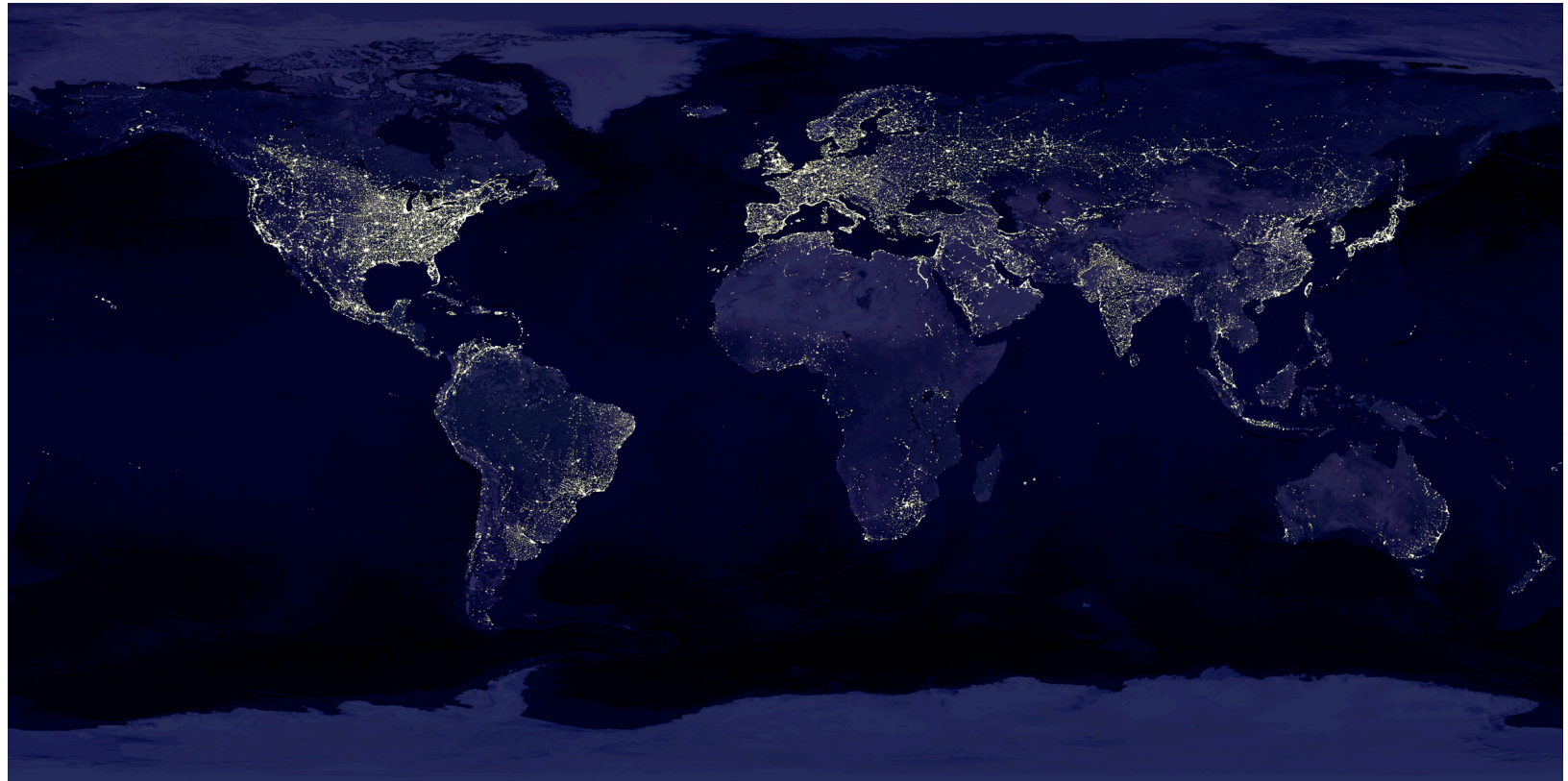


# Tema 3: Instrumentos astronómicos

- Telescopios ópticos
- Detectores y analizadores
- Telescopios radio
- Otros

# Observando a través de la atmósfera

- Efectos de la atmósfera
  - Extinción
  - Centelleo:
    - Cambios en intensidad debido a cambios en el índice de refracción
    - Sólo pasa con estrellas (se ven como puntos), no con planetas (se ven como discos)
  - Emisión de la atmósfera (p.e. emisión térmica, auroras, fluorescencia)
  - Refracción
  - Turbulencia → “Seeing”:
    - Diferencias en refracción aumentan tamaño del objeto → estrellas parecen como pequeños discos de  $\approx 1$  arcsec en vez de punto
    - El seeing limita la resolución angular del telescopio
- Efectos del entorno: Contaminación lumínica

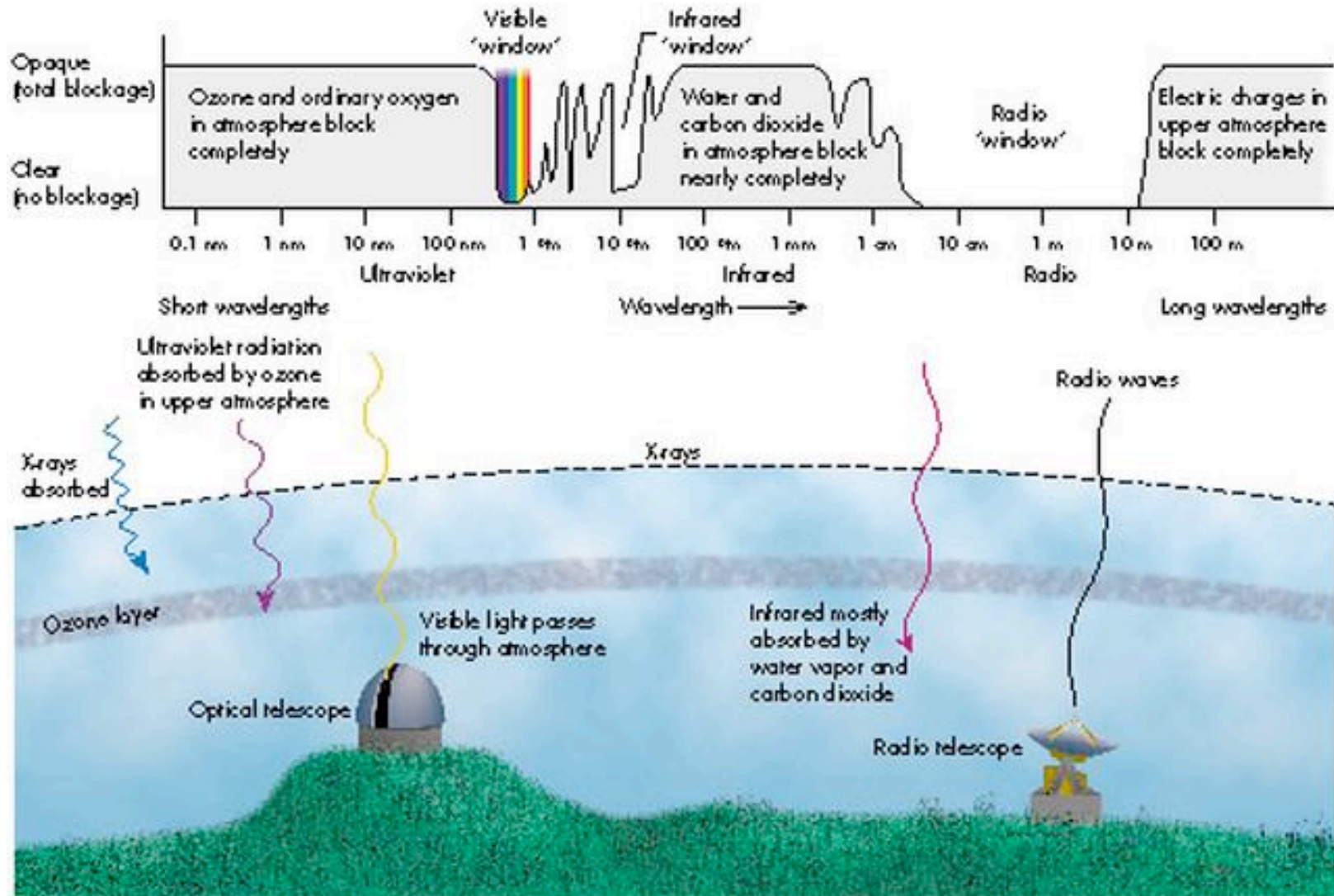


• **Contaminación lumínica**



**Contaminación lumínica en el Observatorio de Sierra Nevada**

# Absorción atmosférica



# Consecuencias para telescopios

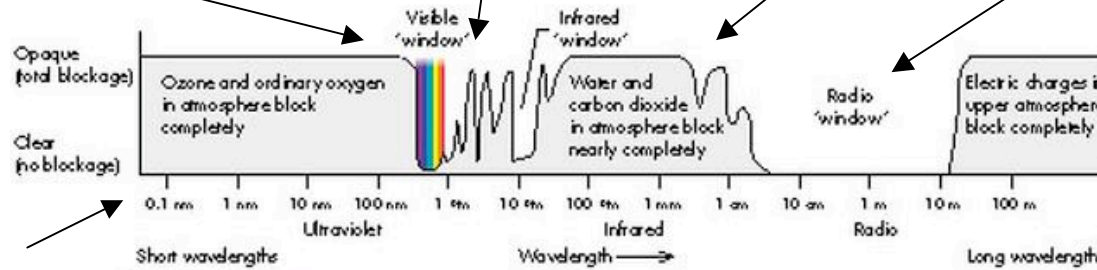
**Visible:**  
Telescopios pueden estar en la superficie de la Tierra

**Infrarojo:**  
Cercano: Se puede observar desde la superficie de la Tierra  
Lejana: Se necesitan satélites

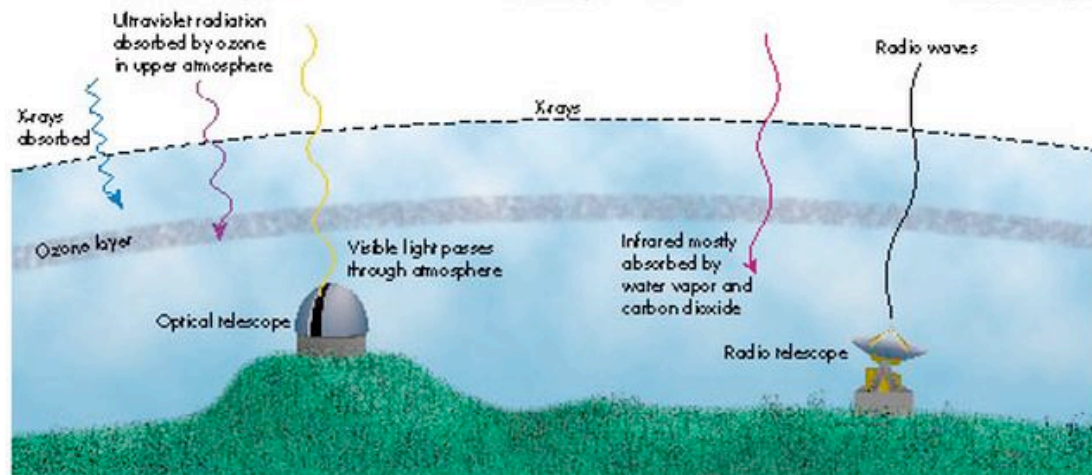
**Radio mm:**  
Telescopios a gran altura, en lugares secos .  
Satélites ayudan

