

La luz, telescopios y observatorios

René A. Ortega-Minakata
IRyA UNAM, Campus Morelia

Curso de
Astronomía Básica

Morelia, Michoacán
14 octubre 2020



Naturaleza de la luz

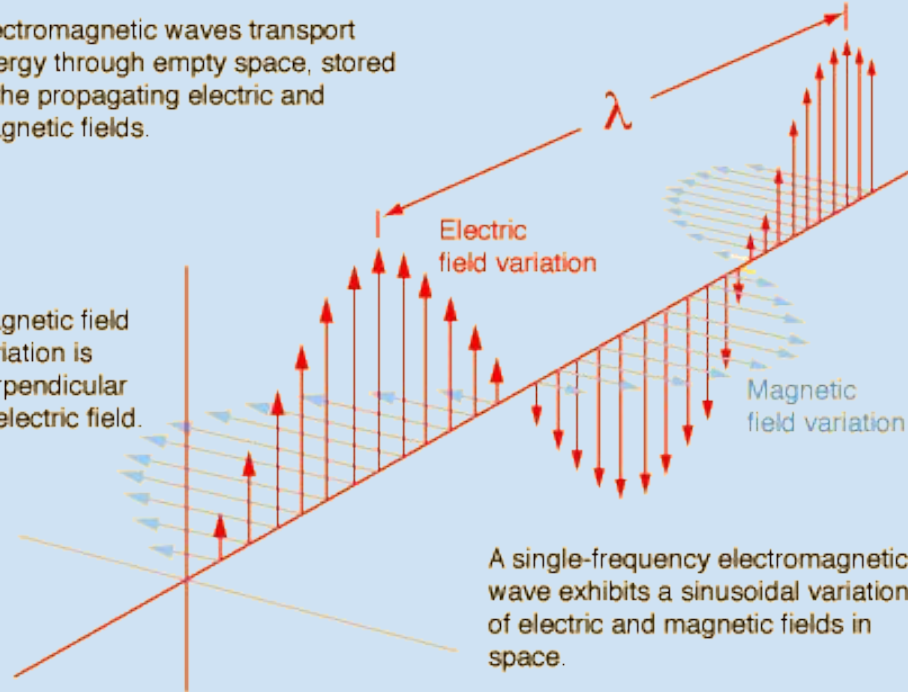
La luz puede comportarse como onda...

... o como partícula



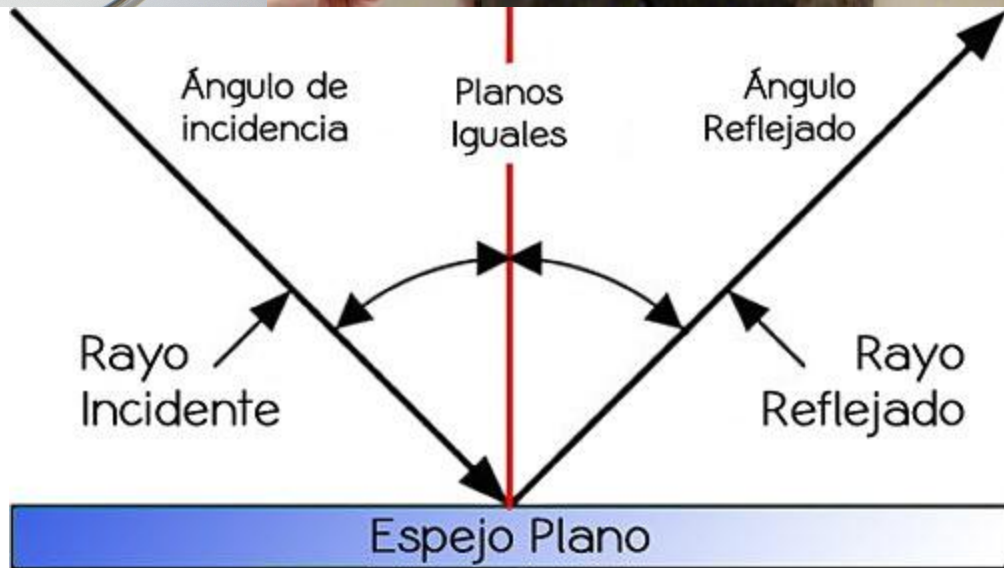
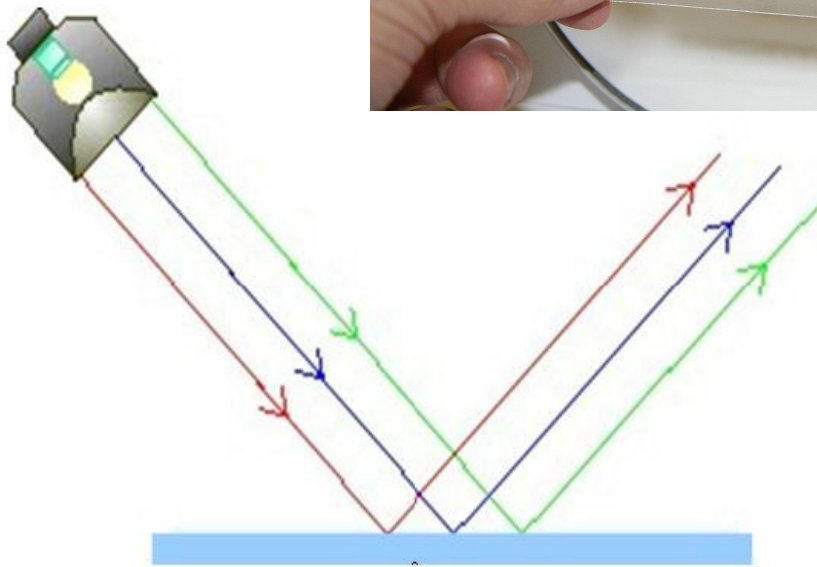
Electromagnetic waves transport energy through empty space, stored in the propagating electric and magnetic fields.

