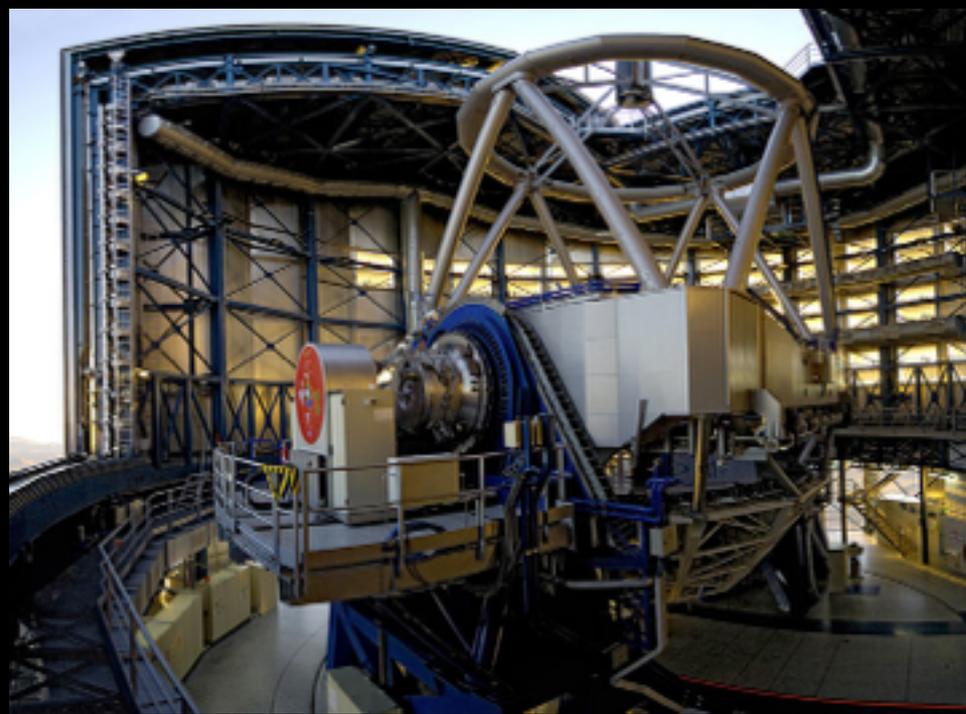
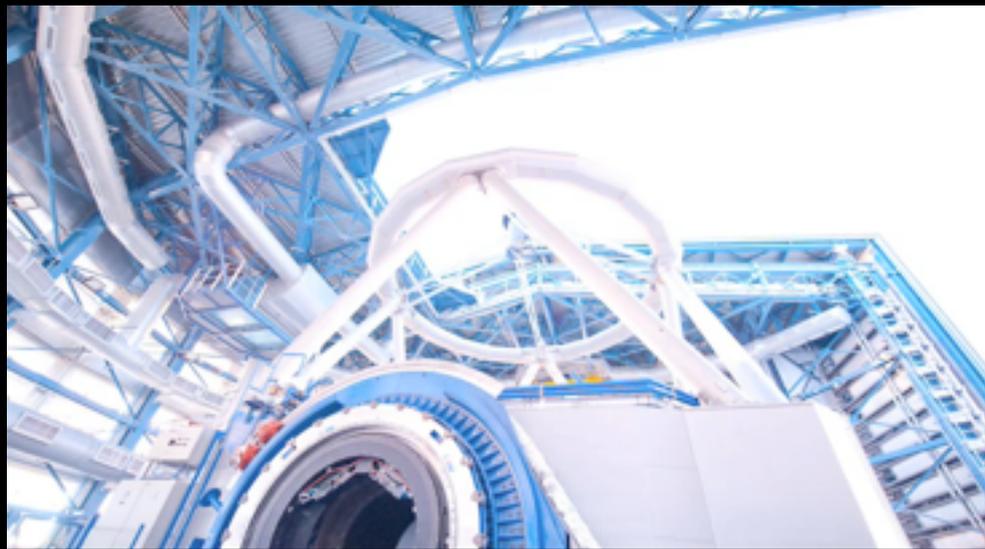
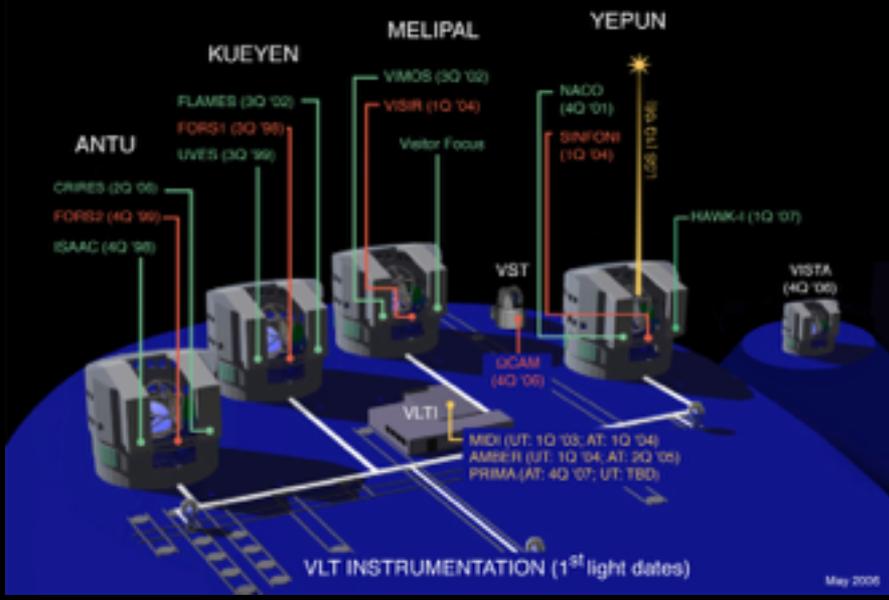
Telescopios grandes



VLT (*Very Large Telescope*) (4 telescopios de 8.42 m, ESO)



VLT



VLT

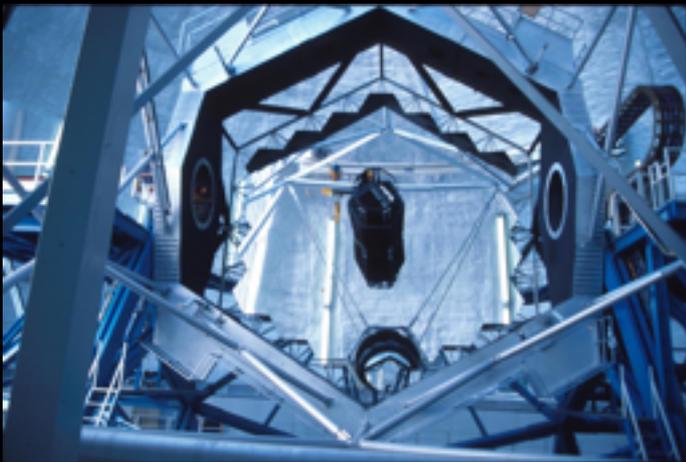
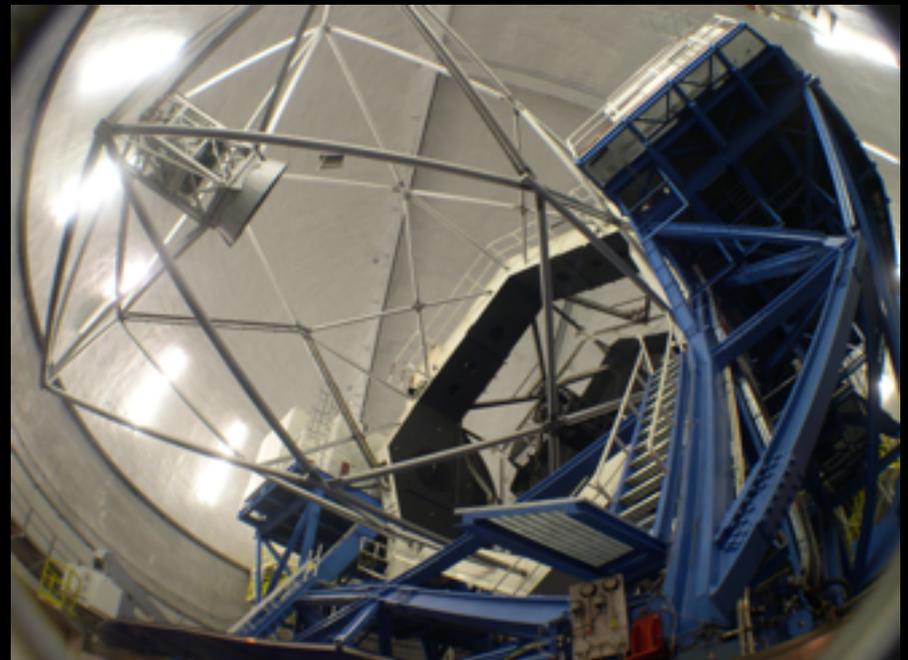


Tour Virtual en: <http://www.eso.org/public/outreach/products/virtualtours/armazones.html>

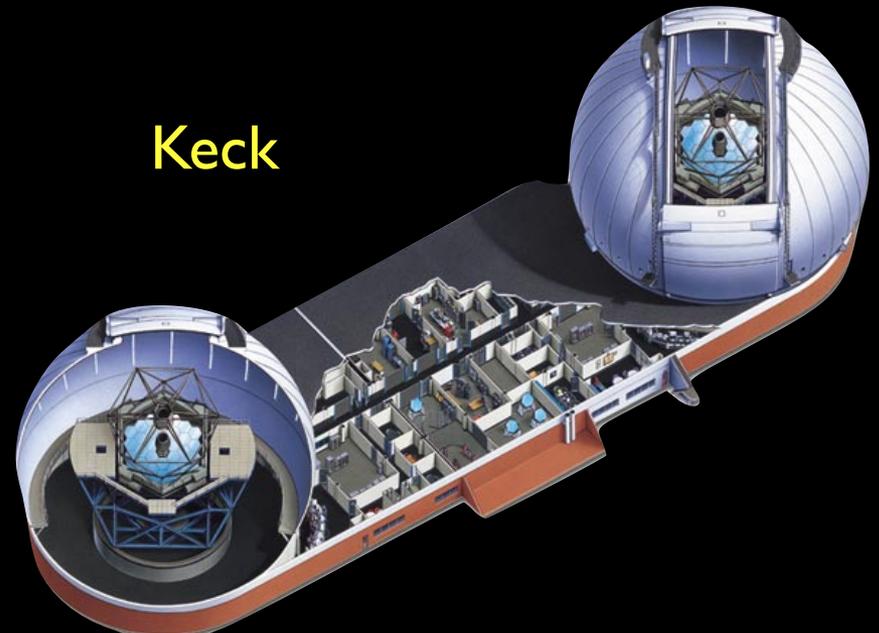
Telescopios grandes



Keck (2 telescopios de 10 m)



Keck



El primario de cada telescopio está formado por 36 segmentos hexagonales de 1.8 m de diámetro

Los mayores telescopios ópticos del mundo

Telescopio	Localización	Año de finalización	Diámetro (m)
Gran Telescopio Canarias	La Palma, Canary Islands, Spain	2004	10.4
Keck II	Mauna Kea, Hawaii	1996	10.0
Keck I	Mauna Kea, Hawaii	1993	10.0
Hobby-Eberly Telescope	McDonald Observatory, Texas	1998	9.2
South African Large Telescope	Sutherland, South Africa	2004	9.2
Large Binocular Telescope	Mount Graham, Arizona	2004–05	2 × 8.4
Subaru	Mauna Kea, Hawaii	1999	8.3
VLT UT 1–Antu	Cerro Paranal, Chile	1998	8.2
VLT UT 2–Kueyen	Cerro Paranal, Chile	1999	8.2
VLT UT 3–Melipal	Cerro Paranal, Chile	2000	8.2
VLT UT 4–Yepun	Cerro Paranal, Chile	2000	8.2
Gemini North (Gillett)	Mauna Kea, Hawaii	1999	8.1
Gemini South	Cerro Pachón, Chile	2000	8.1