**UV:** Satélites, cohetes, globos

**Radio cm:** Telescopios pueden estar a la altura del mar



**Rayos x y gamma:**  
Satélites, cohetes

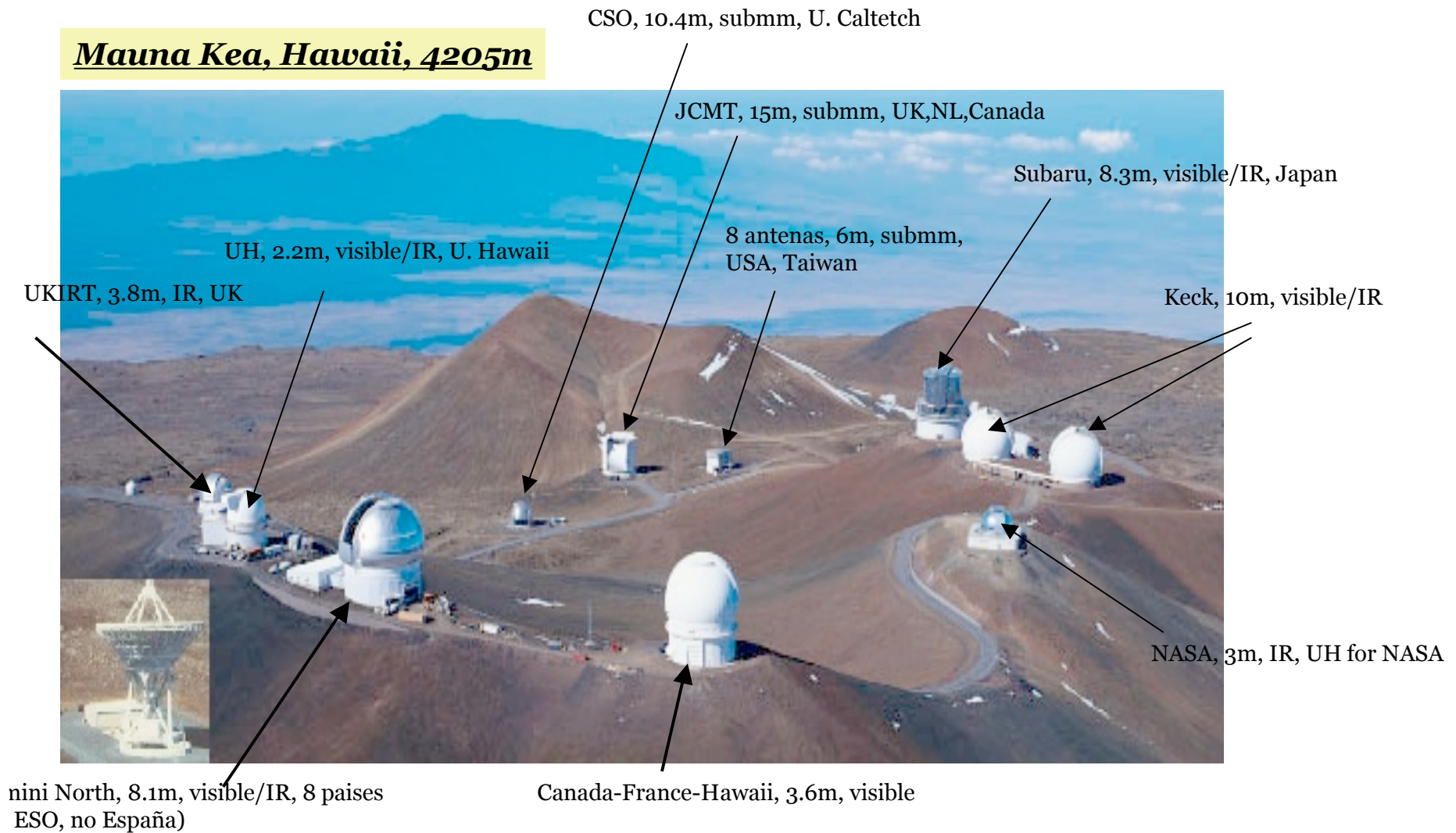


# Elección de un sitio para un observatorio

- Ausencia de nubes: favorable: sitios altos, por encima de capa de inversión
- Lejos de la contaminación lumínica → sitios aisladas (pero no demasiado)
- Atmósferas estables:
  - Poca turbulencia → buen “seeing”
  - Estabilidad en la transparencia → corrección de la extinción de la atmósfera tiene pocas variaciones en el tiempo
- Para IR y milimétrica: poca agua (absorbe y emite) en la atmósfera
  - Mejores sitios: altos y fríos
  - Pero tienen que tener también buena accesibilidad

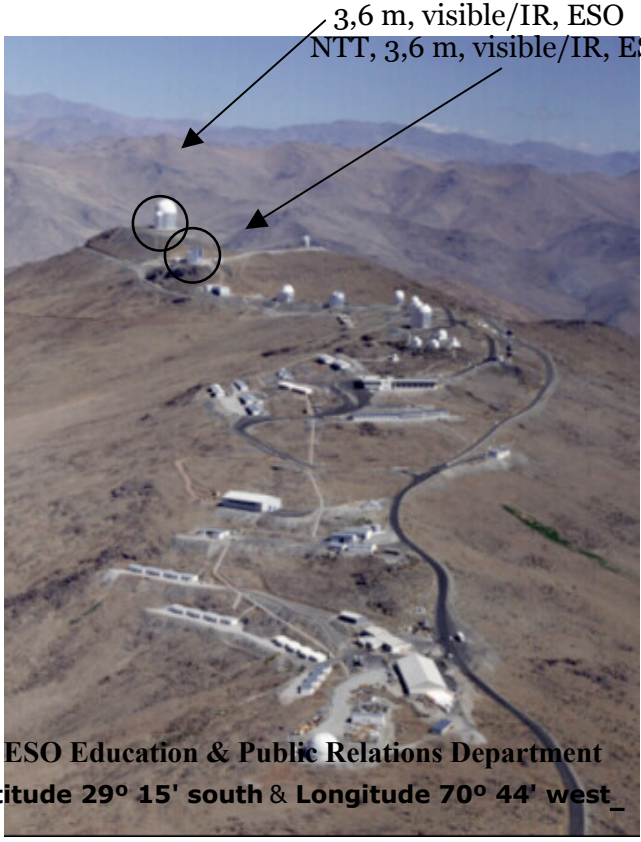
# Algunos sitios importantes con telescopio

## ***Mauna Kea, Hawaii, 4205m***



**CHILE**

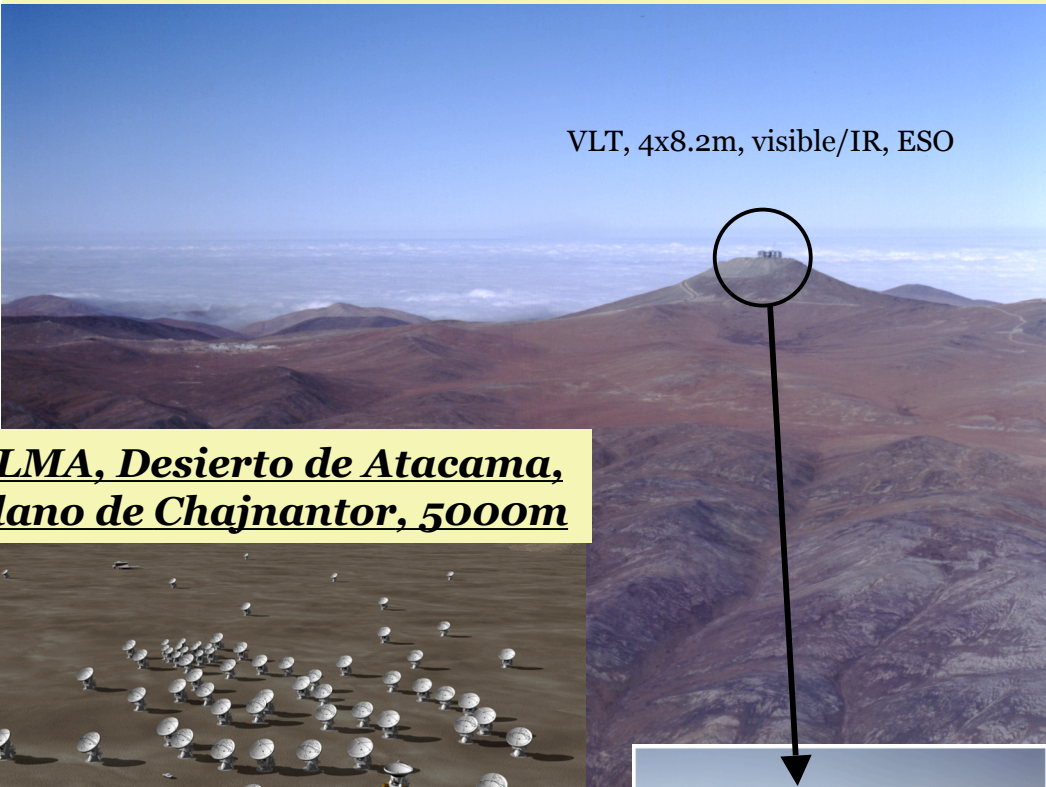
***La Silla, Chile, 2400m***



3,6 m, visible/IR, ESO  
 NTT, 3,6 m, visible/IR, ESO

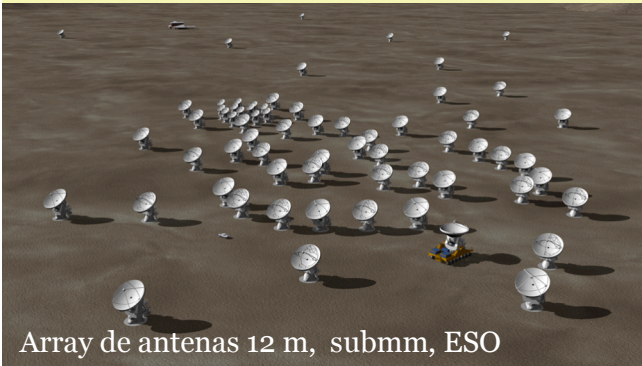
© ESO Education & Public Relations Department  
 Latitude 29° 15' south & Longitude 70° 44' west