Magnetic field variation is perpendicular to electric field.

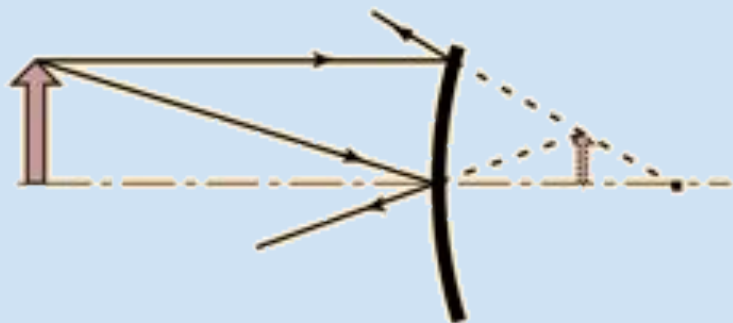


A single-frequency electromagnetic wave exhibits a sinusoidal variation of electric and magnetic fields in space.

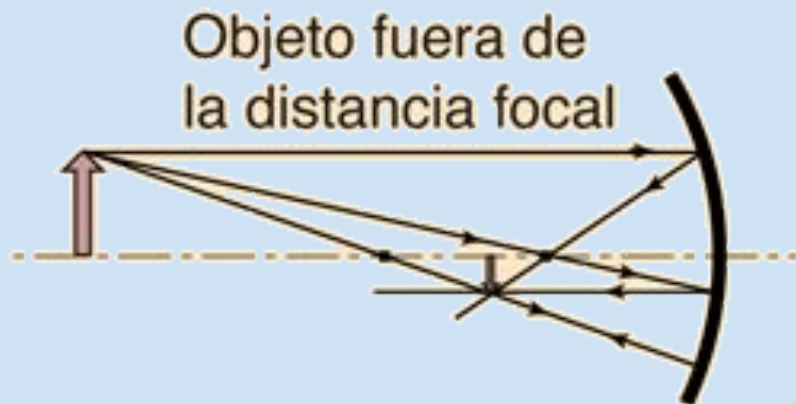
Reflexión



Espejos curvos

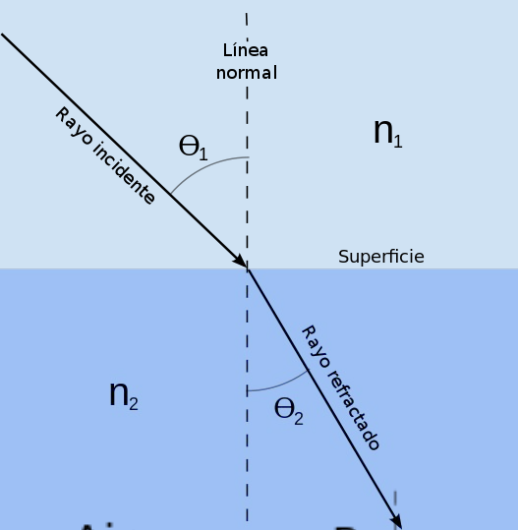


Espejo convexo

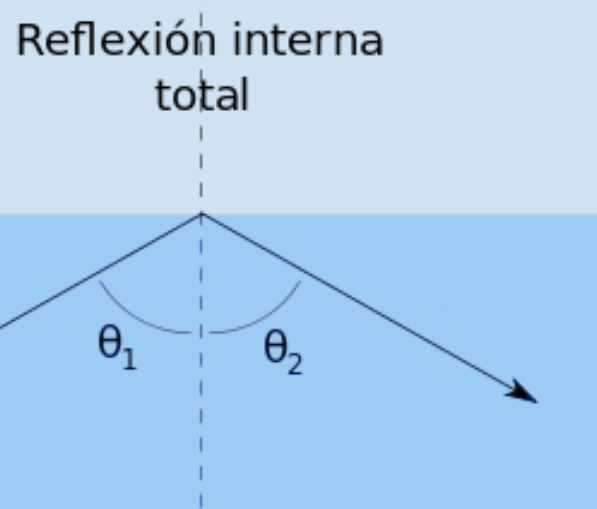
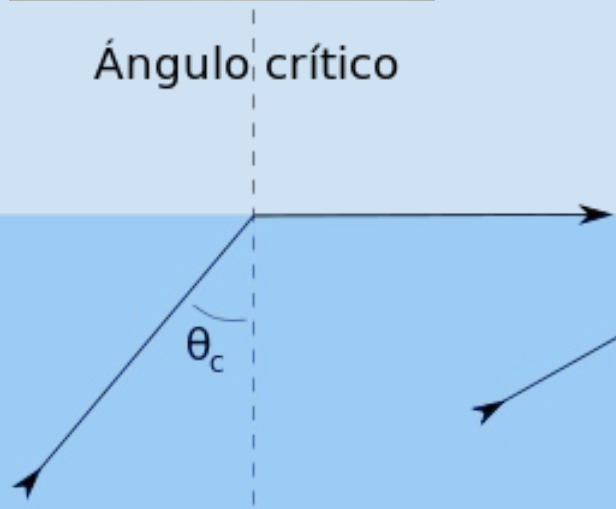
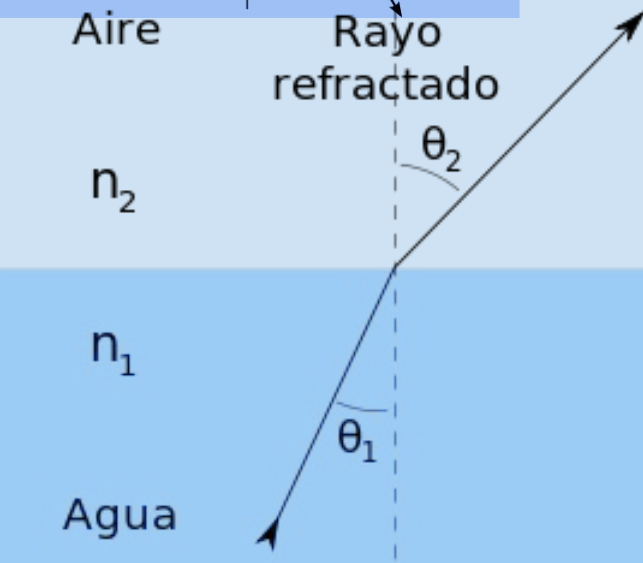