Los mayores telescopios ópticos del mundo

WHT UKIRT CFHT WYIN ARC TNG MPA KPNO

SUBARU SAO Palomar MMT Gemini N

Keck 1 Keck 2

HET

LBT 1 LBT 2

GTC

Hemisferio norte

NTT CTIO AAT ESO

VLT 1 VLT 2
VLT 3 VLT 4

Magellan 1 Magellan 2 Gemini S

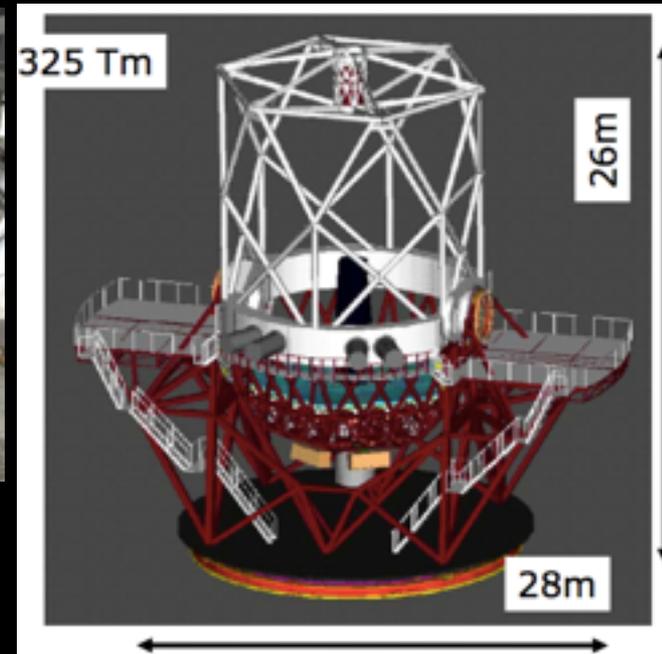
Hemisferio sur

El Gran Telescopio Canarias (GTC)



Telescopios grandes (GTC)

Objetivo de diámetro
equivalente de 10.4 m



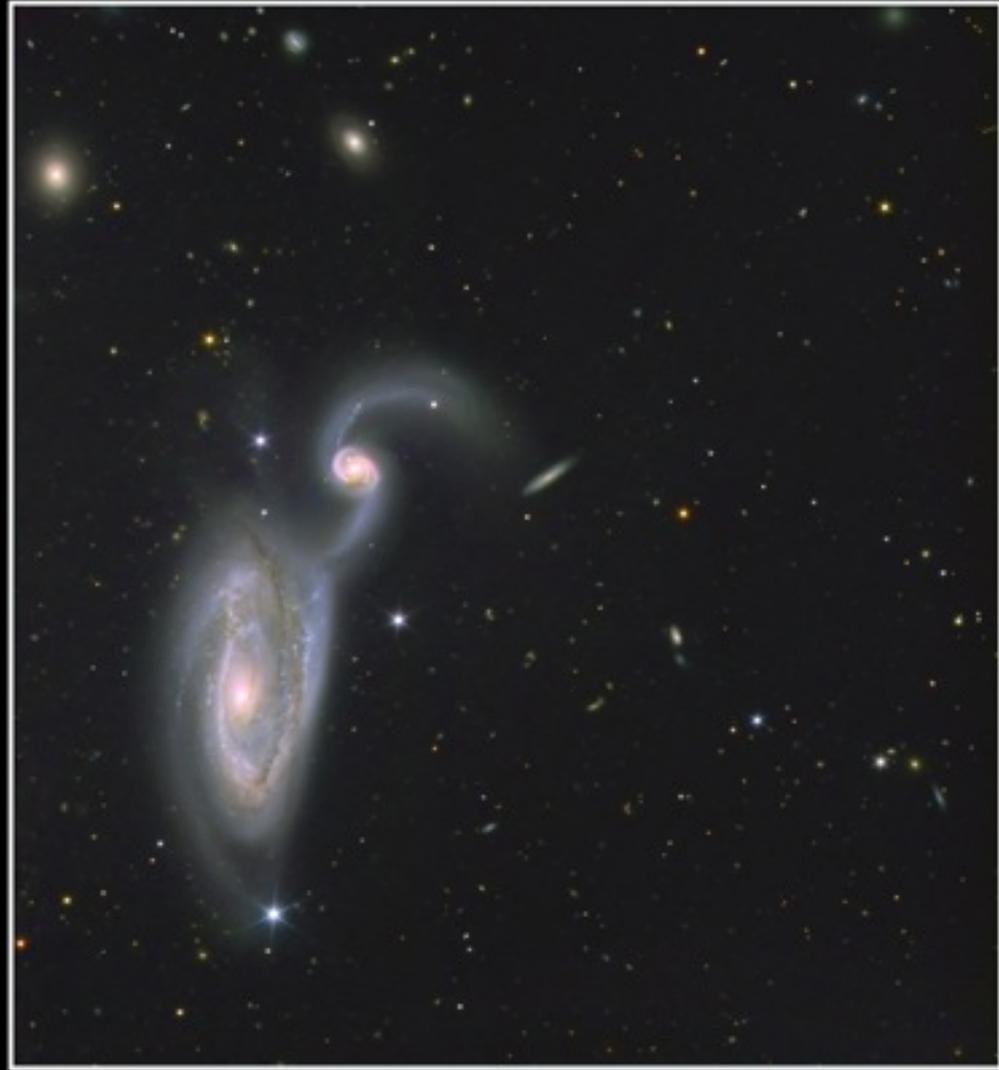
El primario tiene 36 segmentos hexagonales de 936 mm de lado y sólo 80 mm de espesor

Visita virtual en: <http://www.gtc.iac.es/multimedia/media/gtctour/index.htm>

Telescopios grandes (GTC)



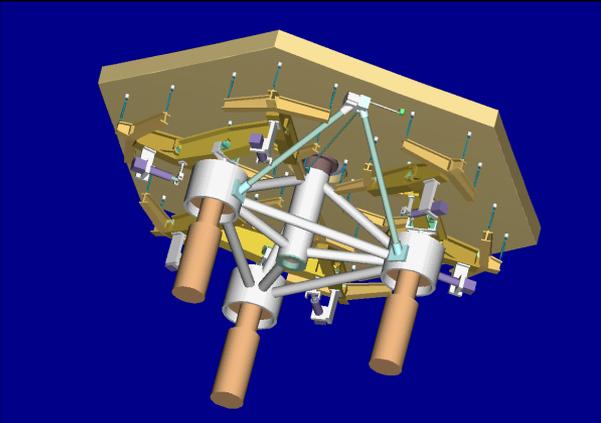
Star-forming Region Sharpless 2-106
Gran Telescopio CANARIAS (GTC)



NGC 5395 & NGC 5394, Arp 84
Gran Telescopio CANARIAS (GTC)

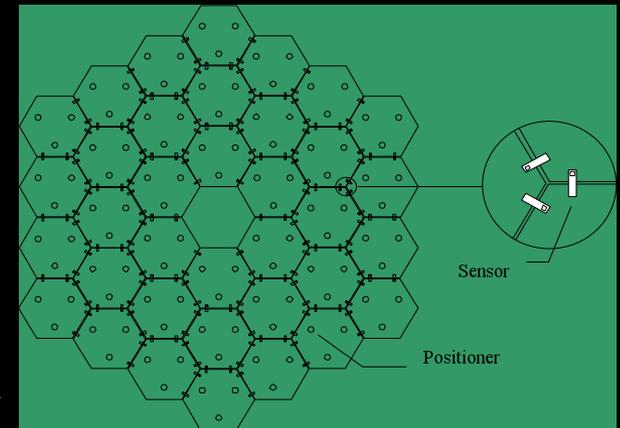
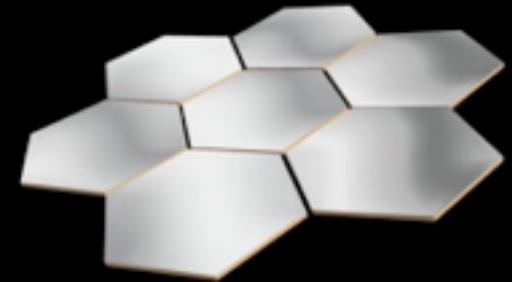
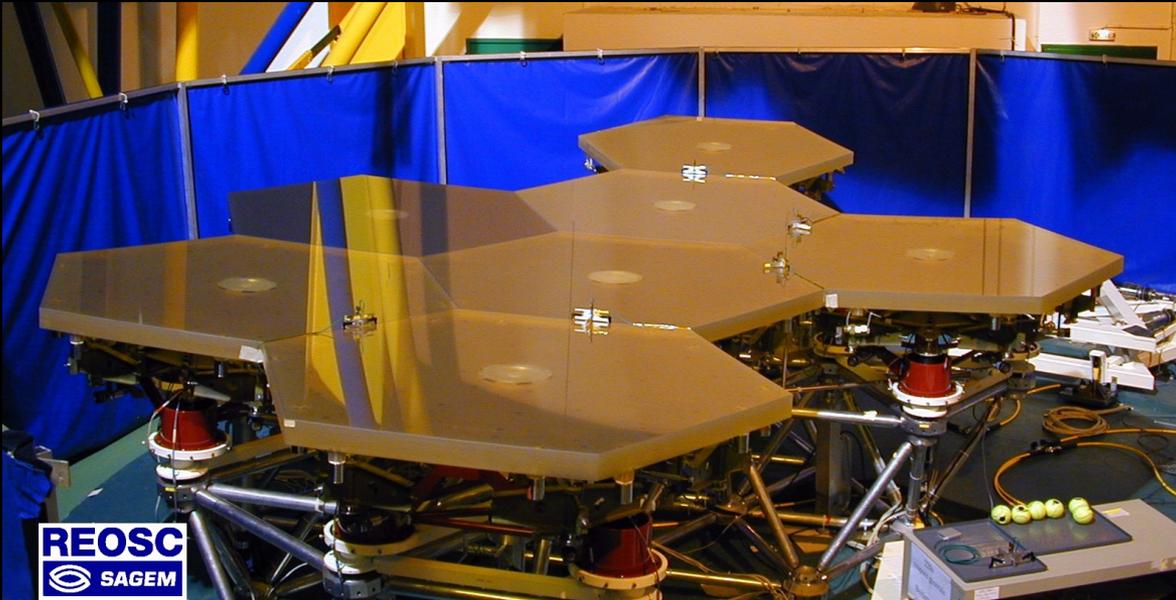


Óptica activa



La **óptica activa** pretende conseguir la mejor imagen óptica del sistema usando posicionadores y/o actuadores para mantener la forma adecuada del primario y la mejor colimación del resto de la óptica del telescopio

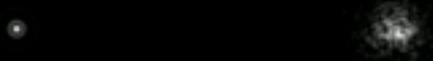
Es necesaria tanto en los espejos delgados, que son flexibles, como en los espejos segmentados, que deben formar la figura equivalente a un sólo espejo



Sistema de óptica activa en GTC →

Efecto de la turbulencia atmosférica

La **turbulencia atmosférica** hace que la imagen (puntual) de una estrella se mueva de forma errática: **seeing**. Esto limita la resolución de los telescopios terrestres al valor del '**seeing**'



Telescopio fuera de la atmósfera:

El tamaño de la imagen de una estrellas es la resolución teórica, dada por el disco de Airy:

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

Ejemplo: para el HST (con $D = 2.4$ m) la resolución a $\lambda = 600$ nm es ~ 0.06 arcsec



Telescopio en Tierra:

La resolución real es el disco de *seeing* y no la de su límite de difracción. Valores “buenos” del seeing están alrededor de 1 segundo de arco (1” en el óptico). El seeing decrece hacia el rojo

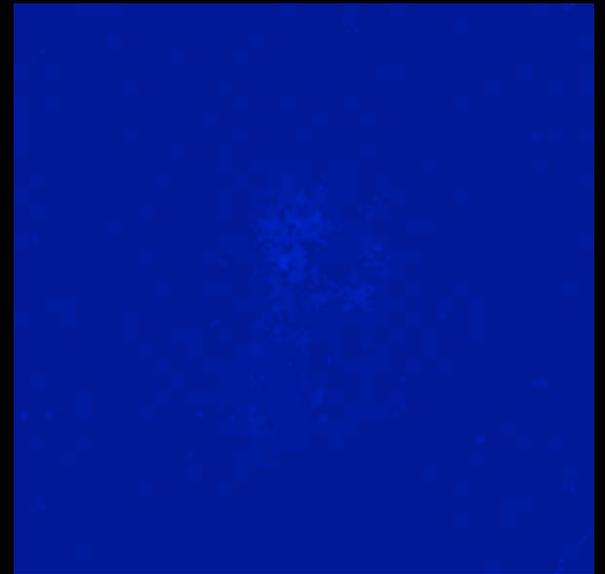
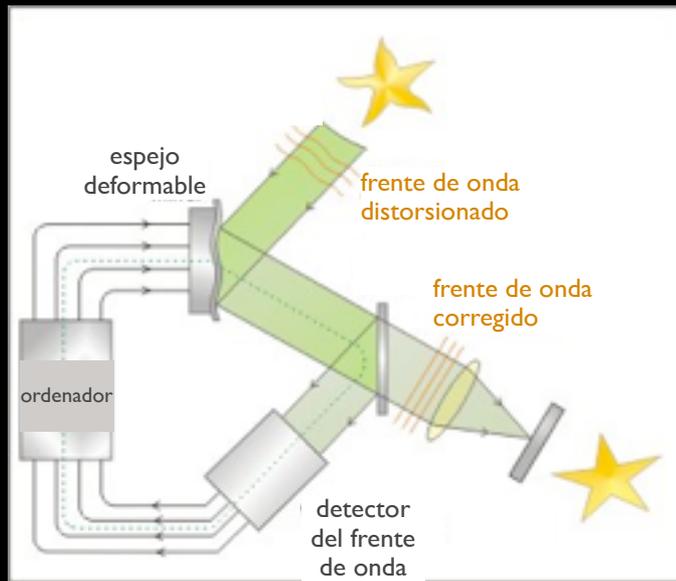
Ej. telescopios con $D = 8$ m y $D = 2$ m tendrían la misma resolución (0.5” en condiciones muy favorables)