***Cerro Paranal, Desierto de Atacama, Chile, 2600m***



VLT, 4x8.2m, visible/IR, ESO

***ALMA, Desierto de Atacama, Llano de Chajnantor, 5000m***



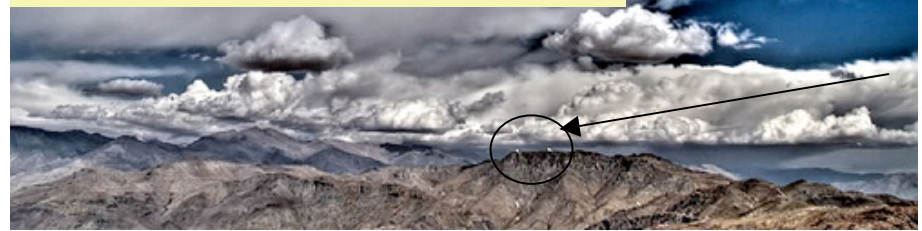
Array de antenas 12 m, submm, ESO

© ESO Education & Public Relations Department



The VLT Array on the Paranal Mountain

***Cerro Pachón, Chile, 2740m***



SOAR 4.1 m, visible/IR, Barzil, USA  
 Gemini South, 8.1m, visible/IR

Latitude 30° 14' 16.8" S & Longitude 70° 44' 01.4" W

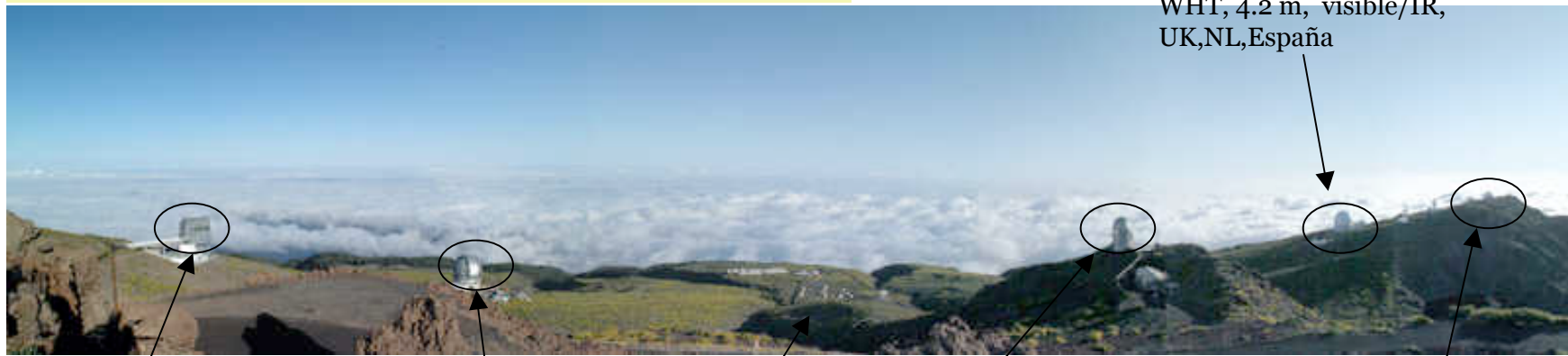
*Además,*

- Las Campanas (Magellan, 2 x 6m, USA)
- Cerro Tololo (CTIO)

ESO PR Photo 14a/01 (24 May 2000) © European Southern Observatory



**Roque de los Muchachos, La Palma, 2400m**



TNG, 3,9m, visible/IR  
Italia

GTC, 10m, visible/IR  
España+México+U. Florida

NOT, 2.5 m, visible/IR,  
Nórdico

WHT, 4.2 m, visible/IR,  
UK,NL,España

INT, 2.5 m, visible/IR,  
UK,NL,España

**Además:**

- MAGIC, 2 x 17m Cherenkov telescope
- Torre solar sueca + Torre Holandesa
- experimento SUPERWASP
- Mercator telescope, 1.2m,Bélgica
- Liverpool robotic telescope, 2m
- The Carlsberg Meridian Telescope

**España**



Telescopio de 30m del  
Instituto de Radioastronomía  
Milimétrica (IRAM) en Sierra  
Nevada

**Calar Alto, Almería, 2170m**



1.23 m, visible/IR, Alemania+España

2.2 m, visible/IR,  
Alemania+España

3.5 m, visible/IR, Alemania+España

# Telescopios ópticos

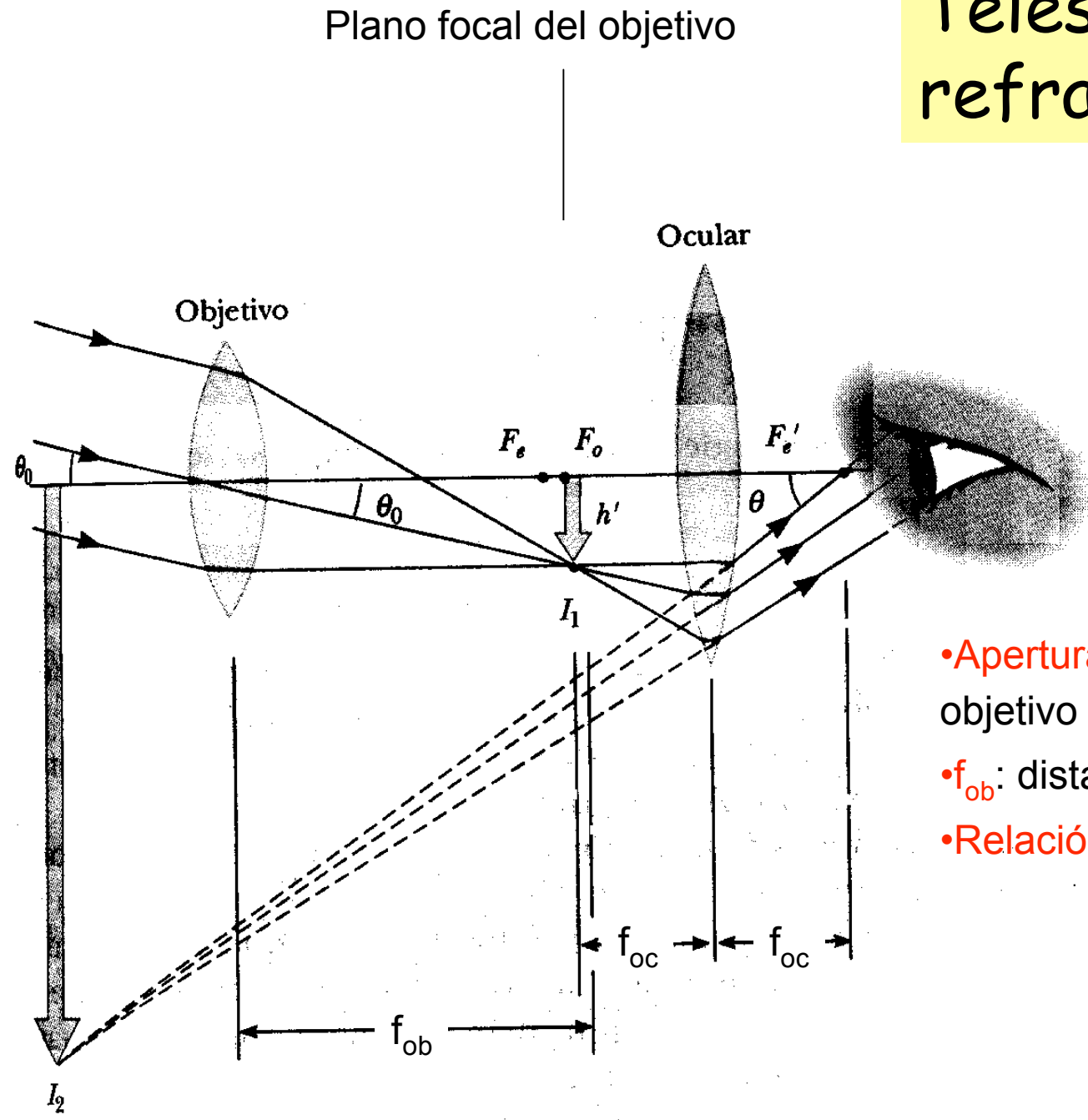
Sus funciones principales

1. Colectan radiación en un área grande → aumentan sensibilidad (en comparación al ojo)
2. Aumentar la resolución angular

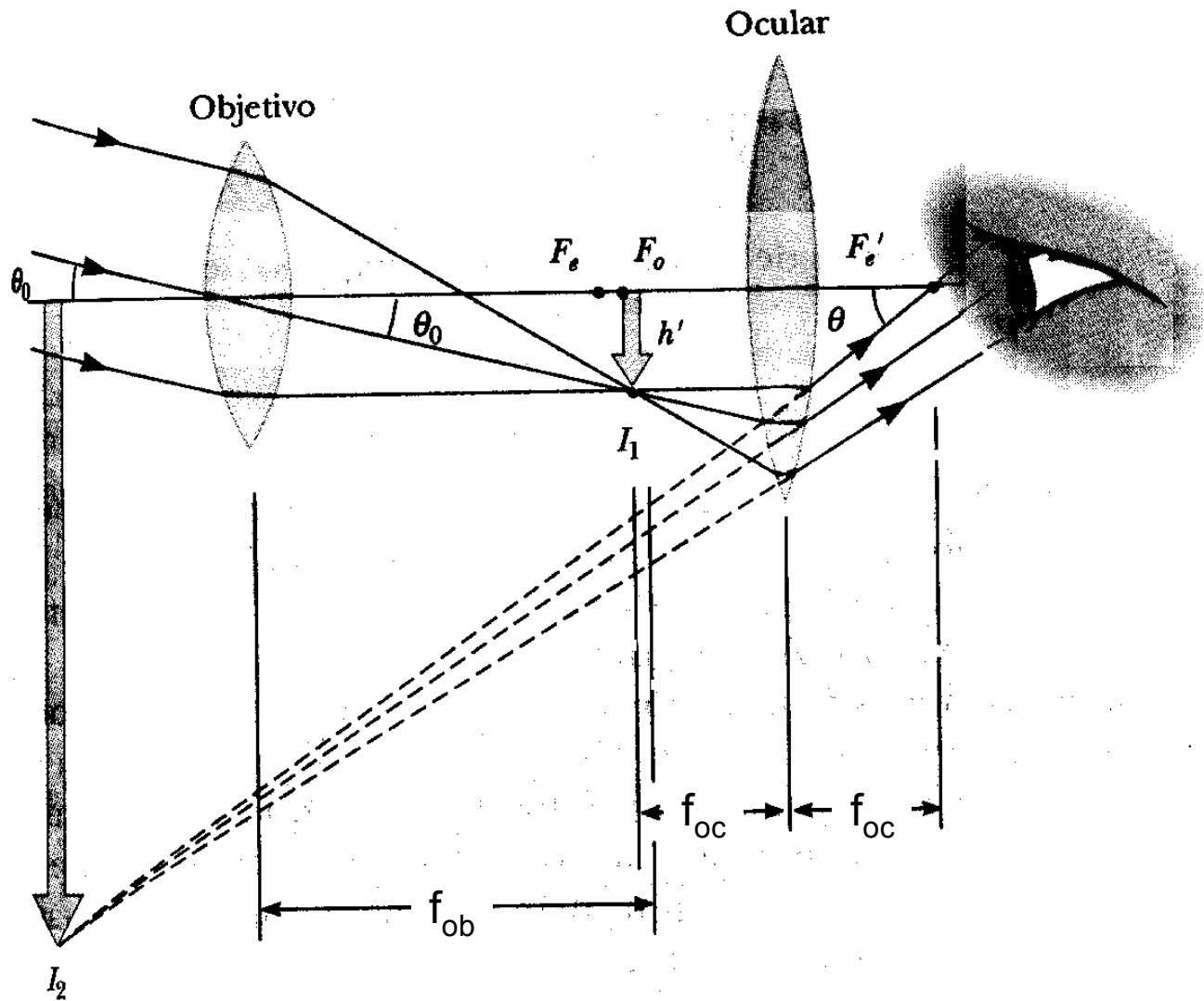
Parámetros relevantes:

- Diámetro del espejo/objetivo
- Resolución angular
- Aumento

# Telescopio de refracción



- **Apertura D**: diámetro del objetivo
- **$f_{ob}$** : distancia focal
- **Relación focal**:  $f_{ob}/D$

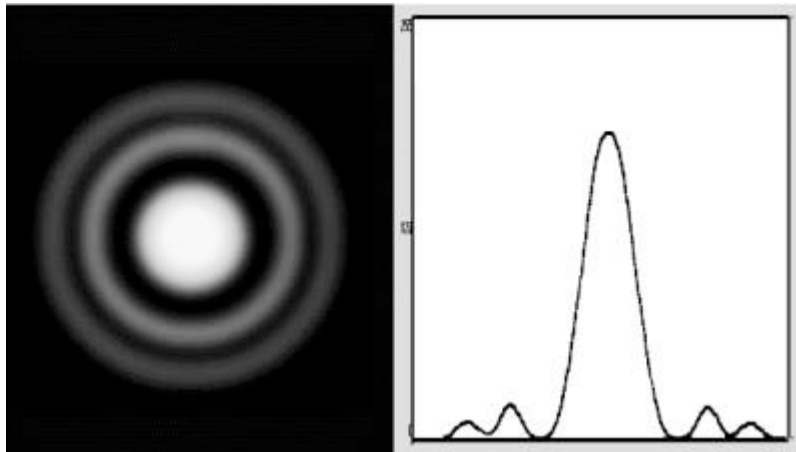


**Aumento  $A$ :** cociente entre el diámetro angular aparente y real del objeto

$$A = \Theta/\Theta_0 \sim (h'/f_{oc})/(h'/f_{ob}) = f_{ob}/f_{oc}$$

→ Aumento es grande si:

- $f_{ob}$  grande
- $f_{oc}$  pequeño

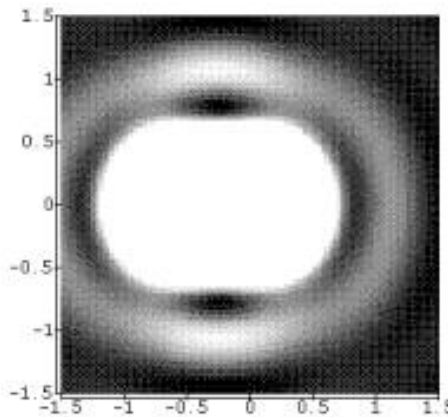


Debido a la difracción una estrella no se ve como un punto sino como un disco rodeado por anillos

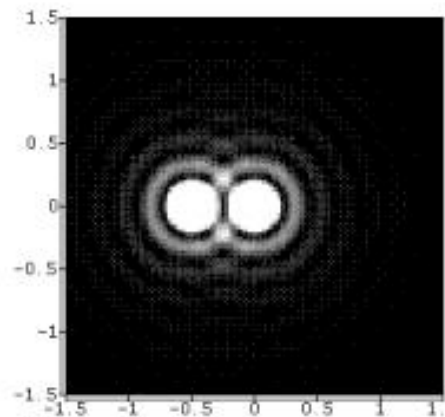
# Resolución angular

Resolución angular (distancia en la que dos puntos se pueden ver como separados):

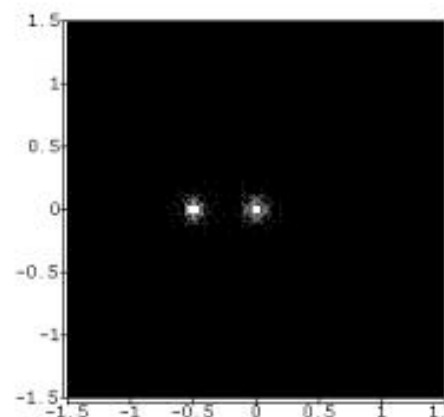
$$\Theta = 1.22 \lambda / D$$



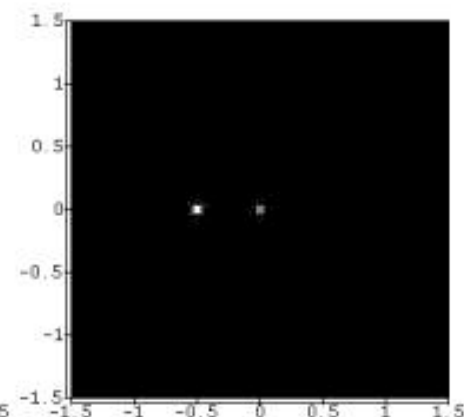
A. Objective size = 0.1524 m (6 in)  
 $\Theta_R = 0.826$  arc sec at  $\lambda=500$  nm  
 integration time = 30 minutes



B. Objective size = 0.508 m (20 in)  
 $\Theta_R = 0.248$  arc sec at  $\lambda=500$  nm  
 integration time = 2.7 minutes

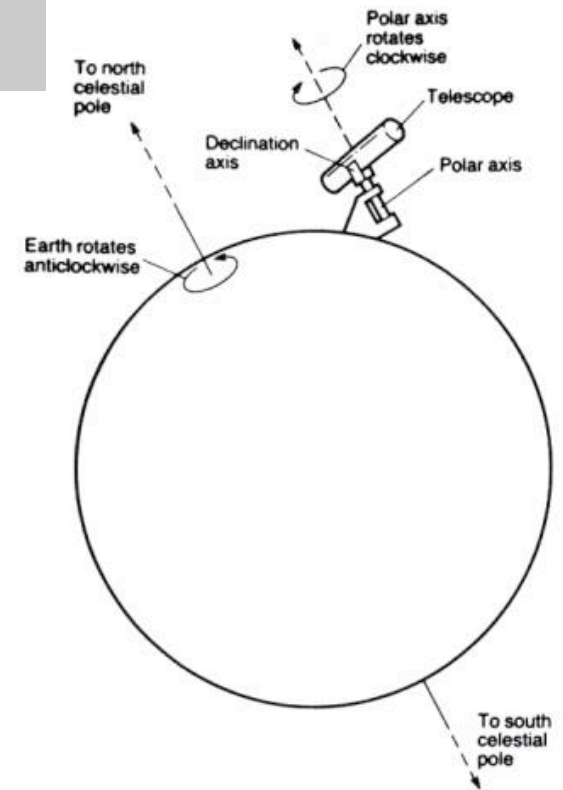
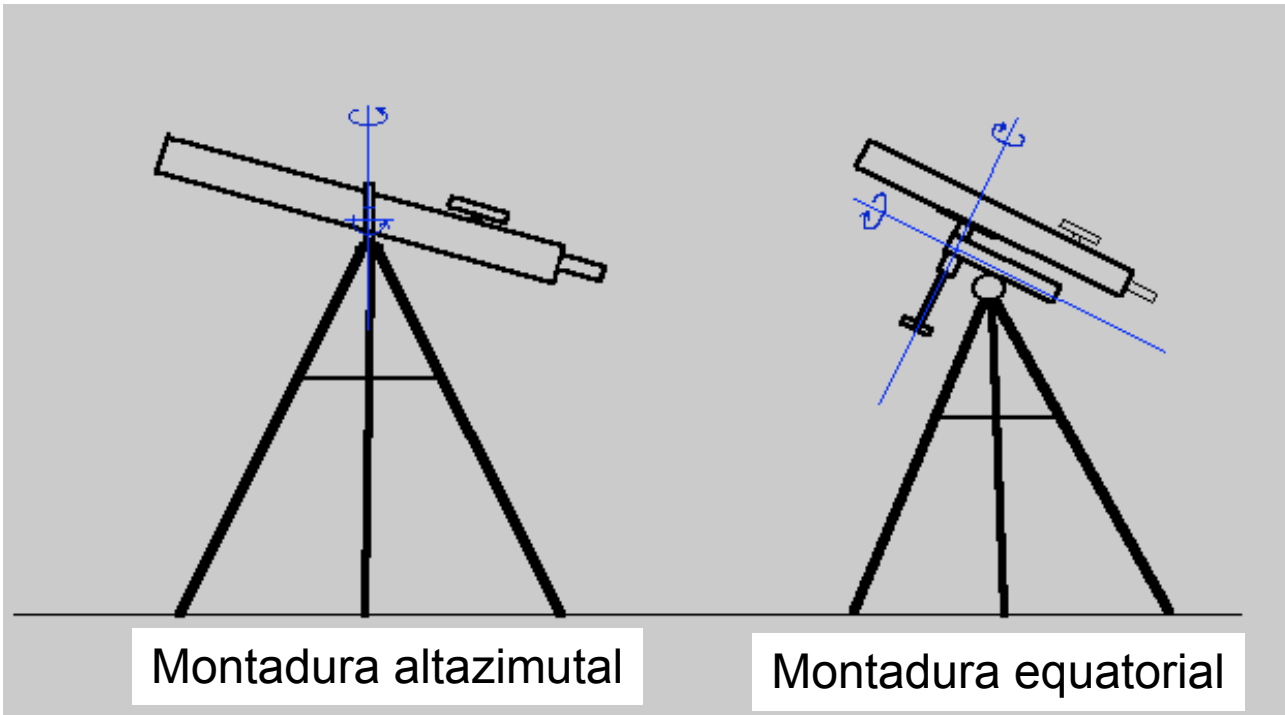


C. Objective size = 2.9876 m (94 in)  
 $\Theta_R = 0.0527$  arc sec at  $\lambda=500$  nm  
 integration time = 7.3 seconds