Expejo Cóncavo





Refracción

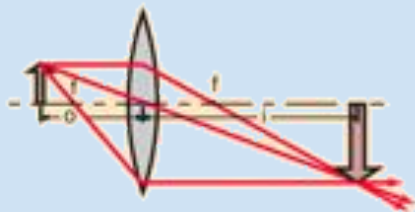


Ángulo crítico

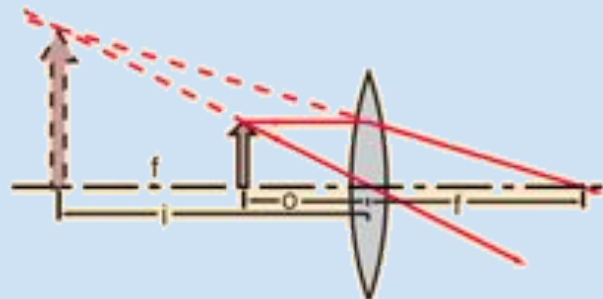
Reflexión interna total

Lentes

Convexa

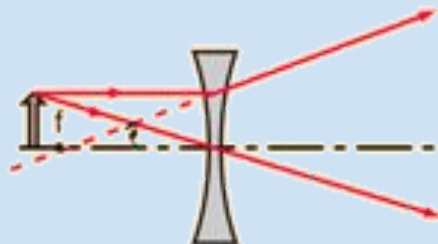


Objeto fuera punto focal

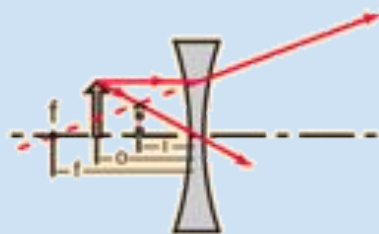


Objeto dentro punto focal

Cóncava