Óptica adaptativa

Con la **óptica adaptativa** se compensan los efectos de la atmósfera para conseguir que un telescopio terrestre tenga una resolución próxima a la resolución teórica

Los frentes de onda planos se quiebran al atravesar la atmósfera y los frentes de onda sucesivos tiene formas diferentes. Monitorizando una estrella cercana se analiza el frente de onda y se deforma un espejo para compensar y aplanar el frente

La corrección debe realizarse en tiempo real con sistemas de bucle cerrado (típicamente 100 veces por segundo)



← Si no hay una estrella real cerca se crea una artificial con un láser

Ejemplo de óptica adaptativa en el MMT
Estrella binaria con separación de 0.24" (imágenes de 0.077" de anchura)

Telescopios gigantes

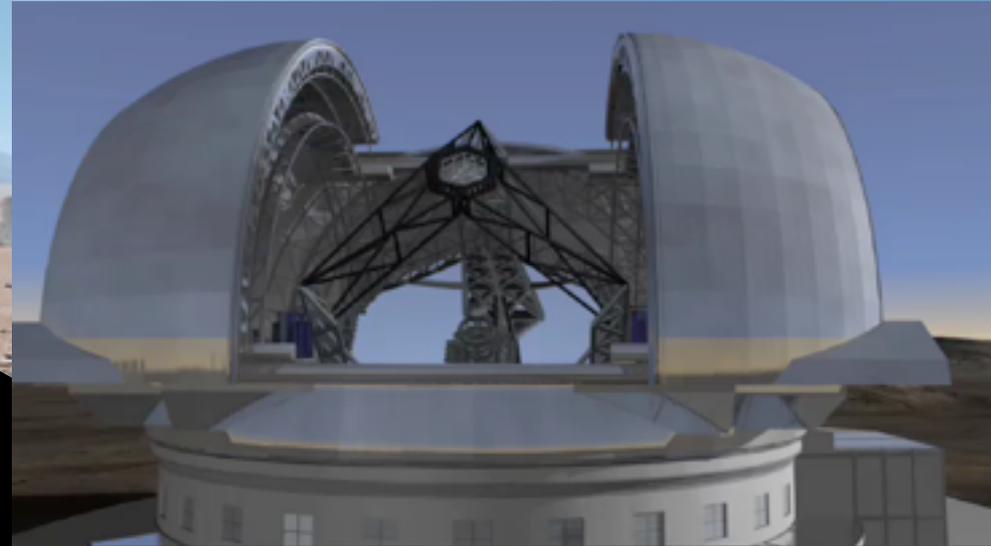
Los telescopios gigantes con aberturas del orden de 30-50 m permitirán proyectos científicos no accesibles con los actuales de la clase de 10 m

E-ELT (European Extremely Large Telescope)

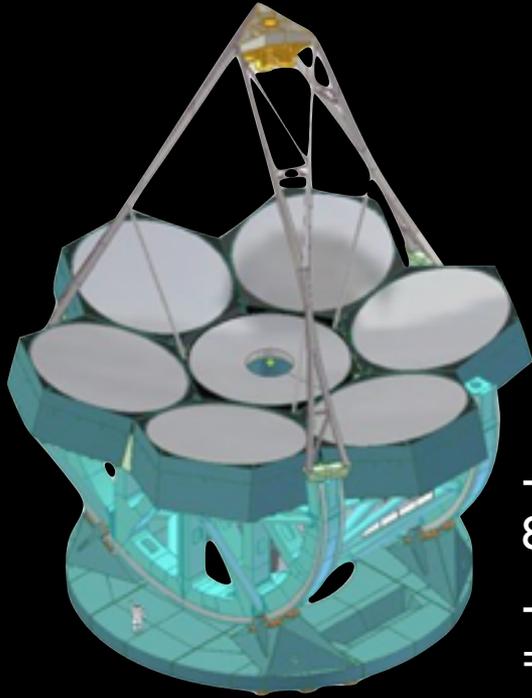


www.eso.org

- Primario de 39 m (~800 segmentos de 1.4 m)
- Óptica adaptativa con 6000 actuadores
- Masa rotante de 5500 Tm
- Construcción 2013 - 2023
- Cerro Armazones (Chile)

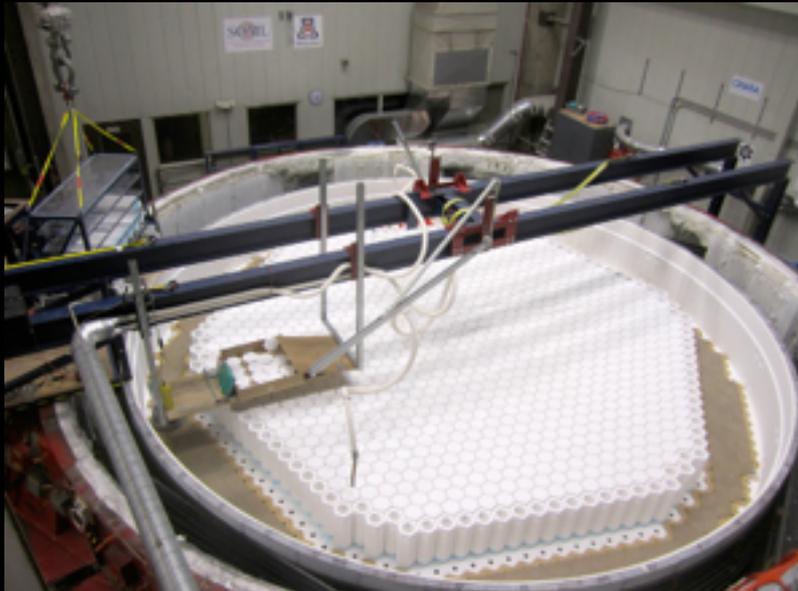
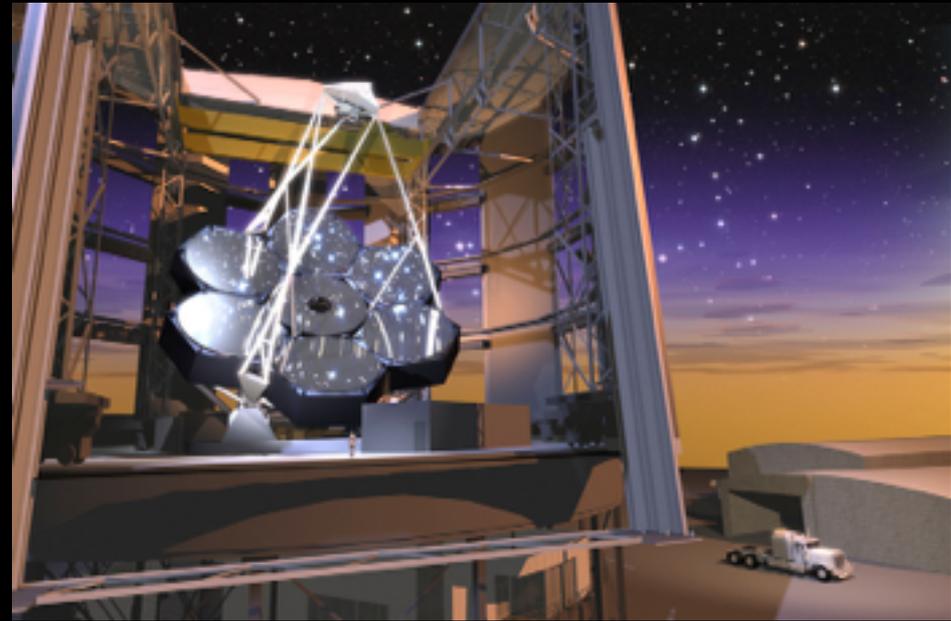


Telescopios gigantes



GMT (Giant Magellan Telescope)

- 7 segmentos de 8.4 m
- Equivalente a $D = 21.4$ (f/0.7)

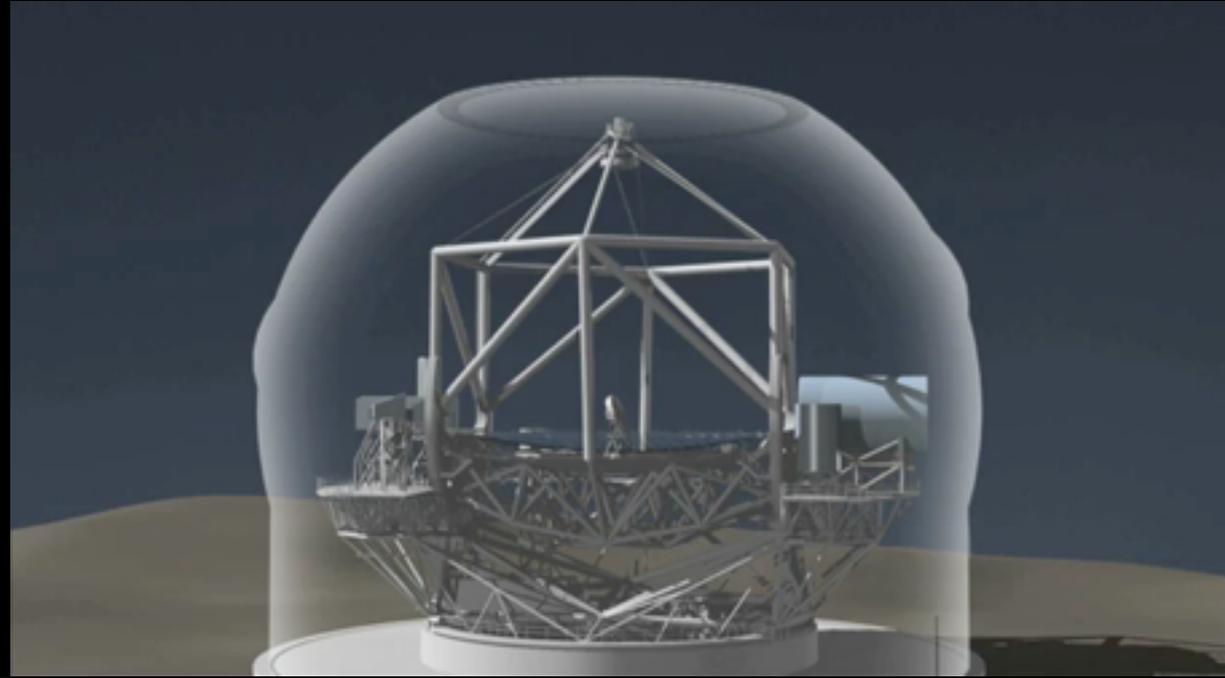
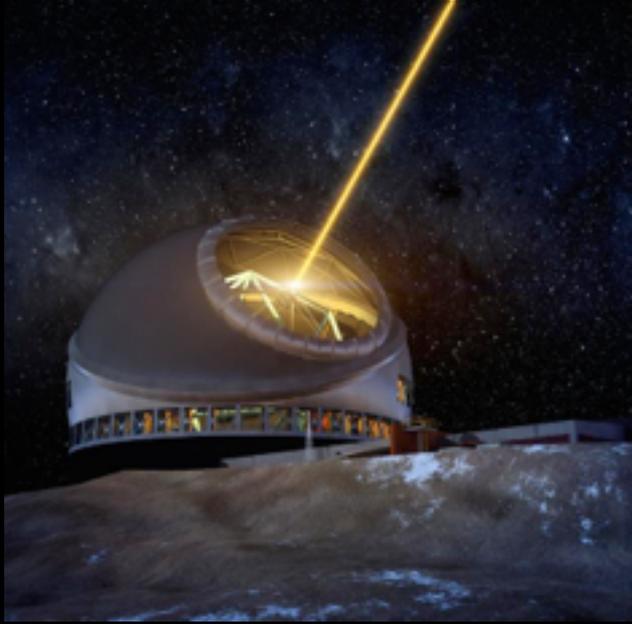


Cerro de Las Campanas (Chile)



GMT mirror (Mirror Lab, Steward Obs.)