D. Objective size = 5.08 m (200 in)  
 $\Theta_R = 0.0248$  arc sec at  $\lambda=500$  nm  
 integration time = 1.6 seconds

# Montadura de un telescopio



## Tipos de telescopios: Refractores

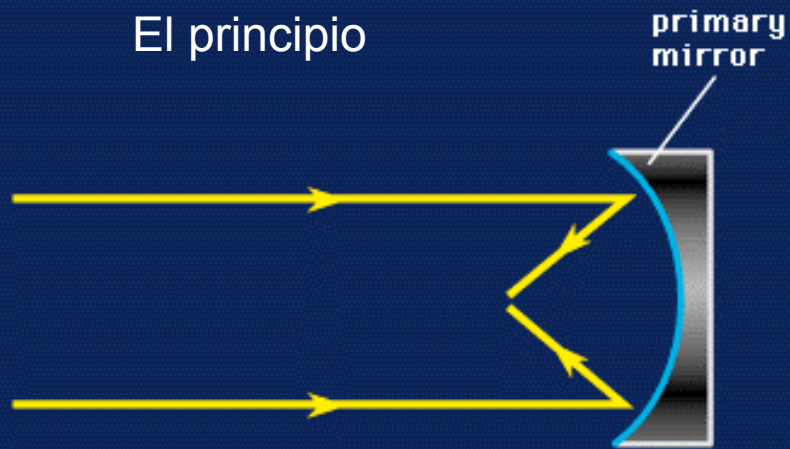
### *Desventaja de refractores:*

- Aberración cromática → según el color, el plano focal es distinto (debido a la dependencia de la refracción de la longitud de onda)  
Se puede corregir (hasta cierto punto) con más lentes
- La apertura no se puede hacer tan grande por que soportes para lentes muy grandes es difícil.
- Telescopios son enormes

Refractor más grande del mundo:  
Refractor de 40 inches (=102cm,  
diámetro del objetivo) del Yerkes  
Observatory (Universidad de  
Chicago)



El principio

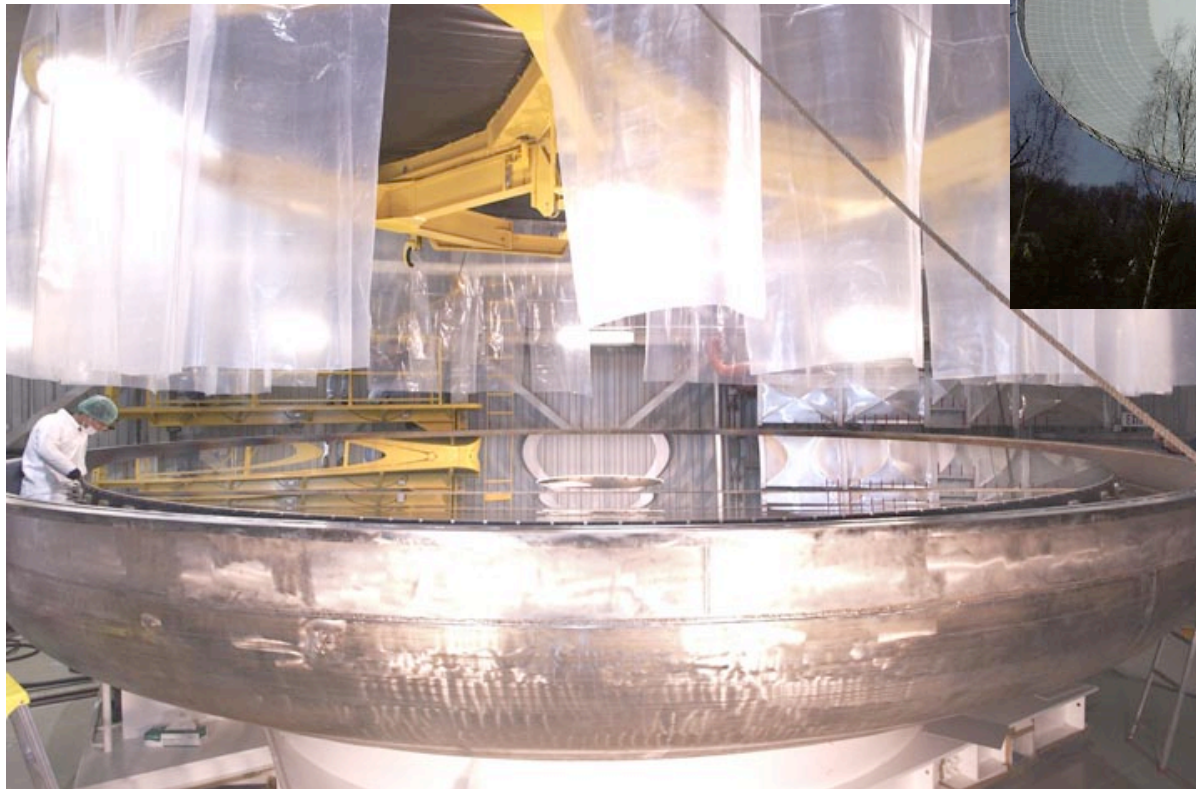


©1994 Encyclopaedia Britannica, Inc.

# Telescopio reflector



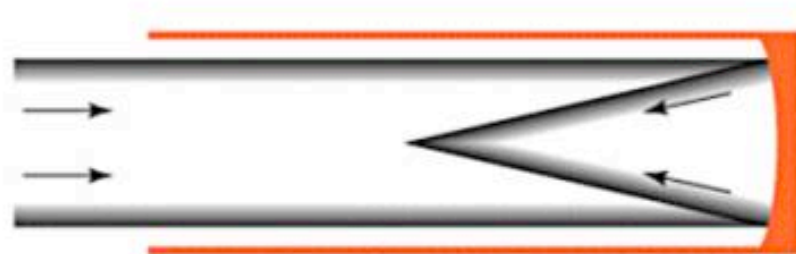
Radiotelescopio de 100m  
en Effelsberg (Alemania)



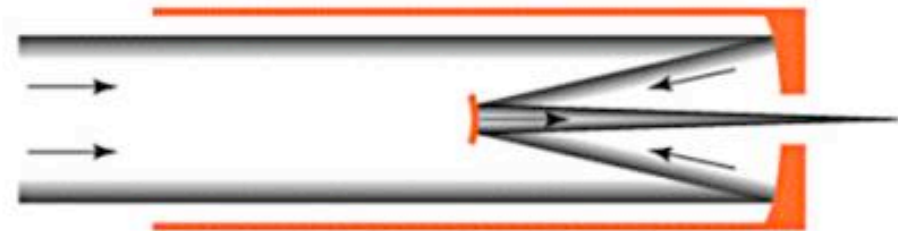
Espejo de 8.1 m en telescopio  
Gemini (20cm espesor)



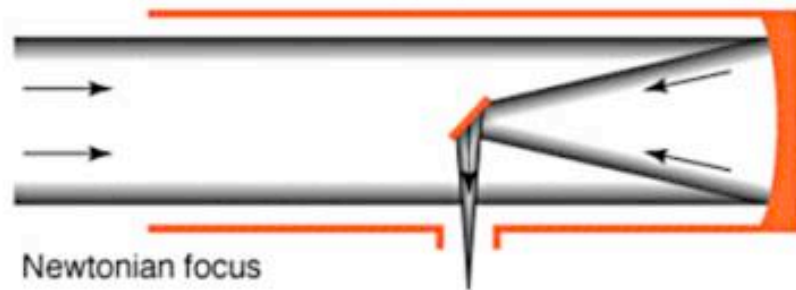
# Diferentes tipos de telescopio reflector



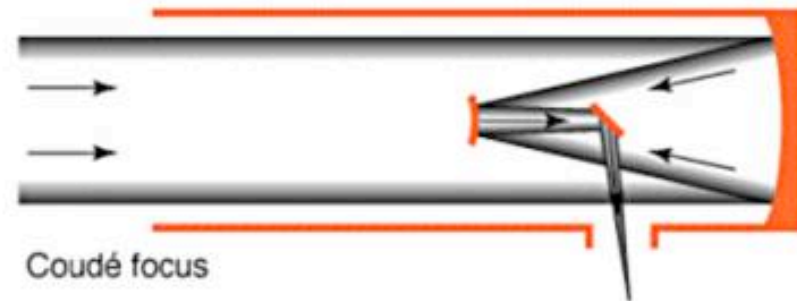
Prime focus



Cassegrain focus



Newtonian focus



Coudé focus

Consiste de espejo primario, y espejos secundario (y terciario)



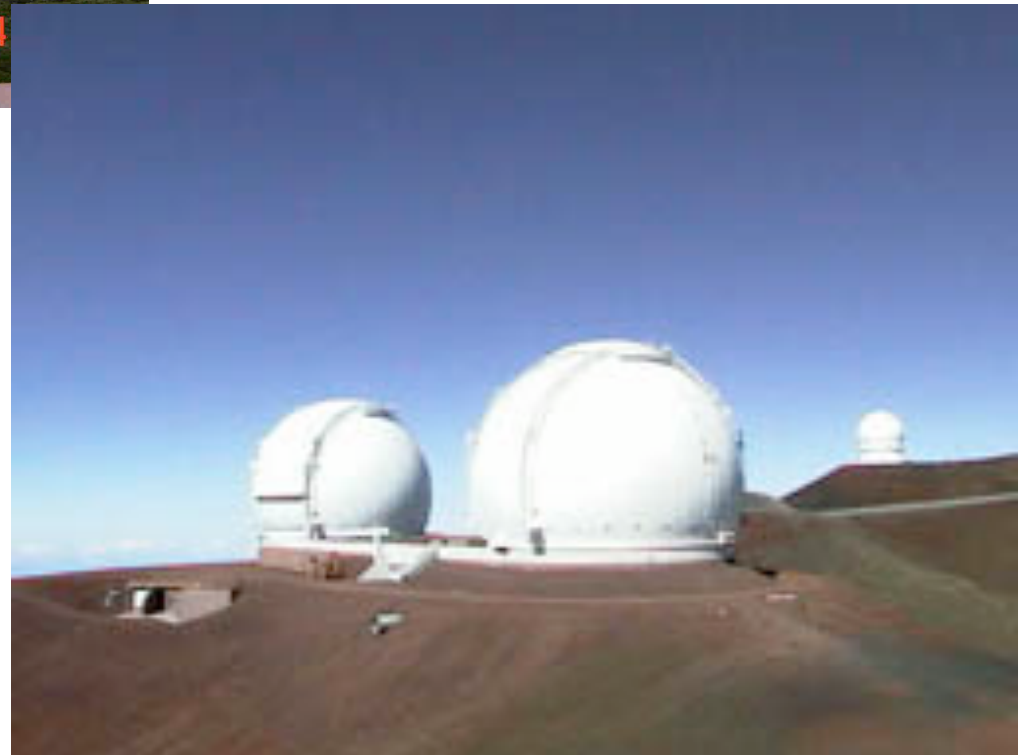
## Algunos de los más grande telescopio de reflexión