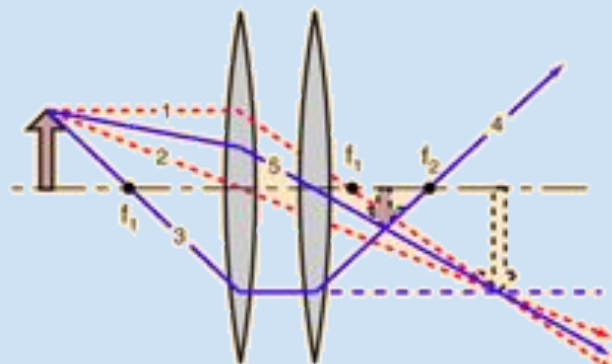


Objeto fuera punto focal



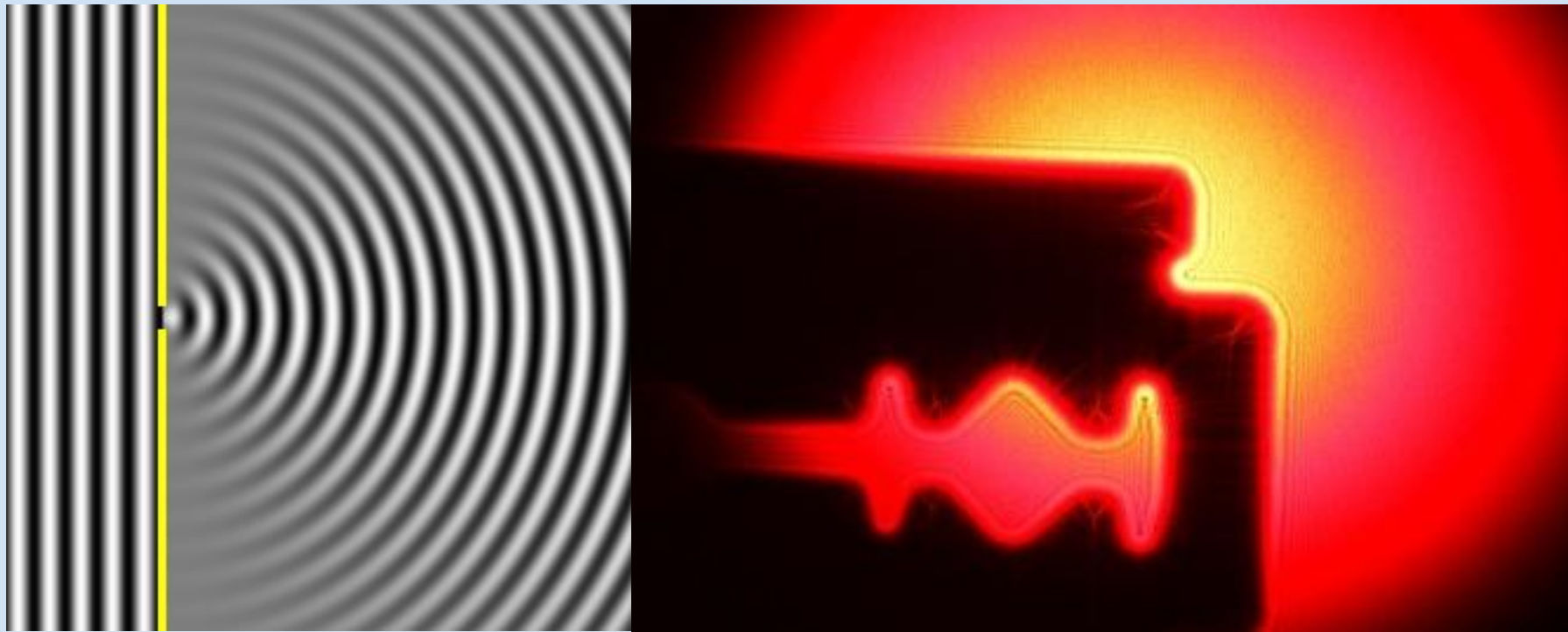
Objeto dentro punto focal

Dos lentes

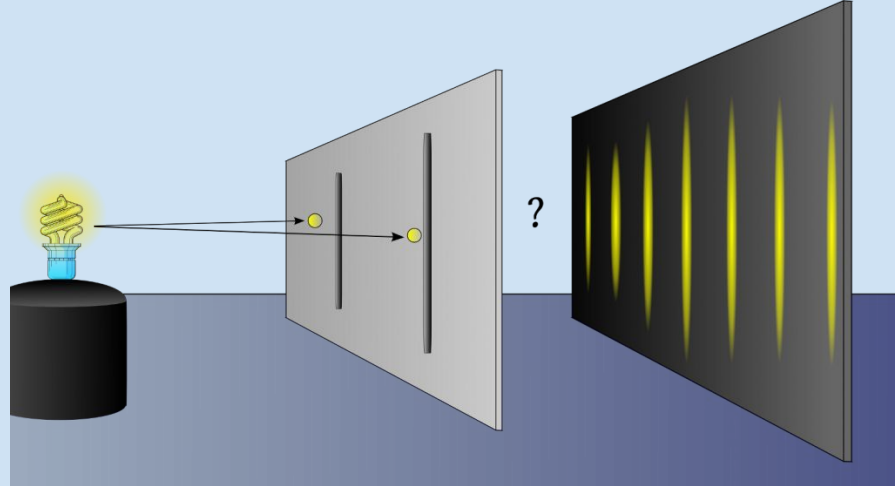
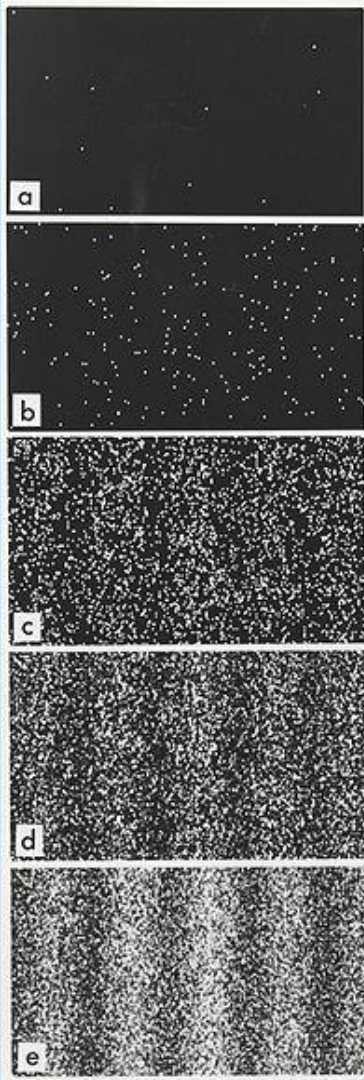
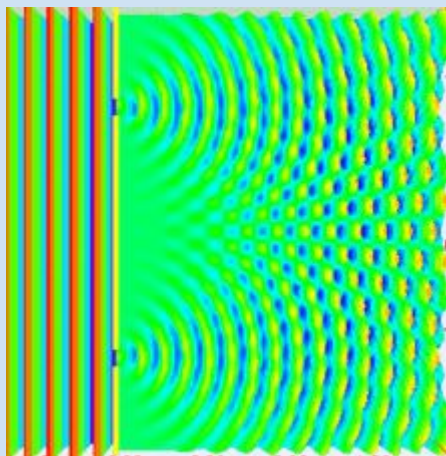
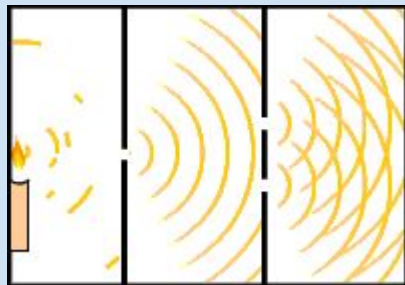