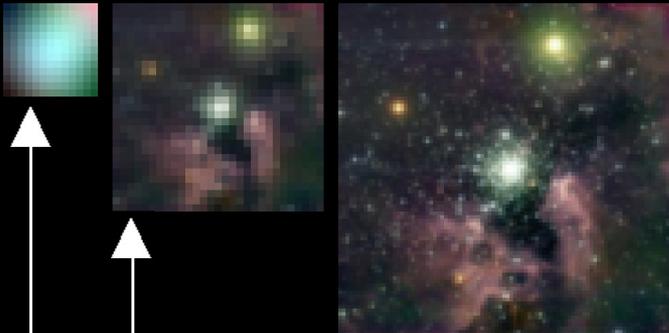
Telescopios gigantes



Telescopios gigantes



<http://www.eso.org/projects/owl/>

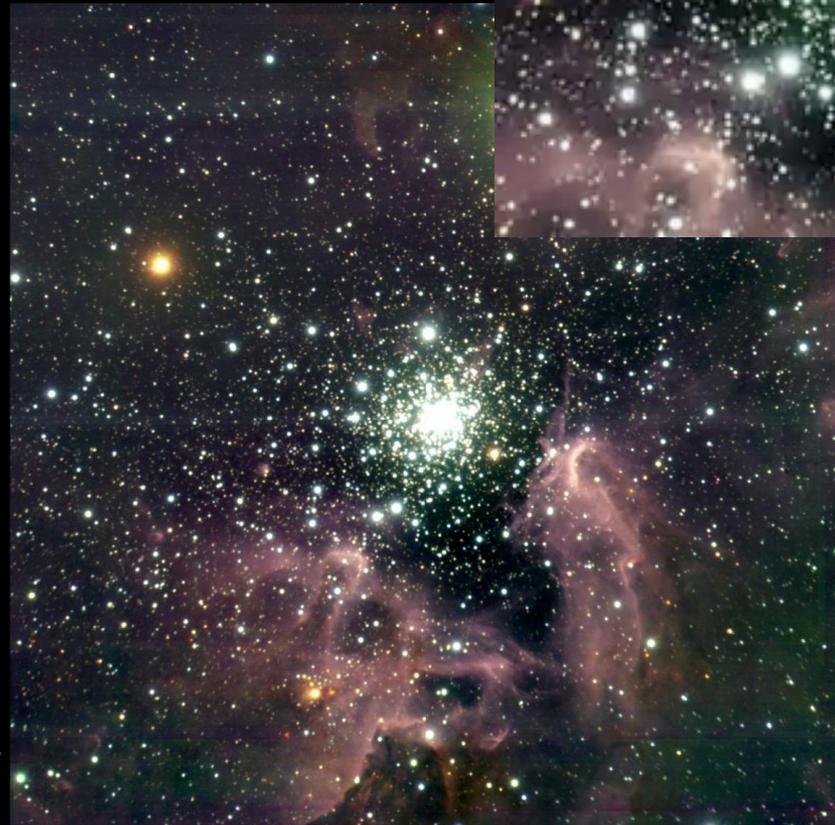


▲
8-m diffraction-limited
Pixel 0.006 arc secs
Exposure ~160 seconds
(Enlarged 5x)

HST - Pixel 0.02 arc secs
Exposure ~1600 seconds
(Enlarged 10x)

VLT - Seeing 0.20 arc secs
Pixel 0.045 arc secs (Test Camera)
Exposure ~620 seconds (Enlarged 10x)

▶
OWL diffraction-limited
Pixel 0.0005 arc secs
Exposure ~1 second



Great Paris Exhibition Telescope

(lens at the same scale)
Paris, France (1900)

Yerkes Observatory
(40" refractor lens at the same scale)
Williams Bay, Wisconsin (1893)

Hooker (100")
Mt Wilson, California (1917)

Hale (200")
Mt Palomar, California (1948)

Multi Mirror Telescope
(1979-1998)
Mount Hopkins, Arizona

BTA-6 (Large Altazimuth Telescope)
Zelendukhsky, Russia (1975)

Large Zenith Telescope
British Columbia, Canada (2003)

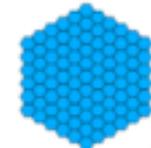
Gaia
Earth-Sun L2 point (2014)

James Webb Space Telescope
Earth-Sun L2 point (planned 2018)



Tennis court at the same scale

Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope
Hebei, China (2009)



Hobby-Eberly Telescope
Davis Mountains, Texas (1996)

Gran Telescopio Canarias
La Palma, Canary Islands, Spain (2007)



Southern African Large Telescope
Sutherland, South Africa (2005)



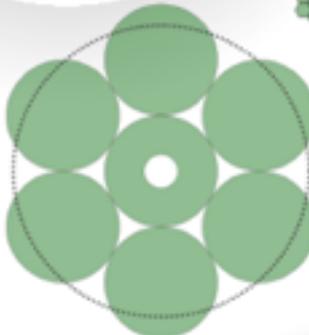
Large Binocular Telescope
Mount Graham, Arizona (2005)



Very Large Telescope
Cerro Paranal, Chile (1998-2000)



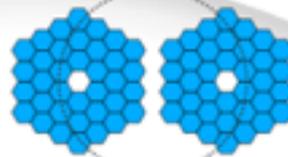
Magellan Telescopes
Las Campanas, Chile (2000/2002)



Giant Magellan Telescope
Las Campanas Observatory, Chile (planned 2020)

Overwhelmingly Large Telescope
(cancelled)

Arecibo radio telescope at the same scale



Keck Telescope
Mauna Kea, Hawaii (1993/1996)



Gemini North
Mauna Kea, Hawaii (1999)



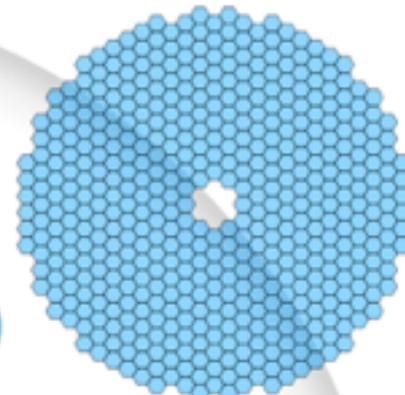
Subaru Telescope
Mauna Kea, Hawaii (1999)



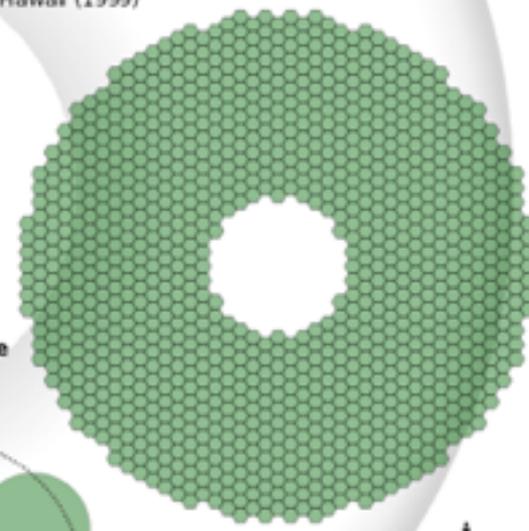
Gemini South
Cerro Pachón, Chile (2000)



Large Synoptic Survey Telescope
El Peñon, Chile (planned 2020)



Thirty Meter Telescope
Mauna Kea, Hawaii (planned 2022)



European Extremely Large Telescope
Cerro Armazones, Chile (planned 2022)

Human at the same scale

0 5 10 m
0 10 20 30 ft



Basketball court at the same scale

El proceso de medida en Astrofísica

Las medidas en Astrofísica proceden de observaciones que implican:

- **Recolección** (necesitamos recolectar fotones por medio de telescopios)
- **Análisis** (seleccionamos los relacionados con nuestro proyecto científico)
- **Detección** (para producir una señal medible)

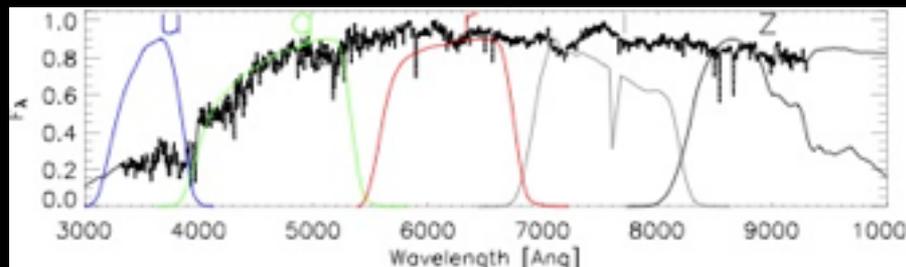
El análisis de la radiación en el intervalo óptico se realiza fundamentalmente mediante dos técnicas

Fotometría

- ▶ Mediante filtros se seleccionan los fotones de una región espectral o banda fotométrica
- ▶ La suma de todos ellos produce la señal final en el detector
- ▶ Una medida para cada banda fotométrica

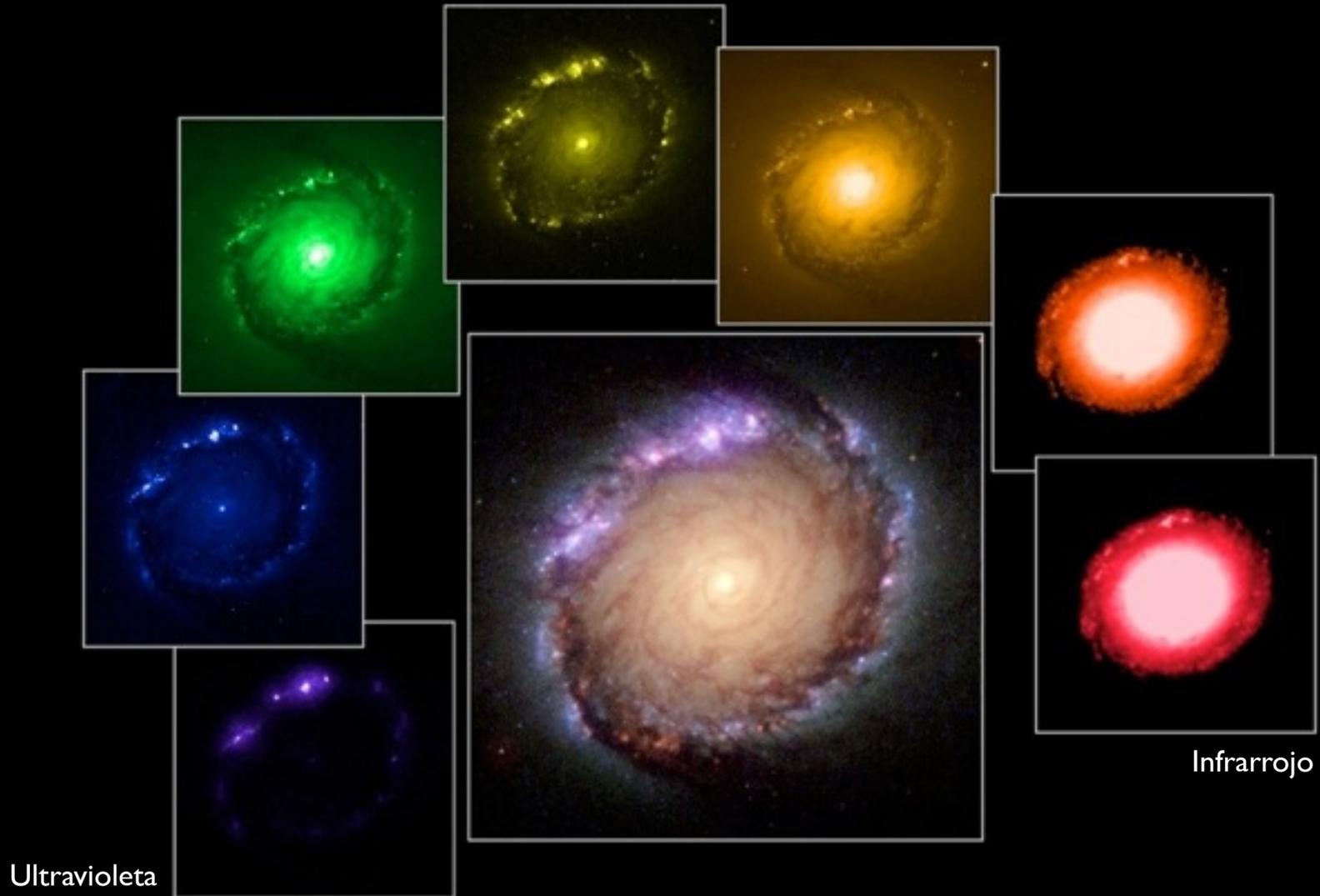
Espectroscopía

- ▶ Se necesita un espectrógrafo
- ▶ El espectro se registra por medio de un detector panorámico
- ▶ Una medida para cada elemento espectral
- ▶ Se obtiene mucha más información pero requiere más tiempo de observación



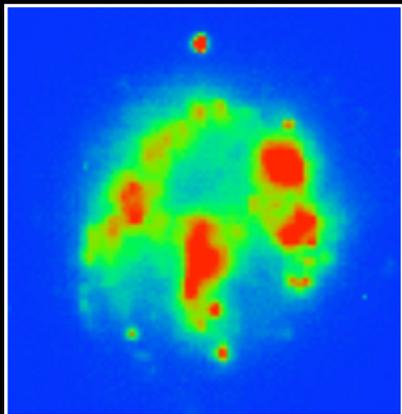
Fotometría

Los brillos y colores en diferentes bandas fotométricas (y la comparación entre ellas) proporcionan información muy valiosa de los objetos observados