Los telescopio Keck :

- Espejos de 10m
- Pagado por la fundación Keck y con acceso para varios universidades californianas y la NASA

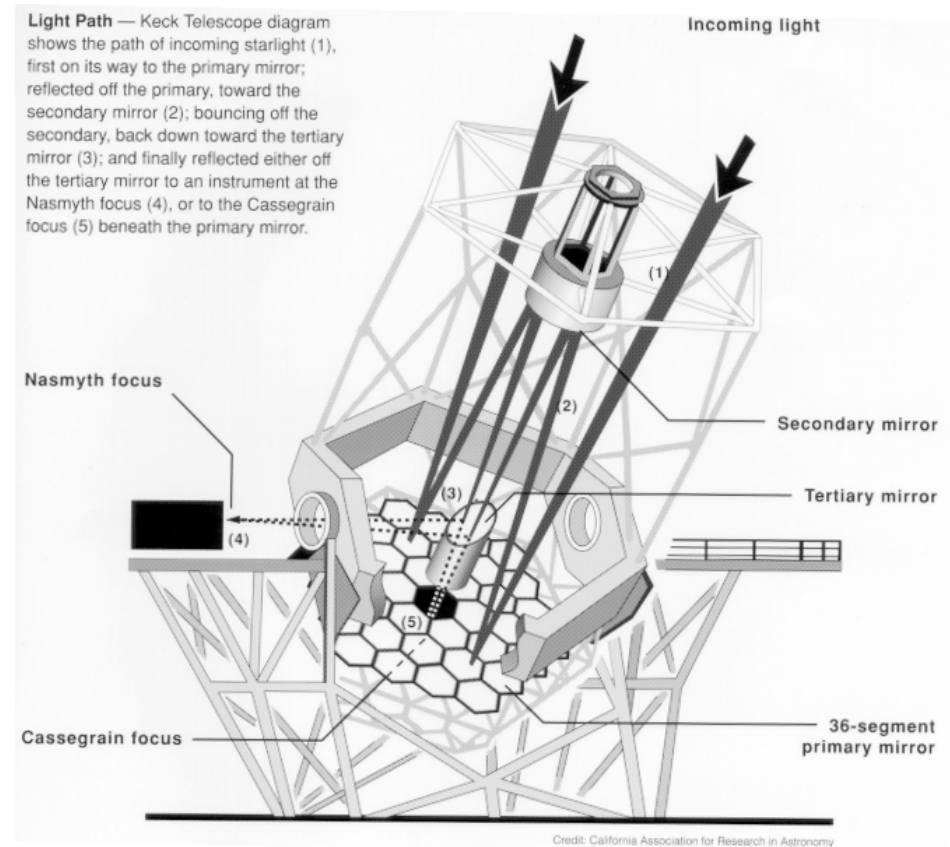
GTC:

- Espejo de 10.4m con 36 segmentos
- Proyecto español, con participación mejicana y de EEUU
- En funcionamiento desde 2008

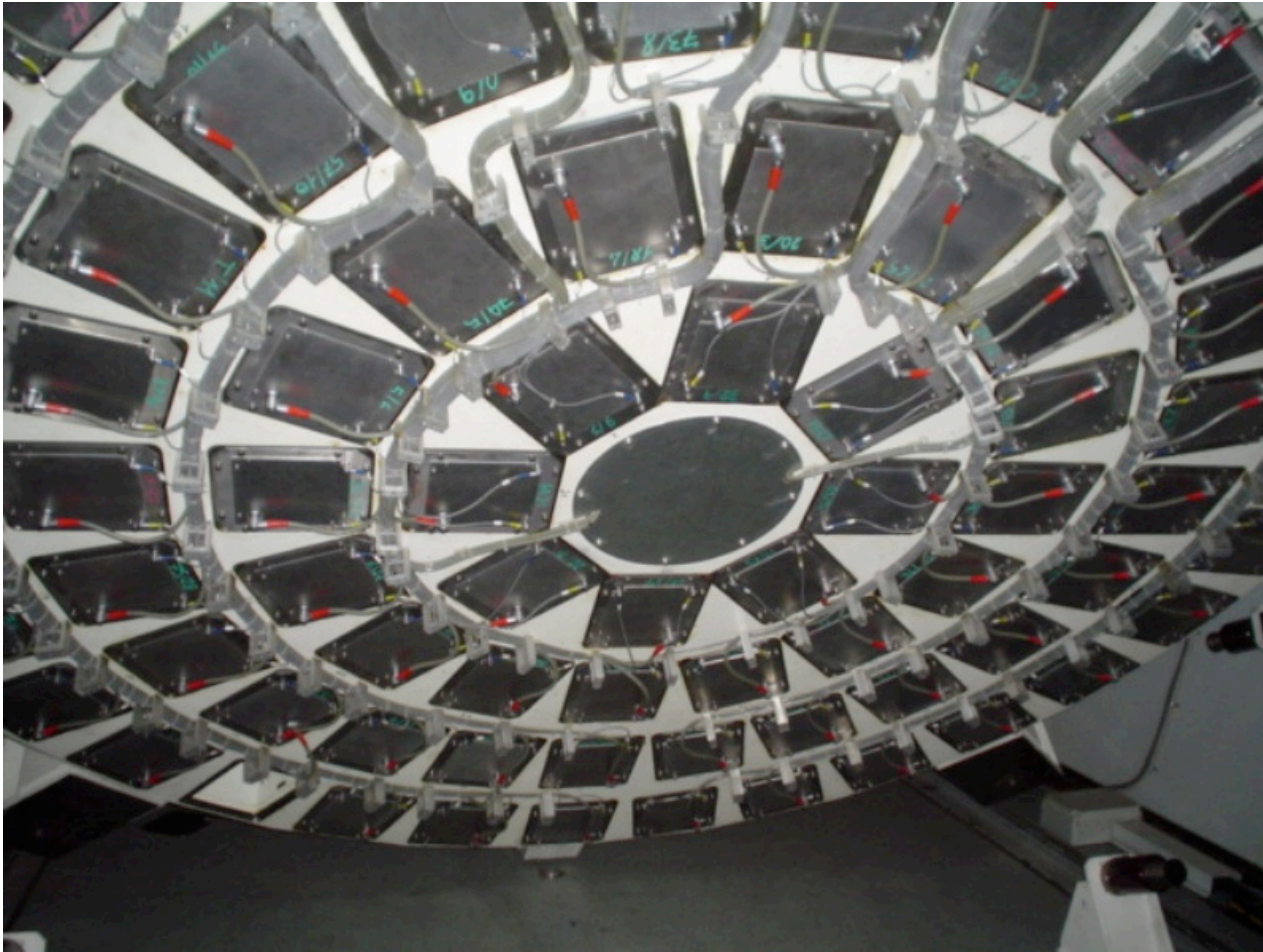


# Telescopios ópticos grandes

- Gran diámetro:
  - Más sensibilidad
  - Problema de construcción → se deforma por su propio peso
  - Solución
    - Construirlo en segmentos y hacerlo más fino
    - Forma está ajustado continuamente: óptica activa
- Hoy hay 12 telescopios con diámetros de más de 8 metros en el mundo

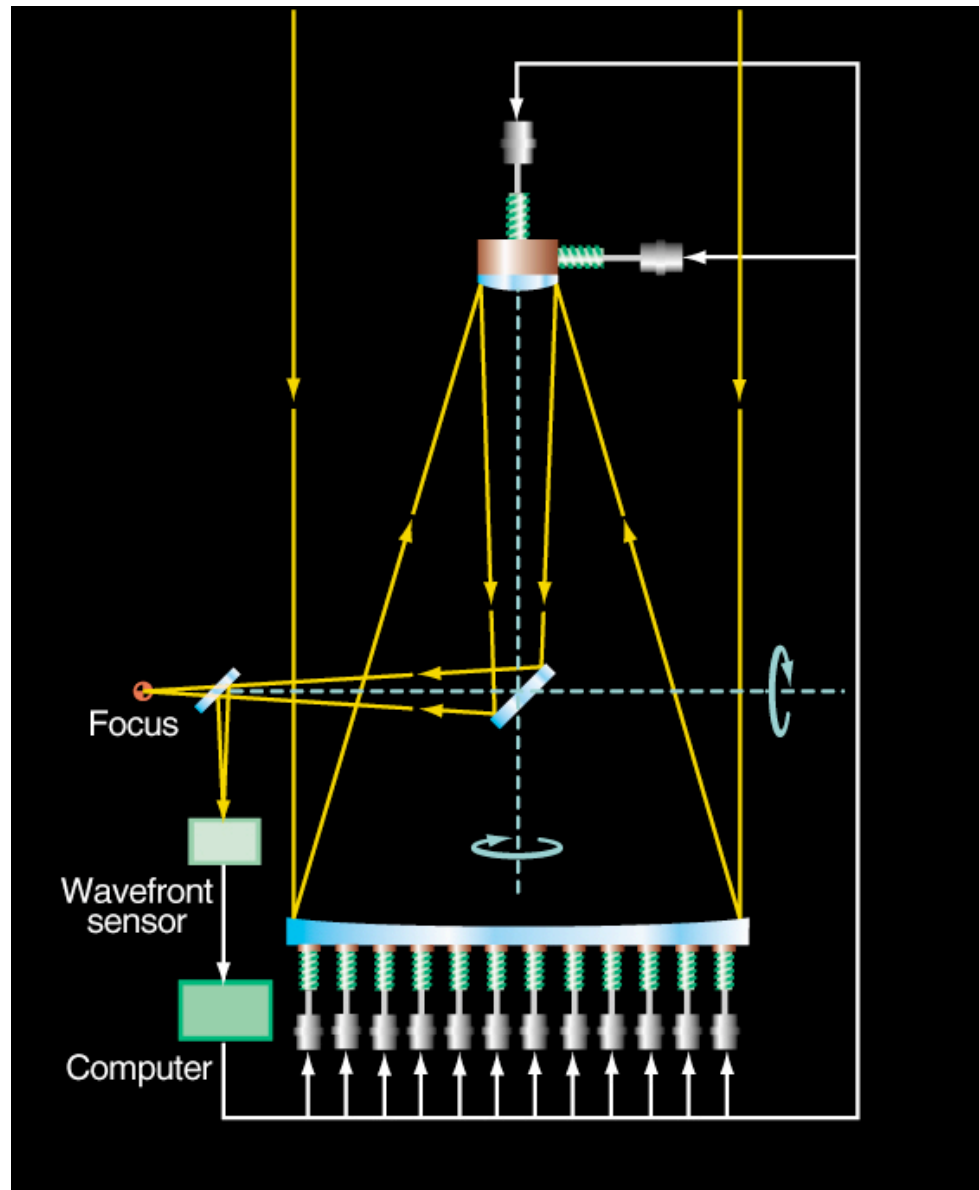


# Óptica adaptiva



- Corregir las fluctuaciones de la atmósfera
- Necesita una estrella de referencia. (Como no siempre hay estrellas cerca se produce “estrella artificial” con laser cuyo luz refleja de la atmosfera alta)
- Los segmentos se mueven (en milisegundos) para adaptar la forma del espejo