Trazado de rayos
en espejos

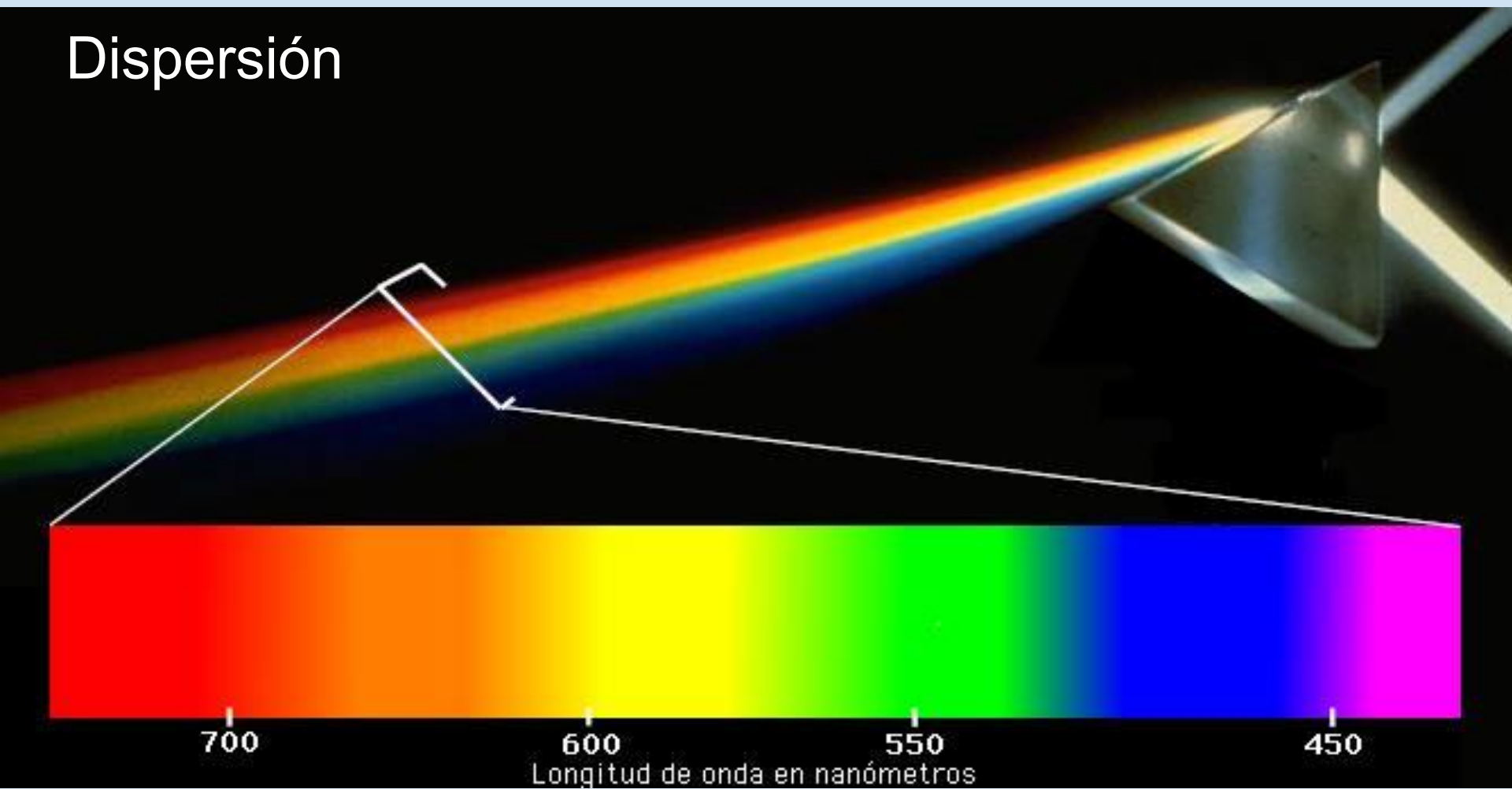
Difracción



Interferencia



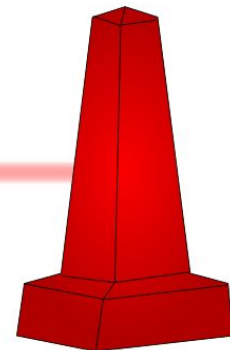
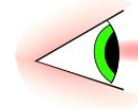
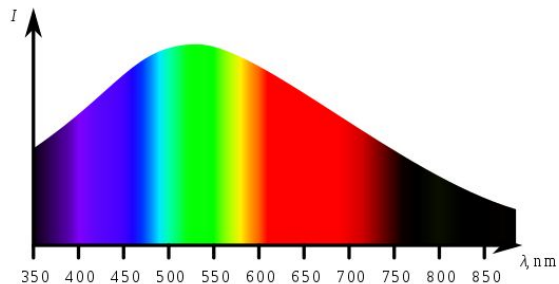
Dispersión



Absorción

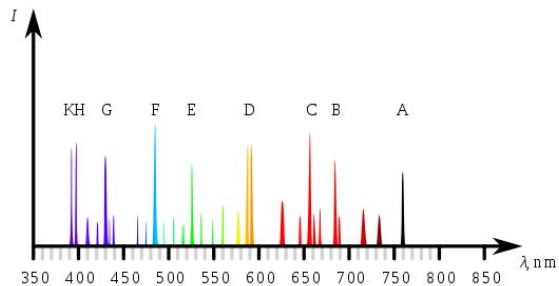
Emisión de continuo:

Objeto caliente



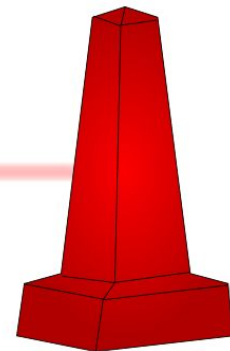
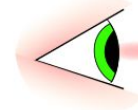
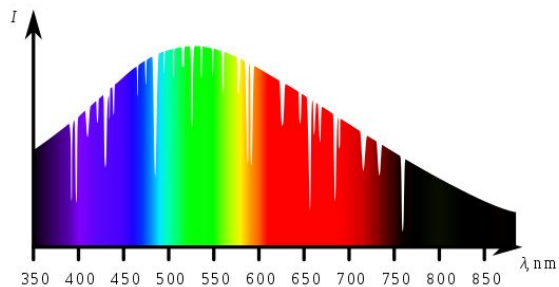
Líneas de emisión:

Transiciones atómicas de elementos o moléculas específicas

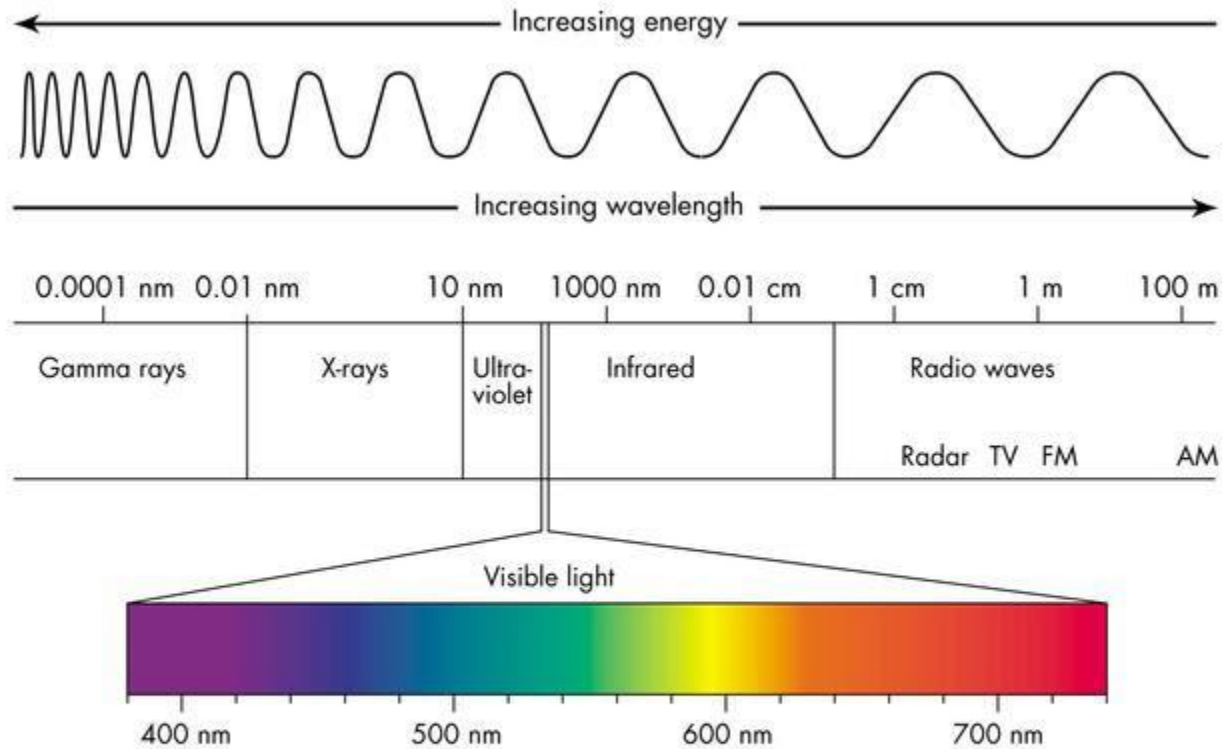


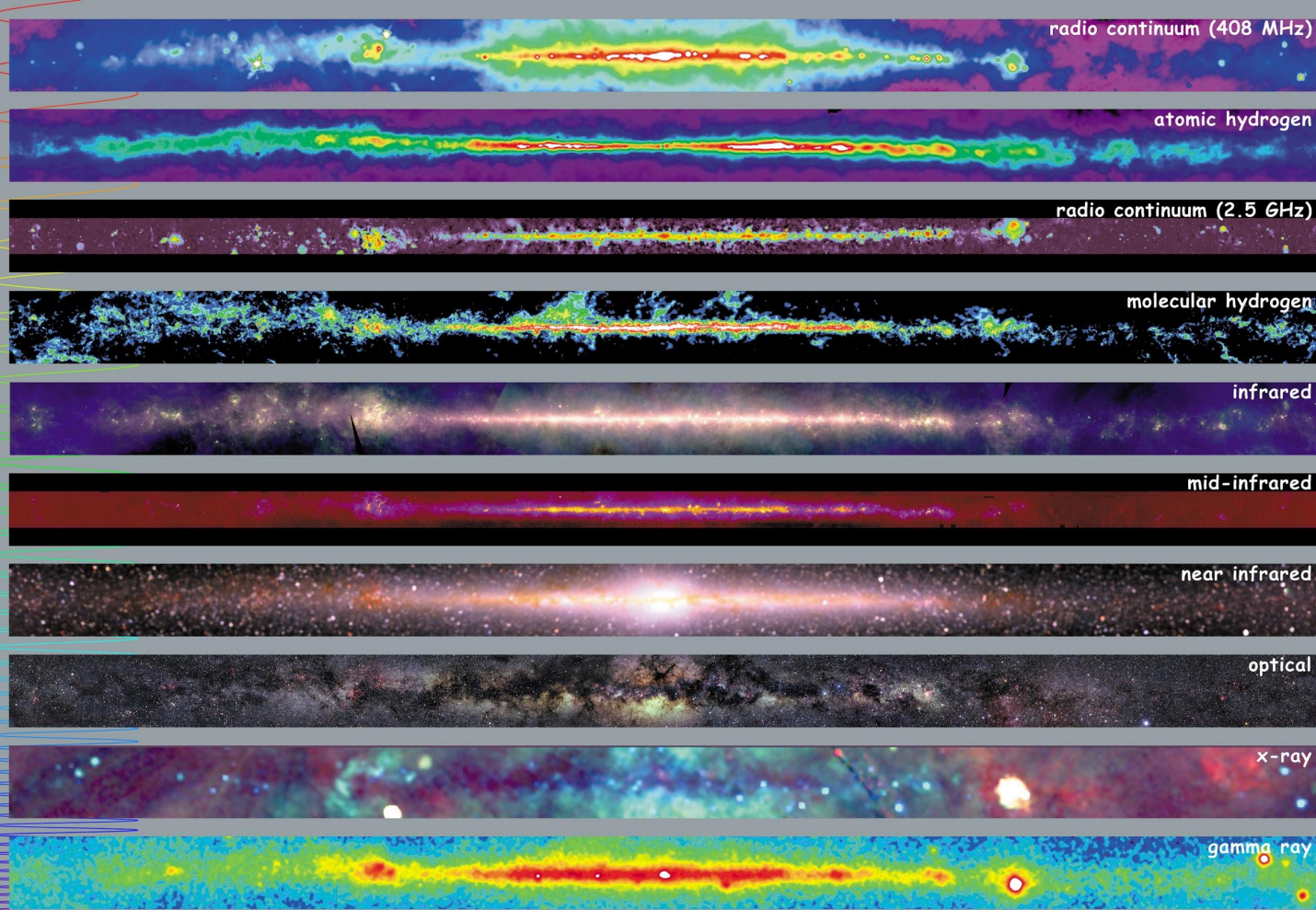
Líneas absorción:

Transiciones atómicas de elementos o moléculas específicas



Espectro electromagnético



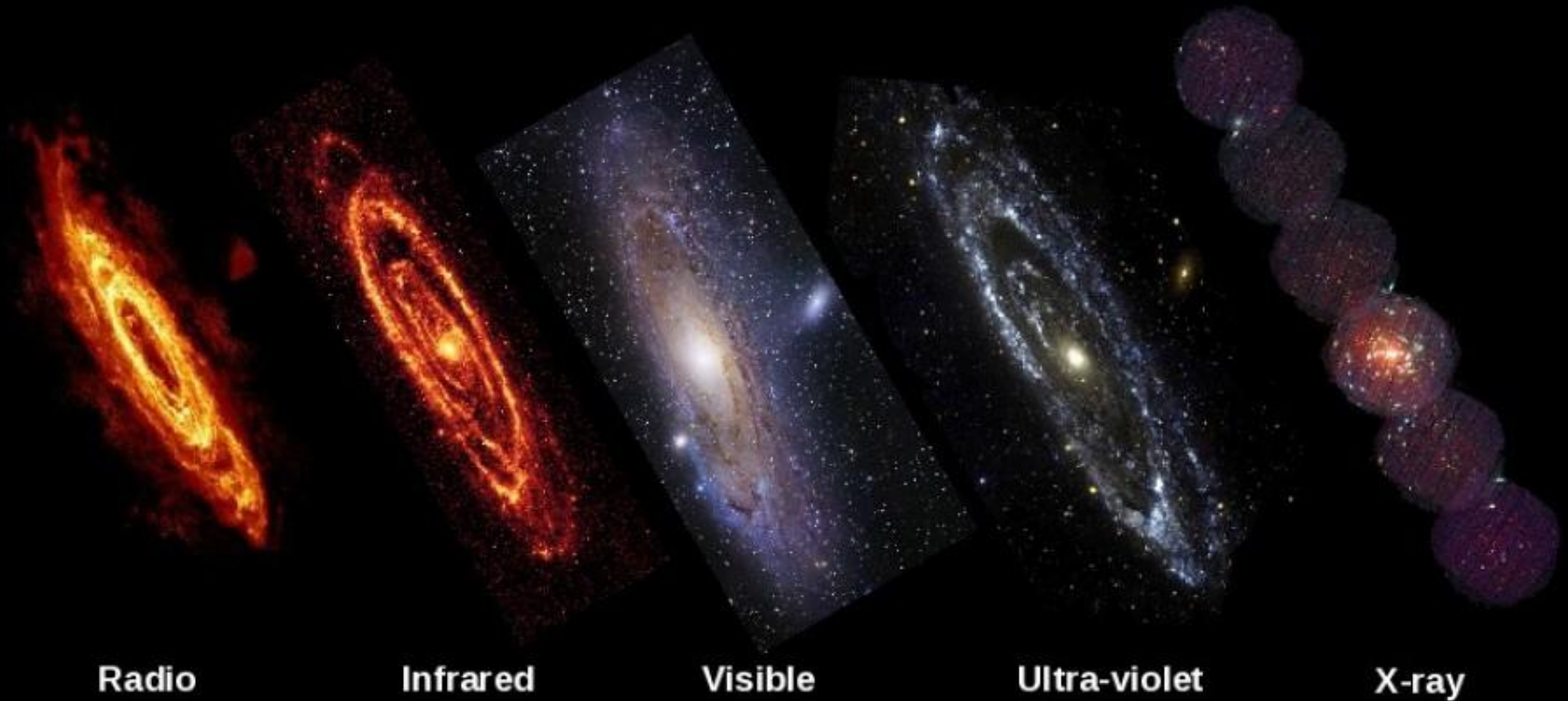


<http://adc.gsfc.nasa.gov/mw>



Multiwavelength Milky Way

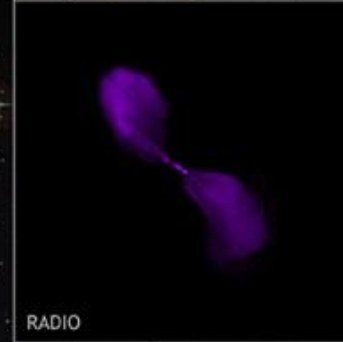
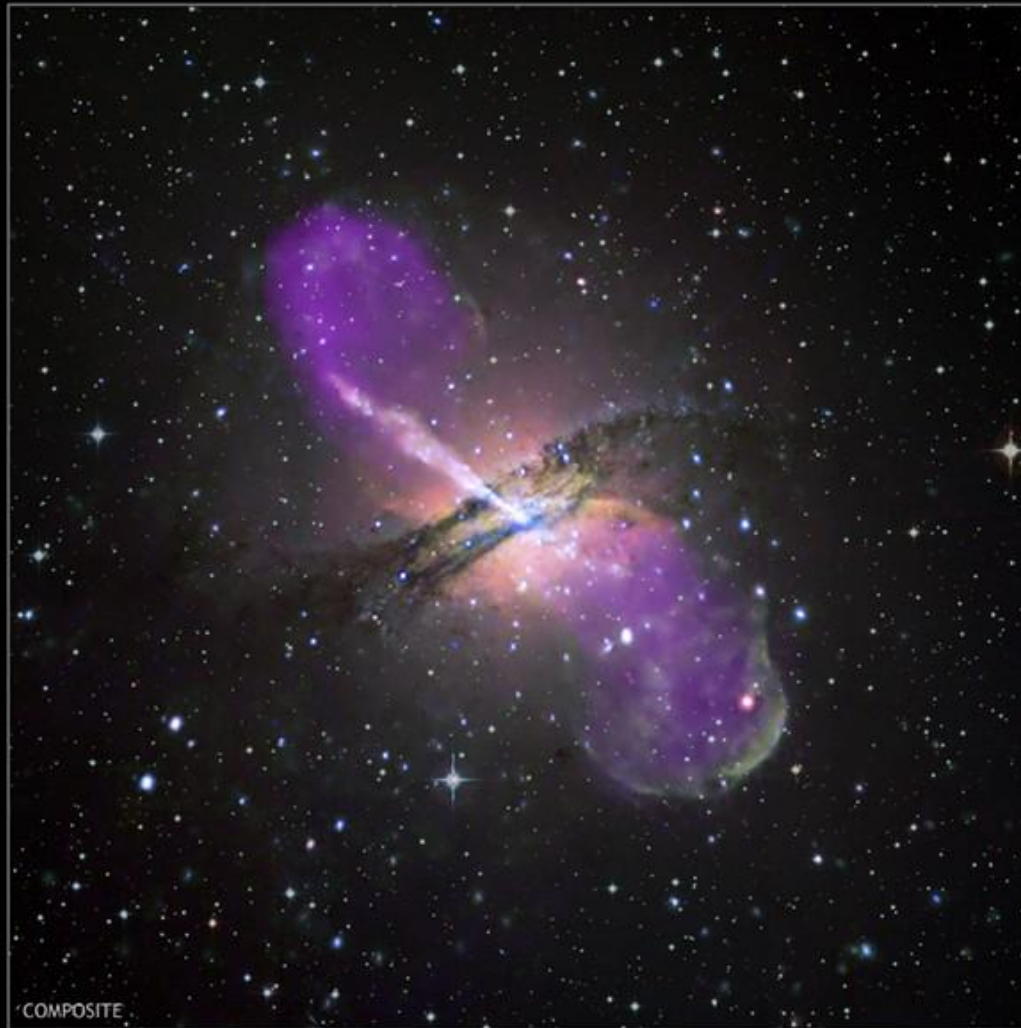
Galaxias de Andrómeda