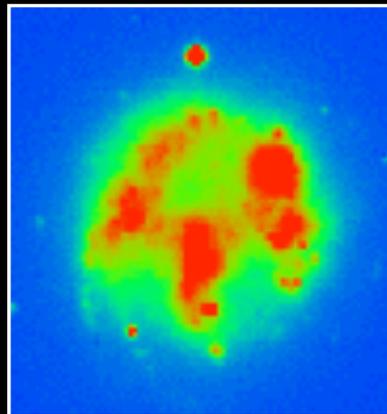


Fotometría CCD

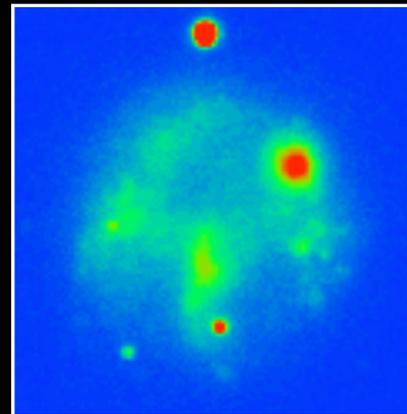
- Se obtienen imágenes a través de filtros y se registran con detectores CCD.
- La banda fotométrica depende de la curva de transmisión del filtro y de la respuesta espectral del CCD



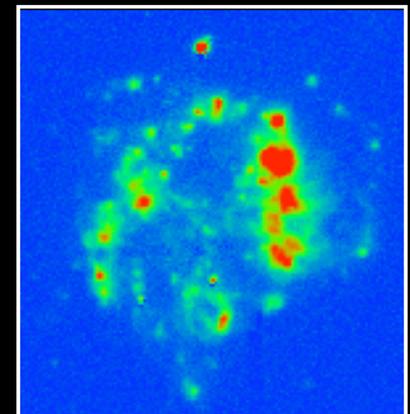
banda B



banda R



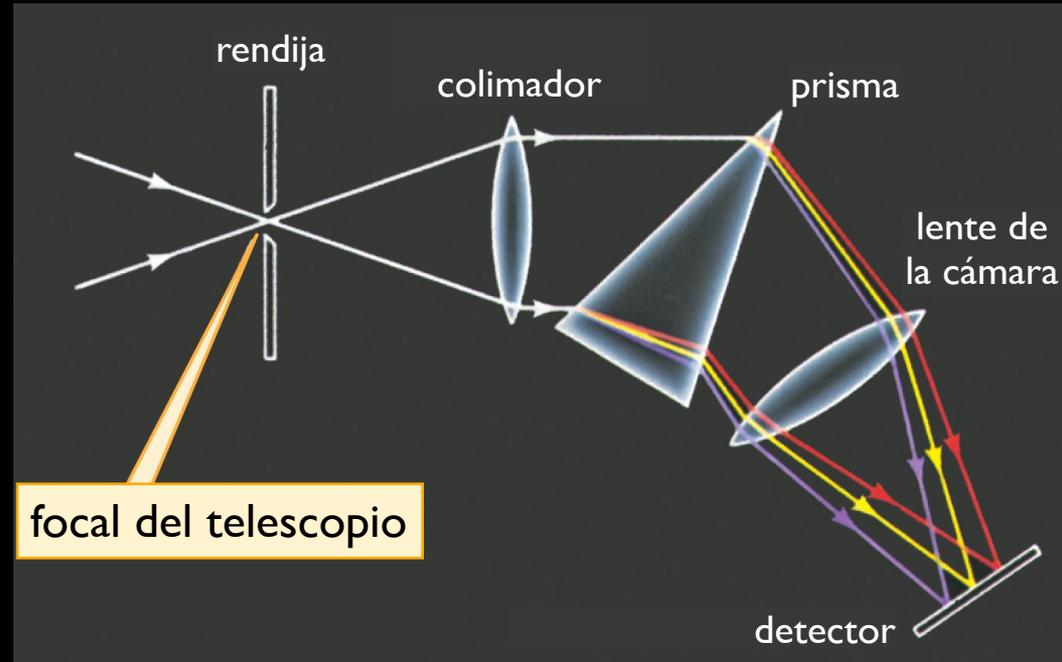
banda J



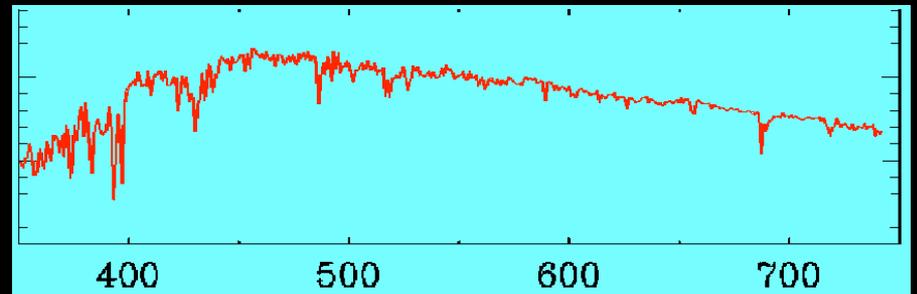
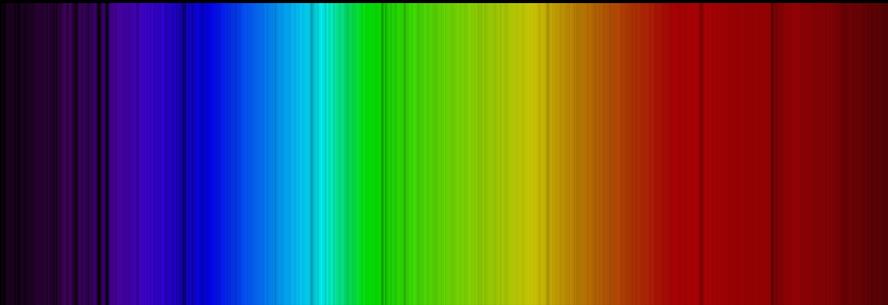
filtro H α

Espectroscopía

- Su objetivo es obtener el flujo de energía en diferentes longitudes de onda
- Más exigente en tiempo de observación que la fotometría ya que equivale a una fotometría de banda estrecha en múltiples canales
- Permite obtener información sobre: parámetros físicos de los objetos (ej. T estelares), abundancias de diferentes elementos químicos, cinemática (desplazamientos Doppler de las líneas), etc.



El elemento dispersor puede ser también una red de difracción



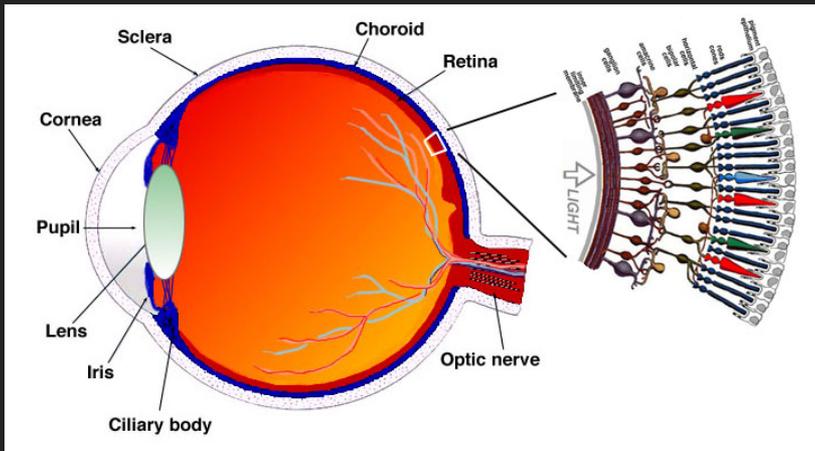
Detectores

A lo largo de la historia, los astrónomos han venido utilizando los diferentes detectores disponibles según la tecnología del momento: ojo, fotografía, células fotoeléctricas, dispositivos de estado sólido (CCDs)

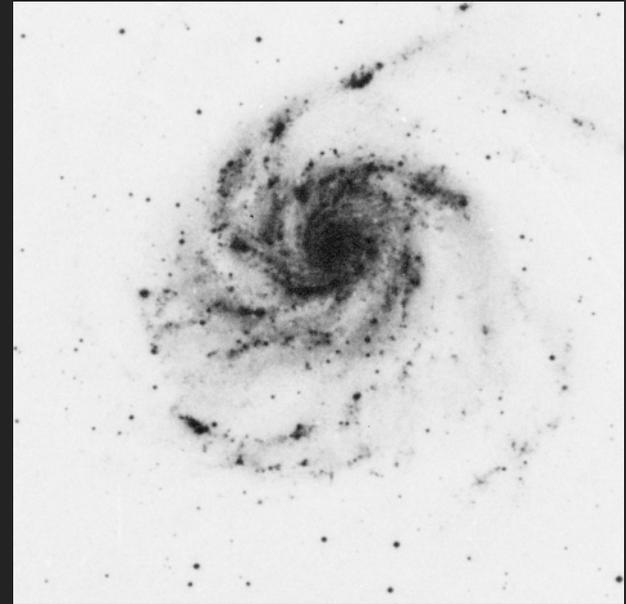
Ojo

Sólo para objetos brillantes

Células sensibles a tres colores primarios



Fotografía

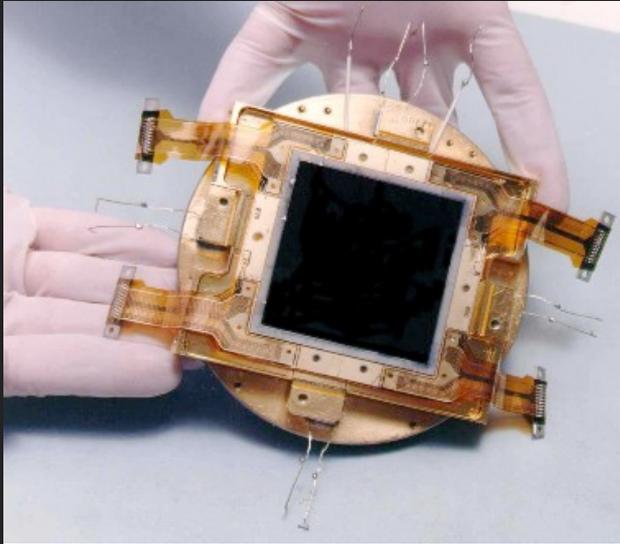


Permite integrar y alcanzar por tanto objetos más débiles.

Poco eficiente y ya en desuso aunque se siguen analizando placas fotográficas de los archivos históricos.

Detectores

CCDs



Charge-Coupled Device

Tecnología MOS (semiconductor de óxido metálico)

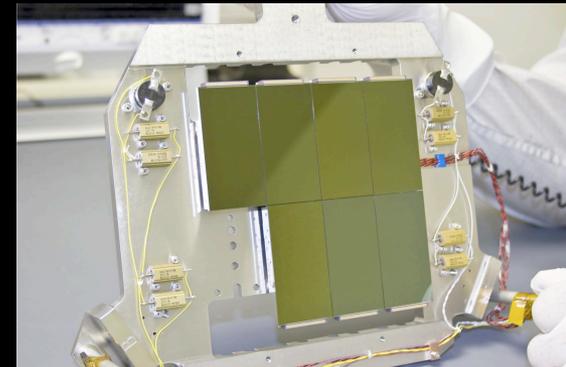
Detector panorámico (imagen)

Muy sensible (QE=80%, ojo-2%, foto-<5%)