## Ejemplo: Optica adaptiva en el Very Large Telescope



VLT Active Optics System

Se ajusta la forma del espejo primario de 8.2m y también ajustando la posición del espejo secundario. El ajuste se hace tras analizar la imagen de una estrella

# Astronomía óptica desde el espacio: Hubble Space Telescope



- Observa UV  $\rightarrow$  IR
- Diametro del espejo: 2.4m
- Resolución angular:  $\approx 0.1''$

Sucesor:

- James Webb Space Telescope
- Diametro del espejo: 6.5m
- Opera solamente en IR para observar objetos lejanos
- Lanzamiento previsto para 2013

Galaxy ESO 510-G13



Hubble  
Heritage

11-23

**Tadpole Galaxy • UGC 10214**

**HST • ACS**

NASA, H. Ford (JHU), G. Illingworth (UCSC/LO), M. Clampin (STScI),  
G. Hartig (STScI), the ACS Science Team and ESA • STScI-PRC02-11a



# Detectores

## Placas fotográficas:

- 1845: Primeras fotografías del disco solar
- 1870: Placas usables de noche para observaciones de estrellas
- Posibilitan:
  - Resultados se pueden objetivar mas
  - Estudiar resultado al día siguiente
  - Hacer observaciones más profundas que el ojo (acumular fotones)



# Detectores

## **1980s: Desarrollo de los “Charge coupled devices” (CCDs)**

### Consiste de:

- Plano de material semiconductor con un gran número de celdillas (pixeles)
- Fotones entrando en las celdillas liberan electrones que se quedan atrapados
- Al final de la exposición → lectura del CCD: se “cuenta” los electrones para determinar el número de fotones incidentes

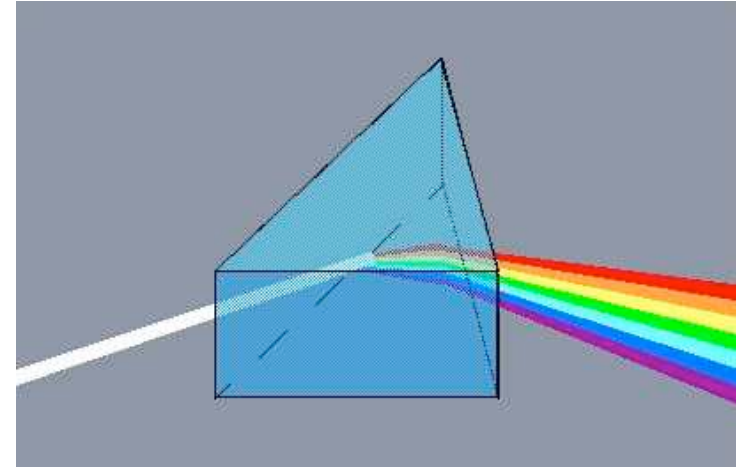
### Ventajas

- Eficiencia de captar fotones hasta más de 80% (placas fotográfica sólo de 2%) → aumento en eficiencia
- Imágenes digitales: permite manipulación (corregir defectos, etc.)
- Objetivar resultados → medir flujos precisos
- Posibilidad de usarlos en satélites y mandar datos a la tierra

# Espectrógrafos

## Prismas:

- Producen espectro mediante refracción
- Desventaja: Absorción de la luz



## Red de difracción:

- Es lámina de vidrio sobre la que se han grabado miles de líneas paralelas (de orden 10000 por cm)
- Producen espectro debido a la difracción y interferencia de la luz

# Radioastronomía



## Algunos radiotelescopios

Effelsberg,  $D = 100\text{m}$   
(cerca de Bonn, Alemania)

Problema de la radioastronomía: **Resolución**

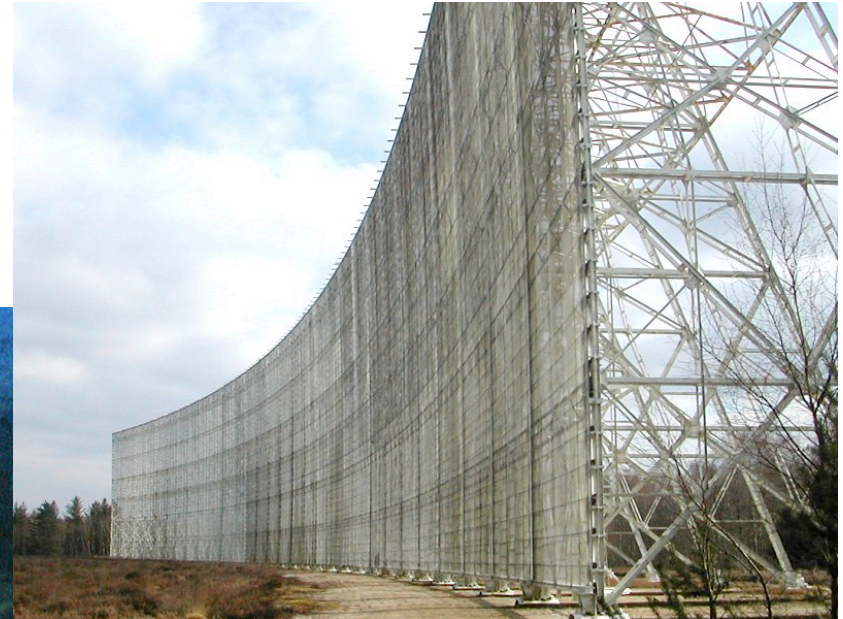
$$\Theta = 1.22 \lambda/D$$

Con  $\lambda = 10\text{cm}$ ,  $D = 100\text{m}$

->  $\Theta = 42 \text{ arcmin}!!!$

# Algunos radiotelescopios

Nancay  
(cerca de Lyon, Francia)



Superficie grande,  
pero  
resolución no es  
simétrica

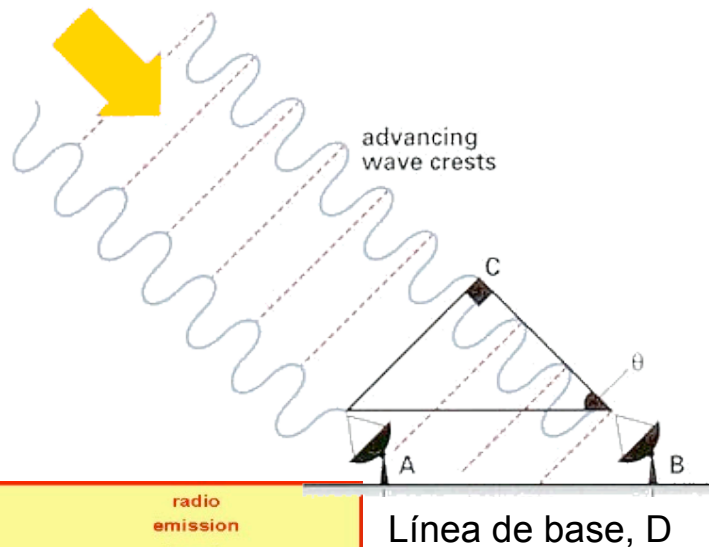
# Algunos radiotelescopios

Arecibo,  $D = 305\text{m}$   
(Puerto Rico),

Solo puede observar  
rango restringido en  
el cielo.



# Mejorar resolución: Interferometría



Principio de interferómetros:

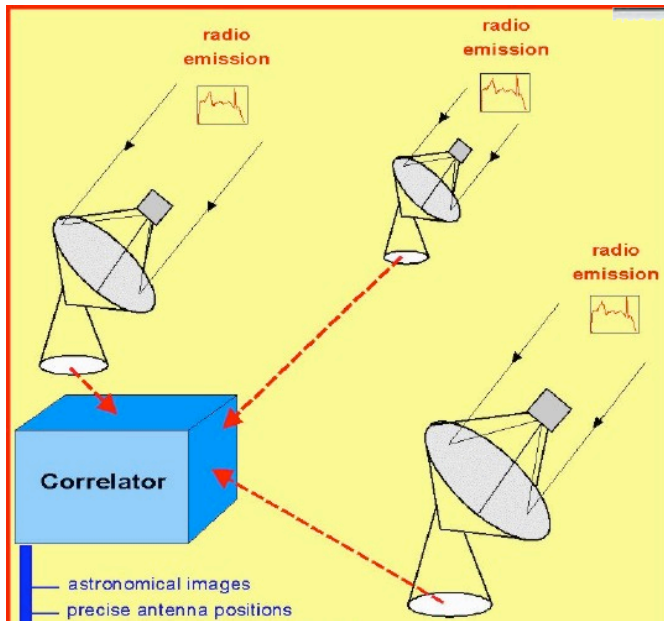
Observando el mismo objeto con varios telescopios a la vez. La señal recibida con los distintos telescopios se combinan en un "correlador".

Se consigue una resolución mayor:

$$\theta \sim \lambda/D$$

correspondiente a una antena de diámetro D.