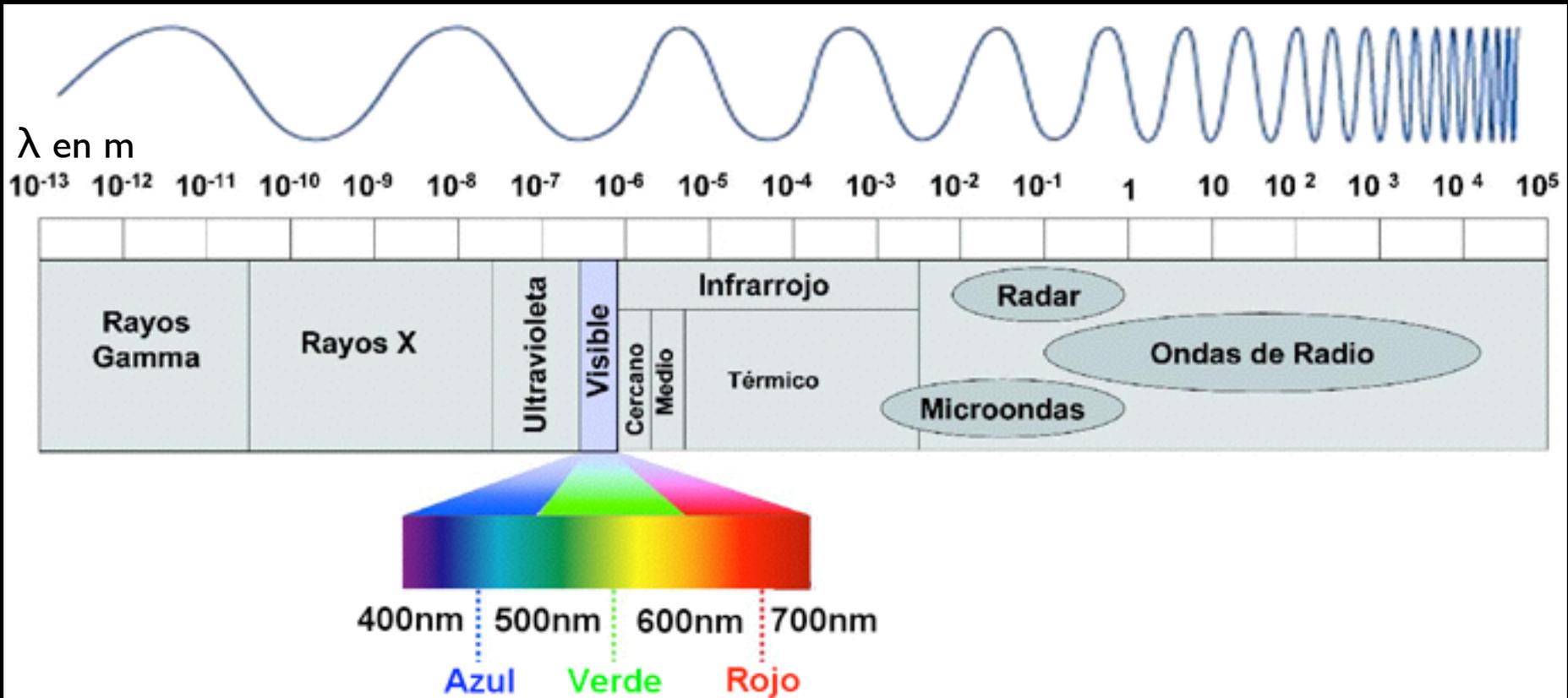
Formato digital

Ampliamente utilizado en la actualidad

Son dispositivos electrónicos que se montan en criostatos que los mantienen a temperatura baja y constante.



El espectro electromagnético



Para poder hacer una descripción completa de los objetos astronómicos es necesario observar la radiación que emiten en todo el espectro electromagnético

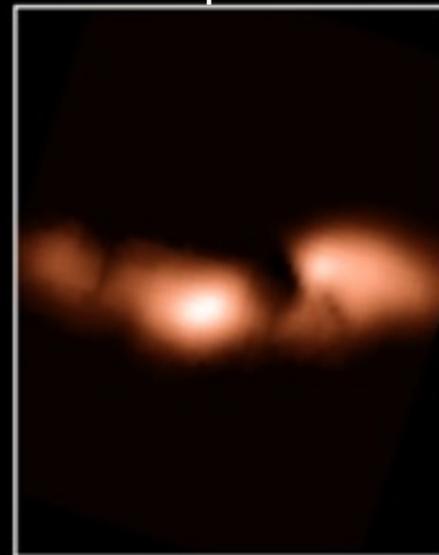
Para muchos objetos la información en el rango visible es incompleta y sesgada

Centauro A en diferentes longitudes de onda

Rayos X

Ultravioleta

Óptico

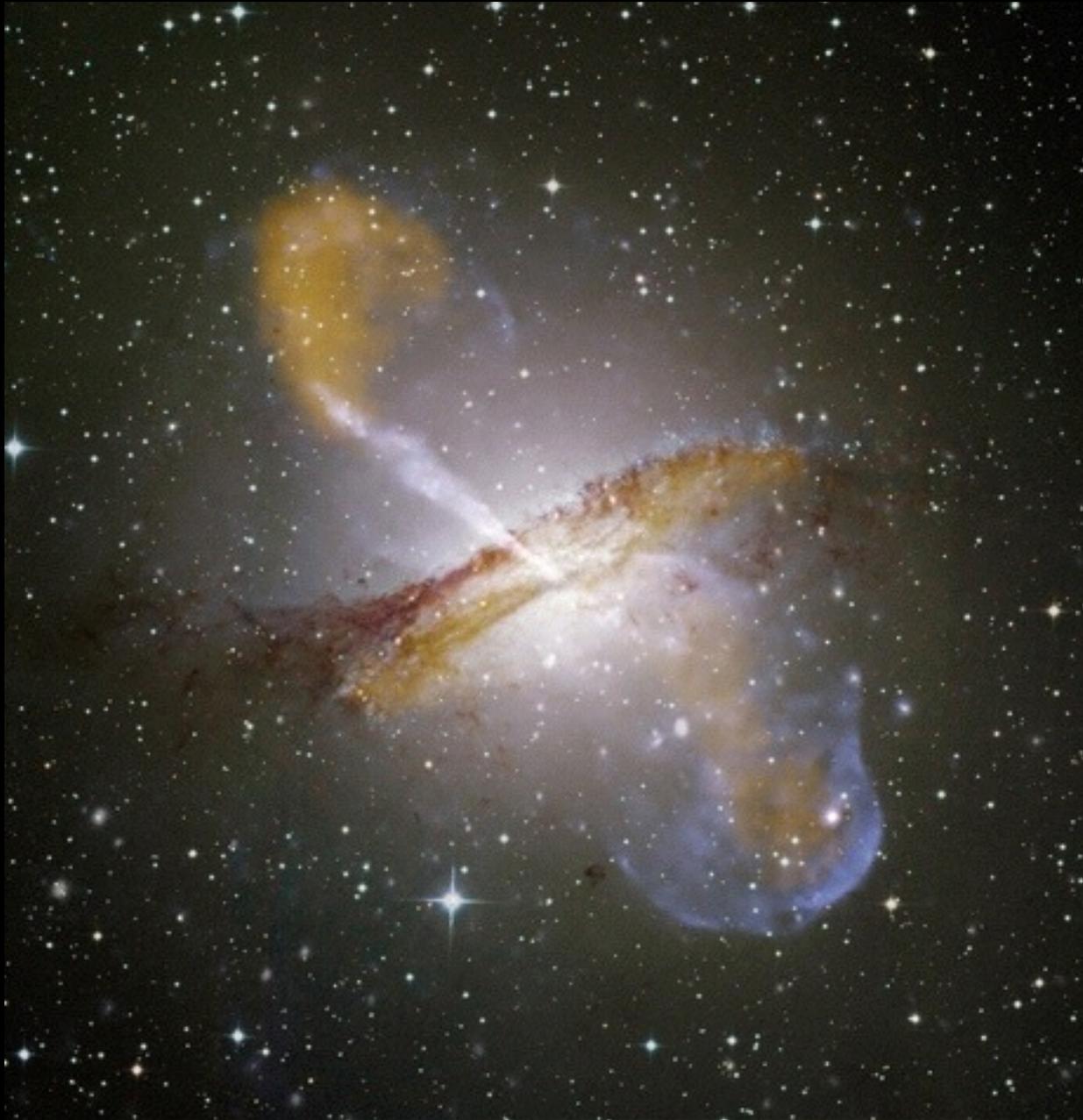


Infrarrojo medio

Radiocontinuo

Radio 21 cm

Centauro A en diferentes longitudes de onda



Radiotelescopios

La región espectral de radioondas se encuentra en una de las ventanas accesibles de la atmósfera

Grandes discos parabólicos con una antena, sintonizada a la frecuencia deseada, en el foco



Effelsberg 100 m



IRAM (Sierra Nevada) 30 m

Radiotelescopios

Arecibo 305 m

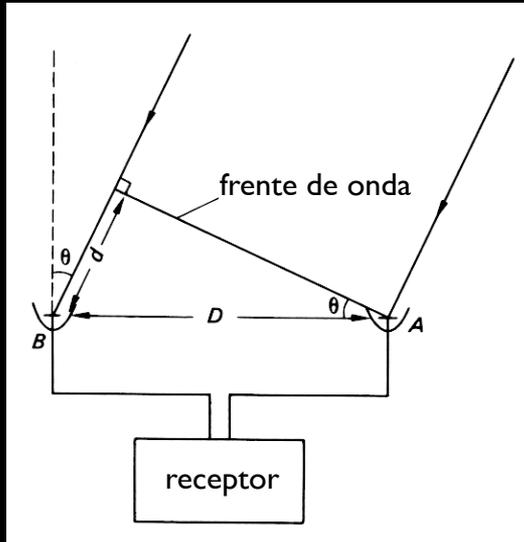
Problema: resolución angular baja

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

Ej. para $D = 100$ m y $\lambda = 21$ cm, la resolución (θ) es de ~ 10 minutos de arco

Interferometría

Combinando las señales de dos o más antenas individuales observando simultáneamente se puede obtener muy alta resolución espacial



Interferencias constructivas cuando:

$$d = n\lambda$$

$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{D}$$



La resolución angular es \sim la de un telescopio de diámetro igual a la distancia cubierta por las antenas

La interferometría con radiotelescopios permite mejor resolución que la de los telescopios ópticos

Interferometría

Combinando dos o más antenas individuales observando simultáneamente y combinando sus señales se puede obtener muy alta resolución.



VLA: 27 antenas de 25 m, cubriendo un área de 27 km de diámetro.
Puede alcanzar una resolución de 0.05 arcseg (a $\lambda = 7$ mm)

Interferometría

Atacama Large Milimeter Array (ALMA)

- 66 antenas de 12 m de diámetro.
- A 5000 m de altura en Chile (llano de Chajnantor)
- Resolución hasta 0.01''
- Colaboración ESO - USA - Japón



Atacama Desert
Andes Mountains, Chile



Los radiotelescopios que trabajan en milimétricas se colocan en lugares muy secos (bajo contenido de vapor de agua precipitable) para evitar absorciones de la molécula de agua



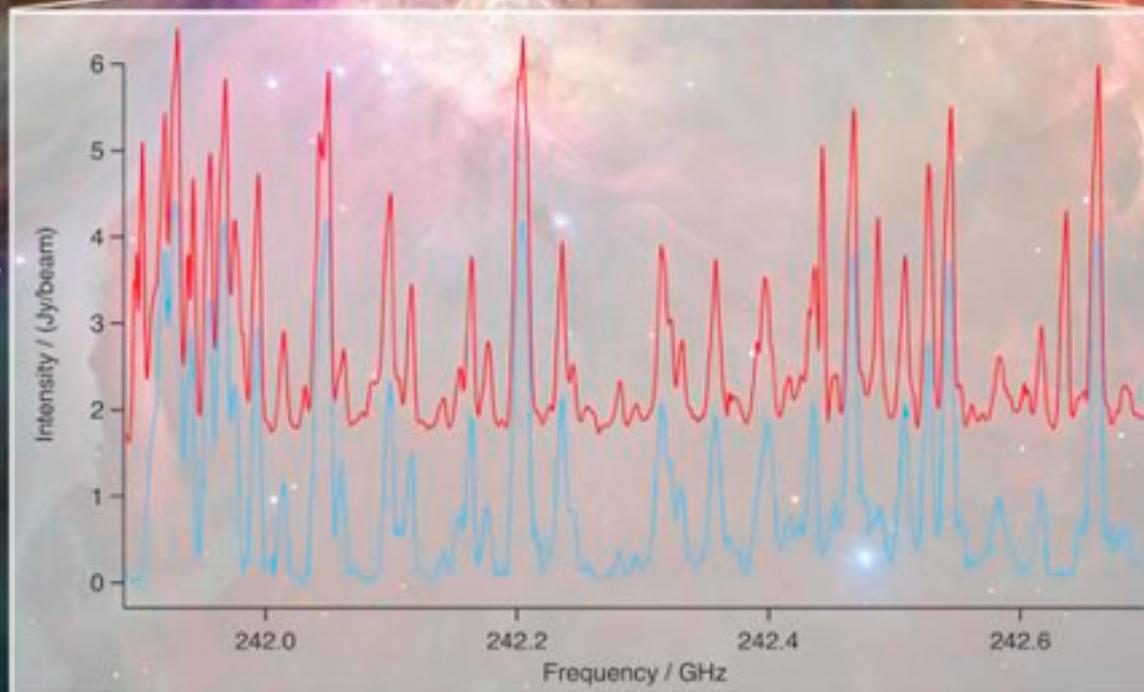
En operación completa desde finales de 2013

Ver vídeos "Europe to the Stars" (50 aniversario de ESO)

Tour virtual en: <http://www.almaobservatory.org/es/visuales/tour-virtual-por-alma>

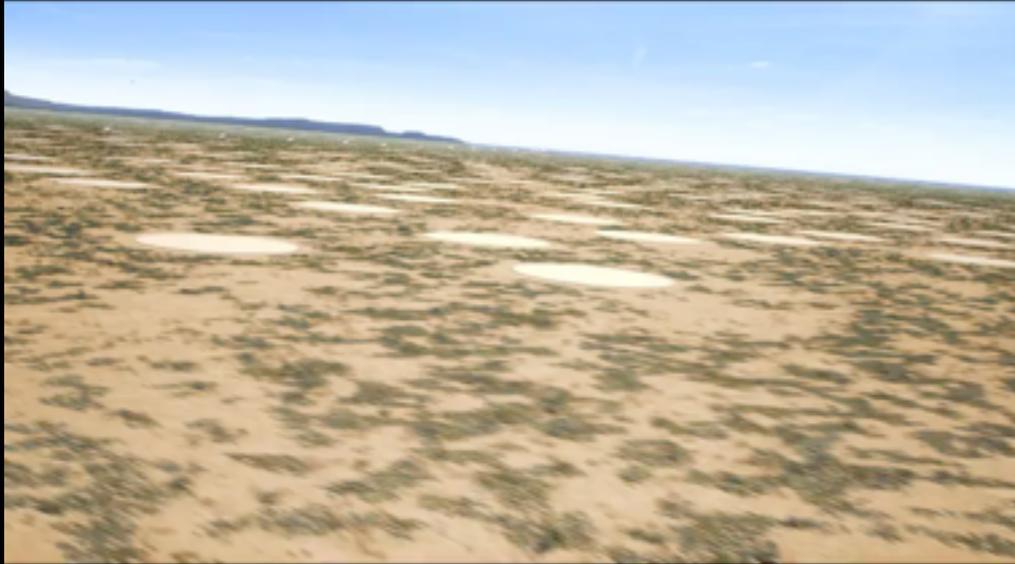
ALMA

Astroquímica (ej. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CN}$ en Orion)





SKA (Square Kilometer Array)

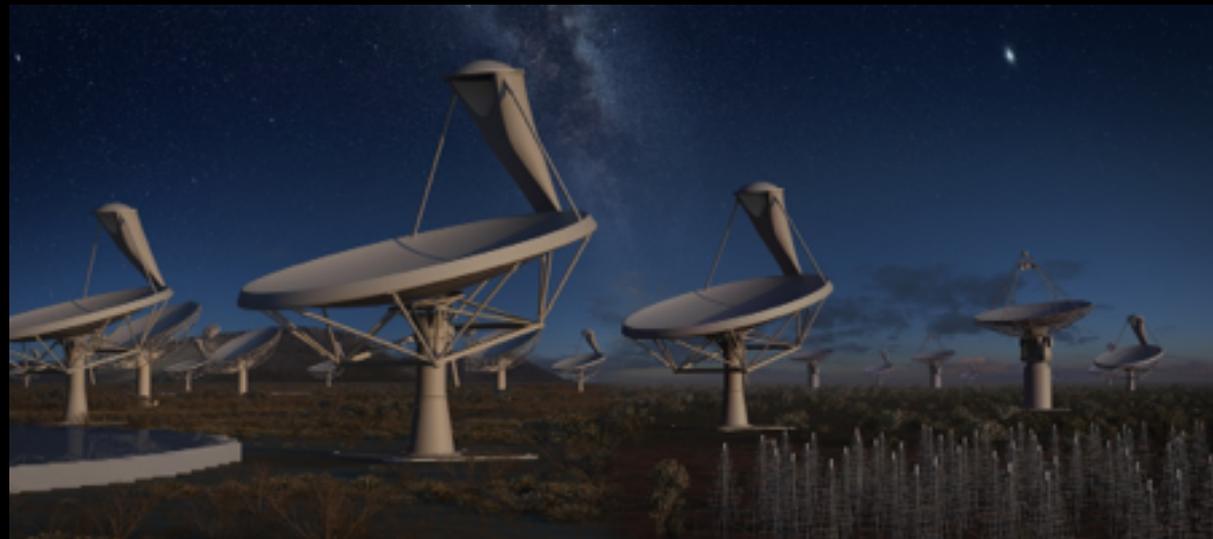
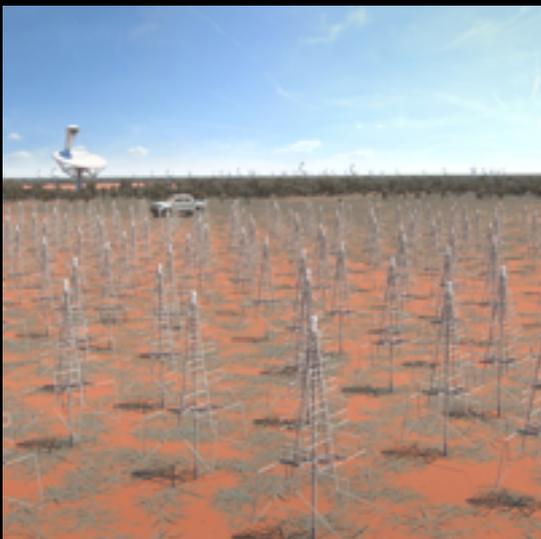


1 km cuadrado de área colectora
Miles de radiotelescopios en tres configuraciones diferentes (frecuencias altas, medias y bajas)

Los telescopios estarán ubicados en África y en Australia

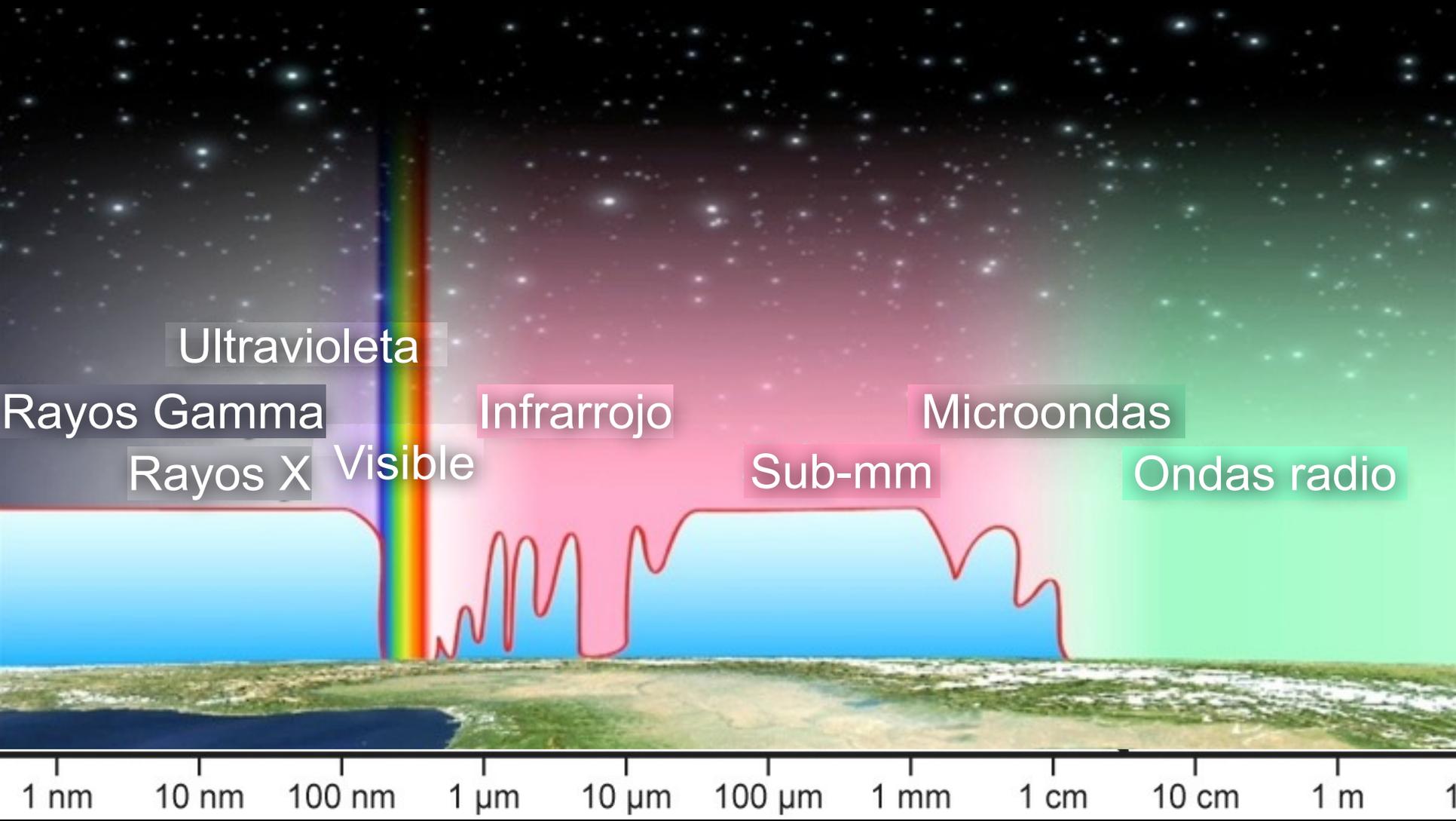
Resolución espacial de 50 veces mejor que la del HST

Exploraciones de grandes áreas del cielo + observaciones profundas



Ventanas atmosféricas

La atmósfera de la Tierra es opaca a la radiación en una gran parte del espectro electromagnético. Sólo puede observarse en el visible, en ondas de radio y en algunas ventanas del infrarrojo



Telescopios espaciales

VENTAJAS:

- ✓ Todas las frecuencias accesibles
- ✓ No hay turbulencia atmosférica
- ✓ No hay extinción atmosférica

DESVENTAJAS:

- * Misiones más caras
- * Condiciones extremas (tecnología espacial)
- * Mantenimiento y operación complicados
- * Vida útil limitada por fungibles