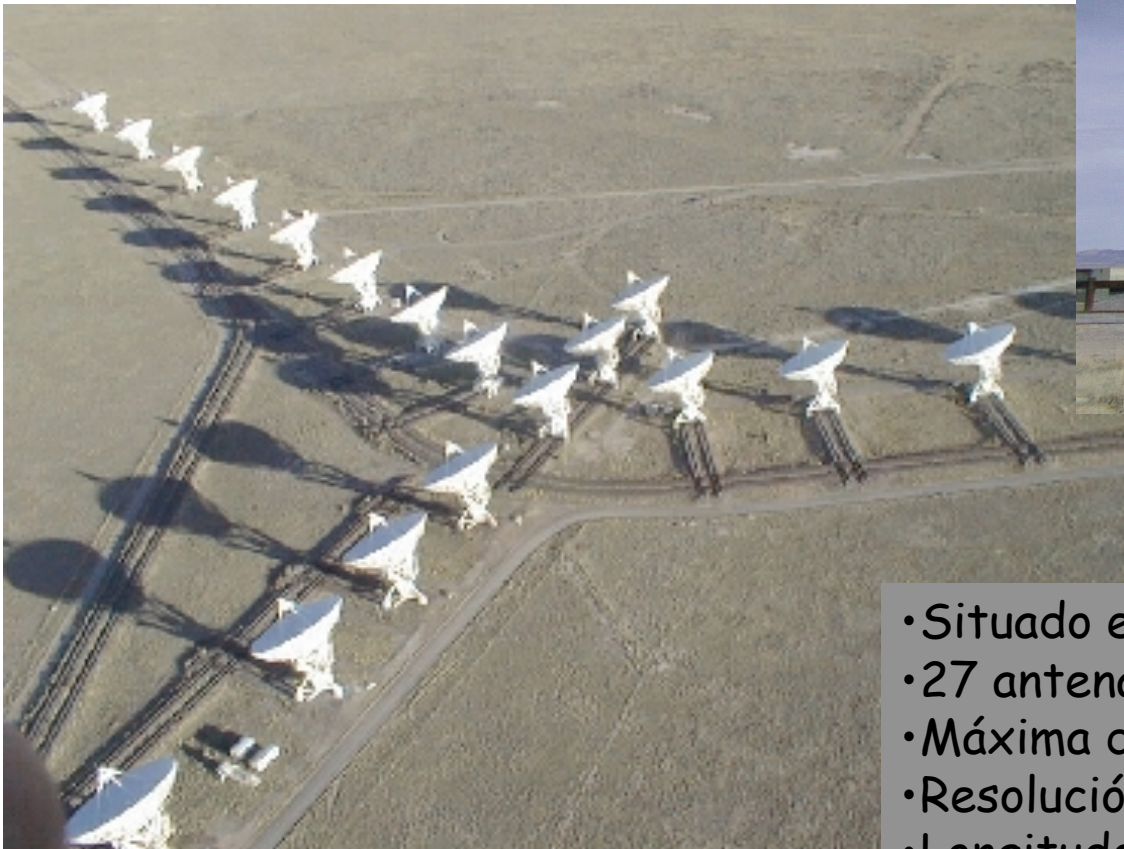
Inconveniente: Para estructuras con escalas grandes, "pierde flujo" -> se comparte como un telescopio con diámetro D, pero con agujeros



# Algunos interferómetros existentes

Very Large Array (VLA):

Funcionando (con todas las antenas)  
desde 1981



- Situado en New Mexiko (EEUU)
- 27 antenas de 25 diametro cada uno.
- Máxima distancia: 36 km
- Resolución máxima: 0.04 seg. de arco
- Longitudes de onda: 0.7 a 90 cm

# Otros interferómetros

- Westerbork, Países Bajos
- Cambridge, Inglaterra
- Narribiri, Australia





# Más línea de base.....

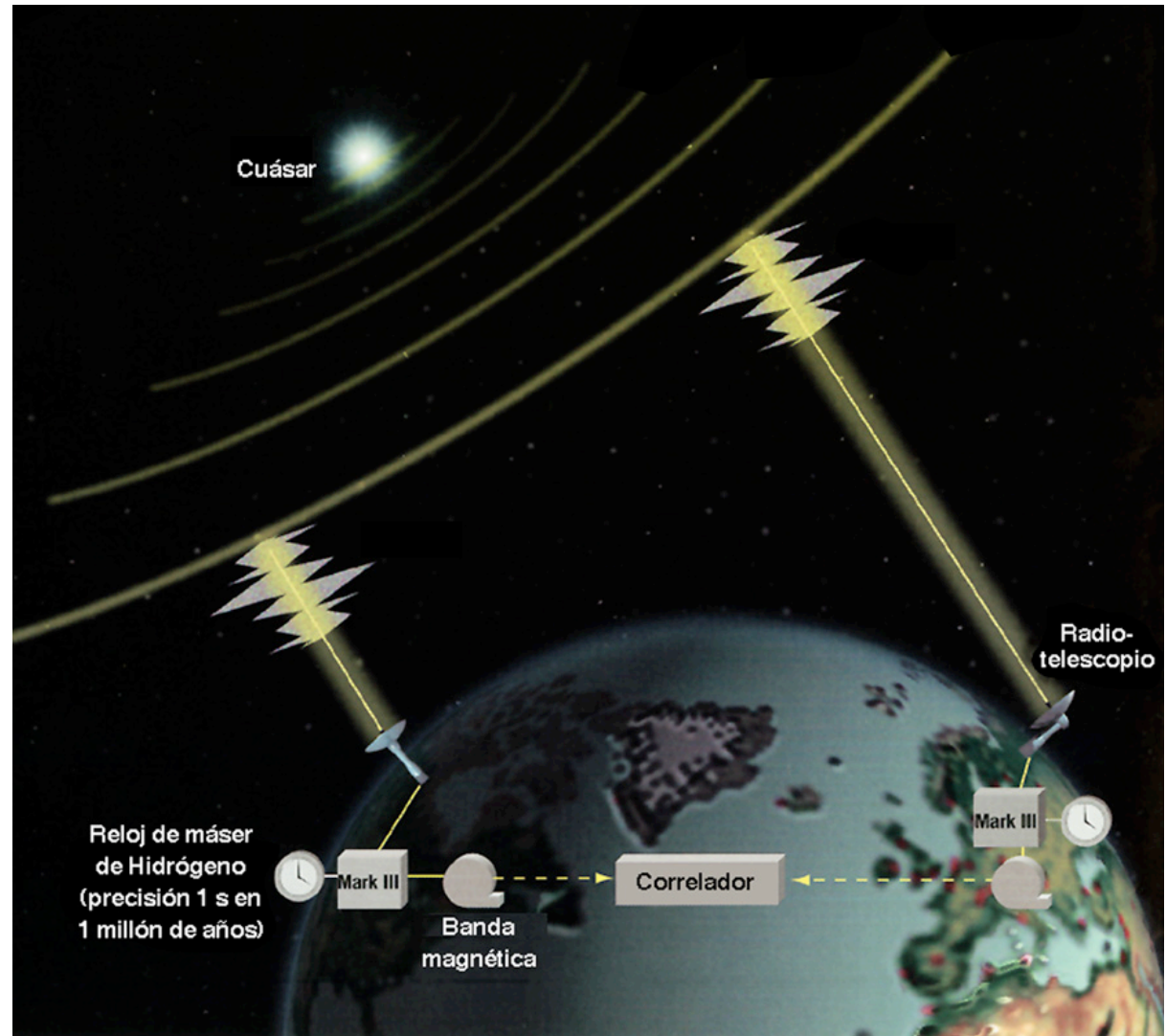
Lowell Telescope  
Jodrell Bank



- MERLIN (Multi-Element Radio Link Interferometer Network), basado en Jodrell Bank, Gran Bretaña
- Telescopios conectados con conexiones de radio
- Distancia máxima: 217 km
- Resolución: 0.005 seg. arco

# Very Long Baseline Interferometry

- Más distancia entre antenas: Conexión directa imposible
- Se gravan los datos junto con tiempo exacto
- Necesita buenos relojes → posible desde final de los 1960s con relojes atómico



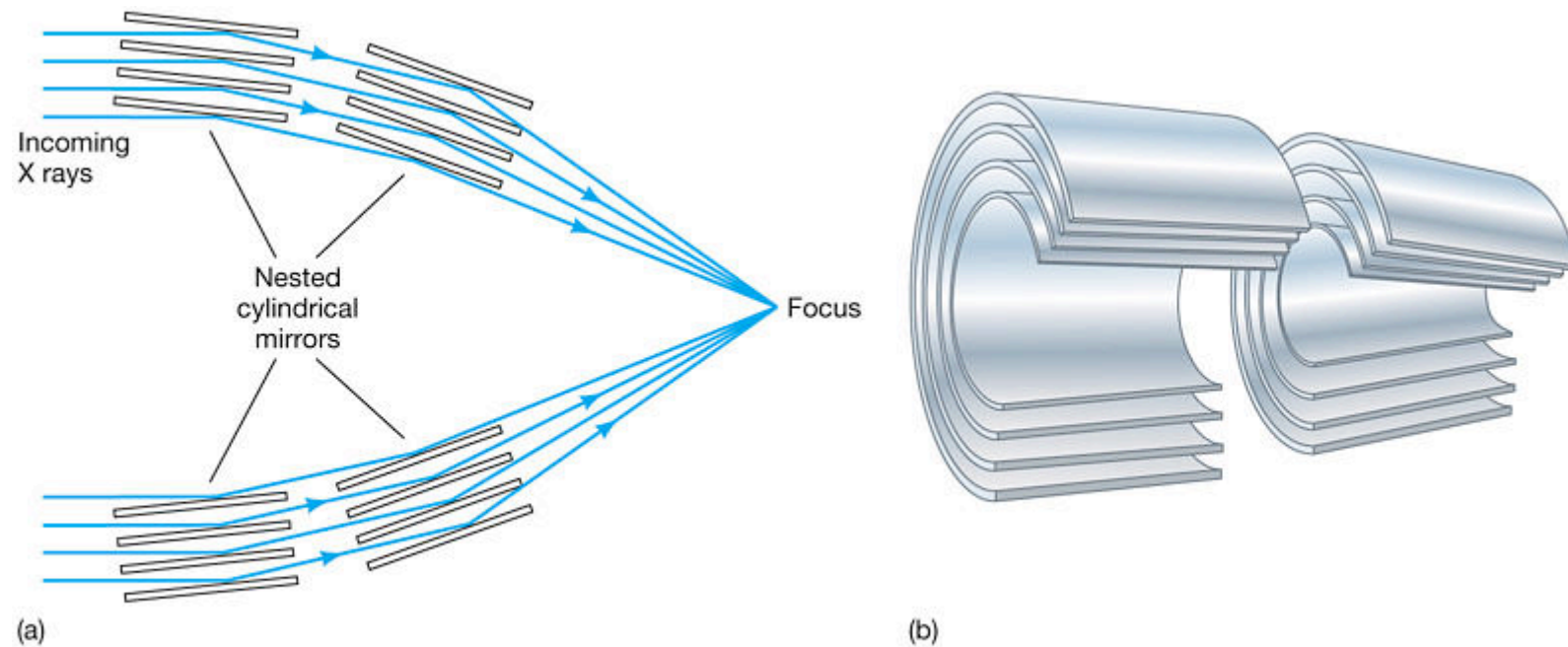


Telescopios participando en VLBI

Res. Unos 0.1 miliarcsec  $\rightarrow$  10000 veces visual

# Telescopios de rayos X

- Se usan detectores parecidas a rayos  $\gamma$  para energías altas o telescopios parecido al óptico para energías bajas
- Pero: Reflexión solamente posible con ángulos pequeños



# Tecnología: rayos $\gamma$ de muy alta energía

- Observable de tierra: Cadena de partículas secundarias producidas



H.E.S.S: (High Energy Stereoscopic System)  
(Hess: detectó en 1913 por primera vez rayos cósmicos)

- Detecto rayos  $\gamma$  de  $\sim 100$  GeV
- 4 antenas de 13m diámetro
- Cada uno consiste de 380 partes
- Detectores de Cherenkov
- Situado en Namibia