Telescopios espaciales

Rayos γ

0.01 nm

Rayos X

10 nm

Ultravioleta

400 nm



Cos-B



Einstein



IUE



CGRO



Rosat



EUVE



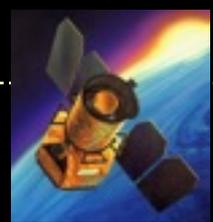
HST



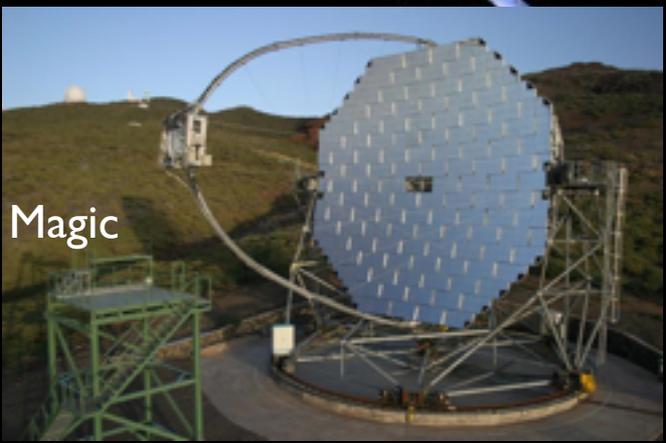
XMM-Newton



Chandra



GALEX



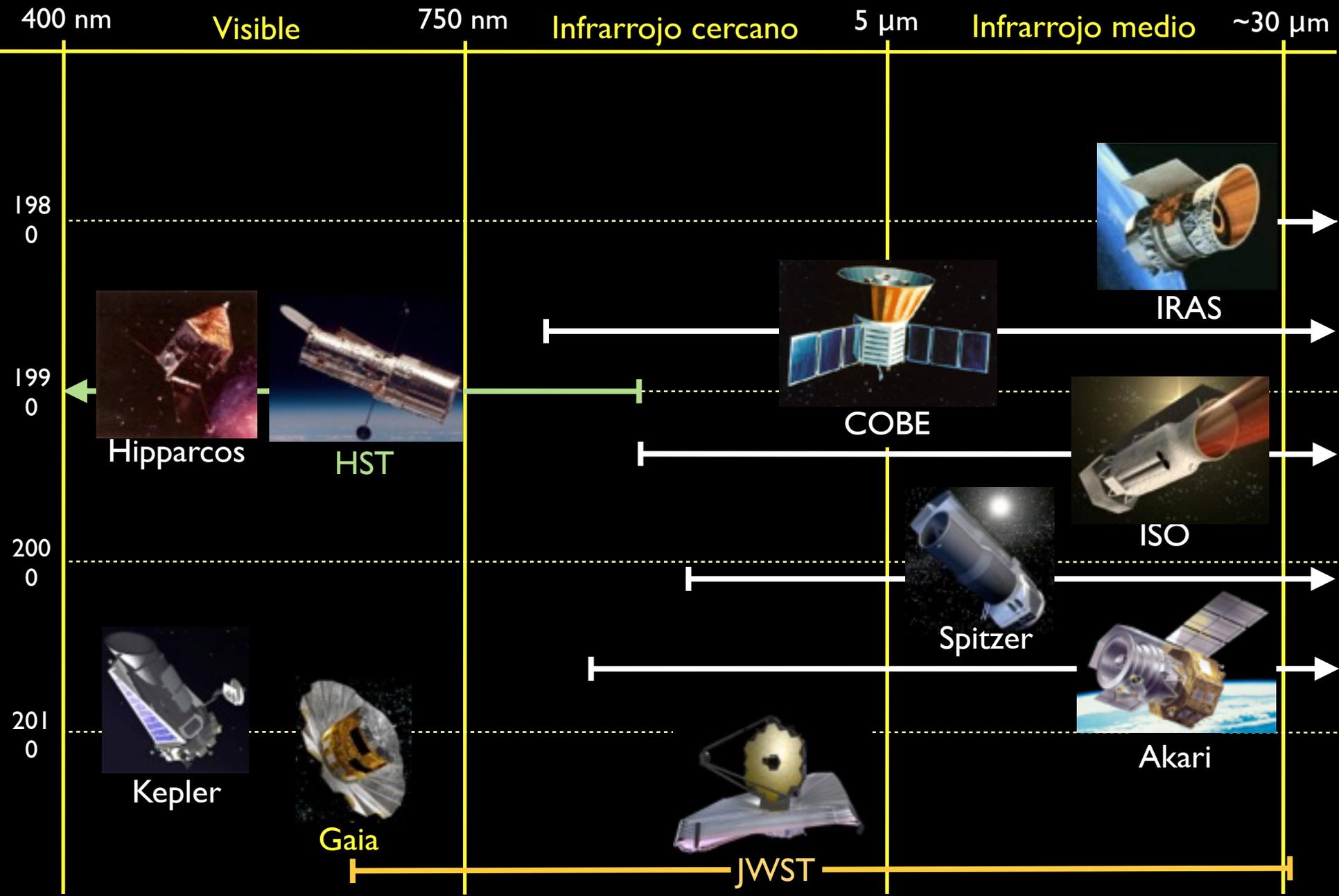
Magic



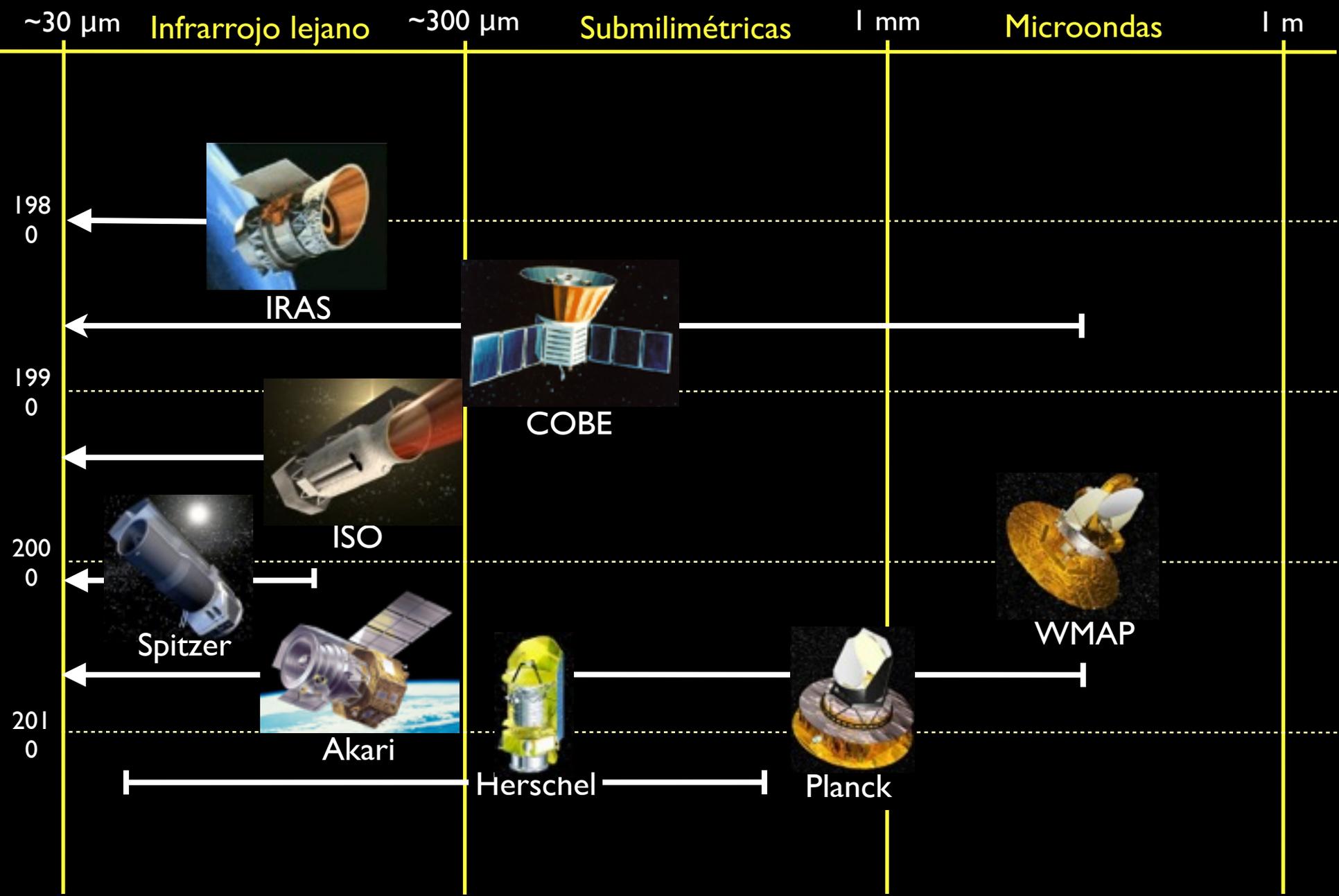
ATHENA-X

EUVO

Telescopios espaciales



Telescopios espaciales



JWST (James Webb Space Telescope)

Sucesor del HST

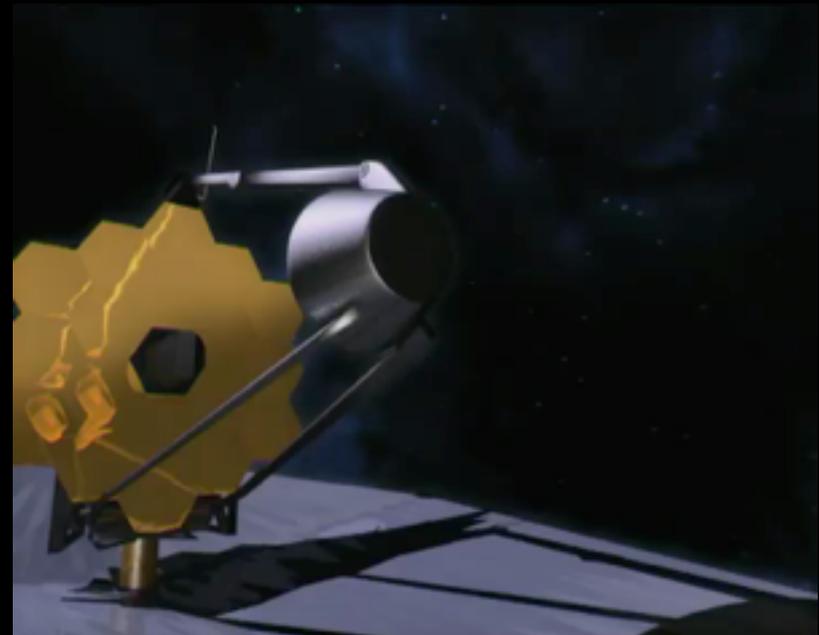
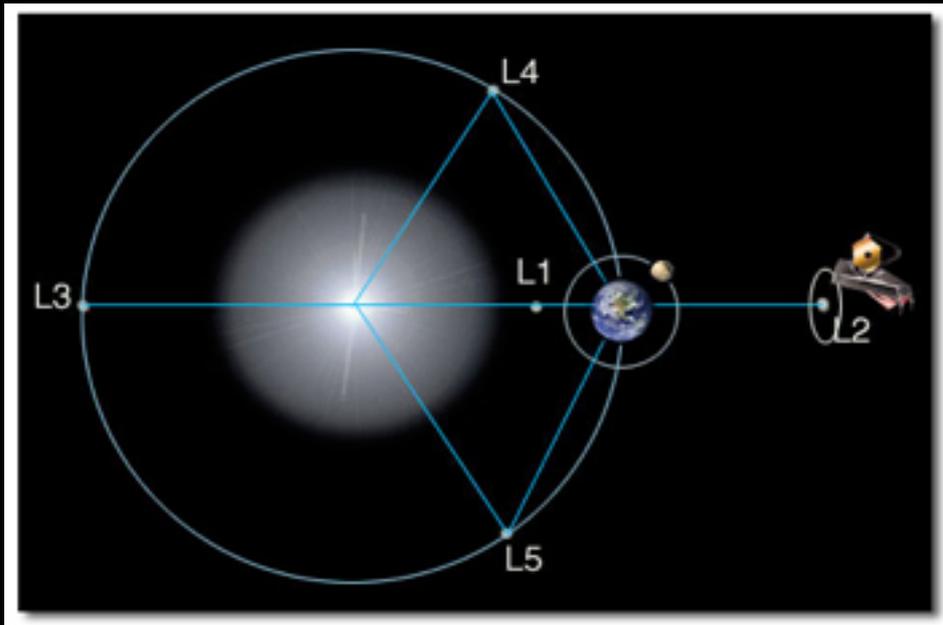
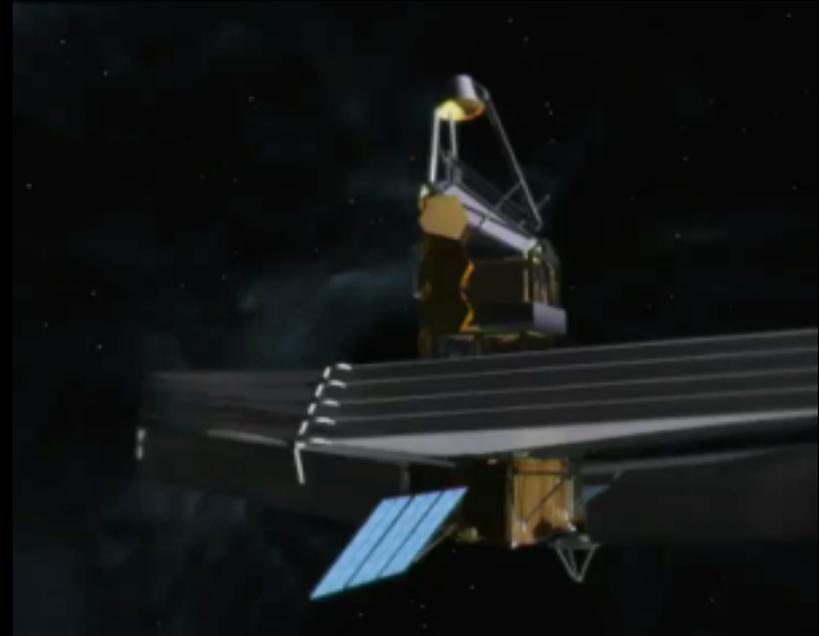
Lanzamiento planeado para 2018 (?)

Visible e infrarrojo (de 6000 Å a 28 μm)

Espejo segmentado de 6.5 m

En órbita alrededor del Sol a 1.5×10^6 km de la Tierra (L2)

Gran escudo solar para mantenerlo frío



Referencias y enlaces

Textos:

- "Astronomy: Principles and Practice", por A.E. Roy & D. Clarke, Institute of Physics Publishing
- "Observational Astronomy", por D.S. Birney, G. González & D. Oesper, Cambridge University Press

Vídeos:

Tipos de telescopios:

http://www.spacetelescope.org/videos/eyes_skies_refractor/
http://www.spacetelescope.org/videos/eyes_skies_reflector/
http://www.spacetelescope.org/videos/eyes_skies_mount_eq/
http://www.spacetelescope.org/videos/eyes_skies_mount_az/
<http://www.gtcdigital.net/imagenes.php?opI=7&num=7&ind=42>

Telescopio Hubble:

http://www.spacetelescope.org/videos/general_f/
http://www.spacetelescope.org/videos/general_l/

Gemini:

<http://www.gemini.edu/gallery/v/Special-Images/Video/0296HDObsFloor.jpg.html>

VLT:

<http://www.eso.org/public/videos/vltandatrotationtimelapse/>
<http://www.eso.org/public/videos/paranal-vlt08timelapsI/>
<http://www.eso.org/public/videos/insidevltI timelapse/>
<http://www.eso.org/public/videos/vltfishyetimelapse/>
Tour virtual en: <http://www.eso.org/public/outreach/products/virtualtours/armazones.html>

GTC:

<http://www.gtcdigital.net/imagenes.php?opI=7&num=40&ind=12>