Centaurus A

Radiogalaxia
con una línea de
polvo peculiar,
lóbulos en radio
y un chorro;
AGN intenso

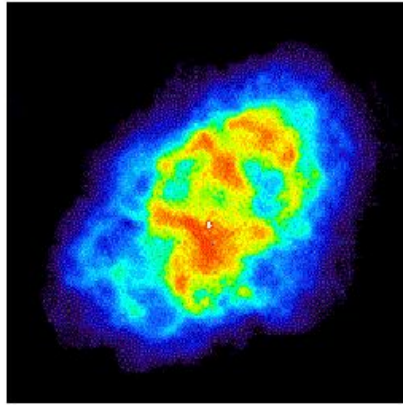
Evidencia
indirecta de un
agujero negro
supermasivo



Crab Nebula: Remnant of an Exploded Star (Supernova)

Nebulosa del Cangrejo

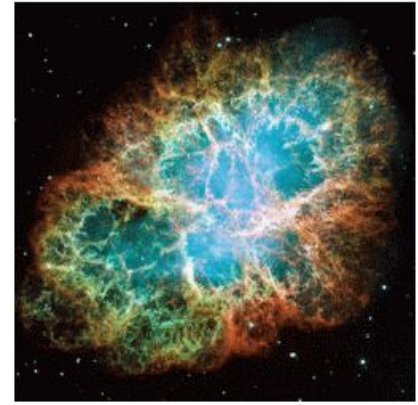
Remanente de supernova con un pulsar central y nebulosa de “viento de pulsar”



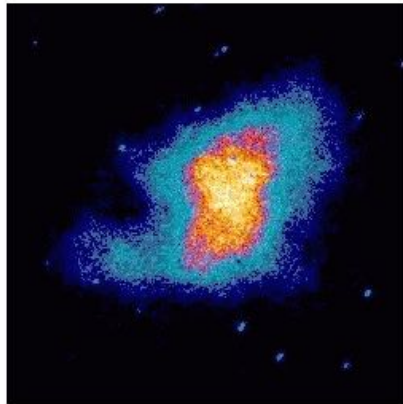
Radio wave (VLA)



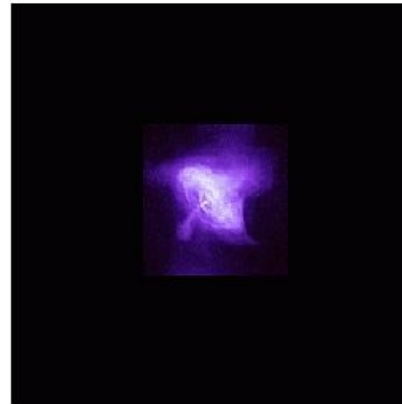
Infrared radiation (Spitzer)



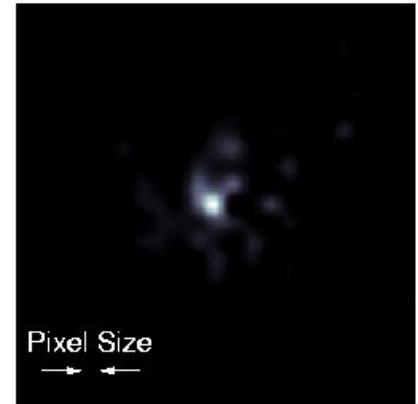
Visible light (Hubble)



Ultraviolet radiation (Astro-1)

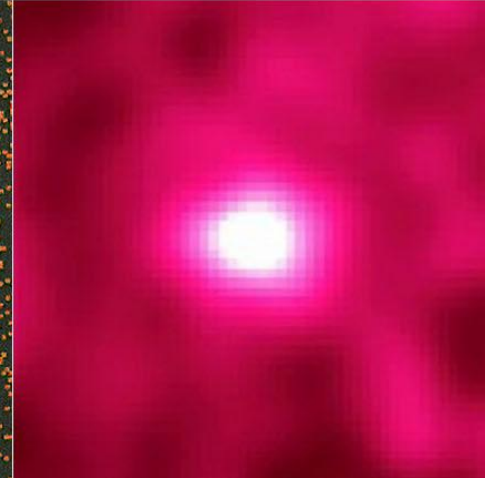
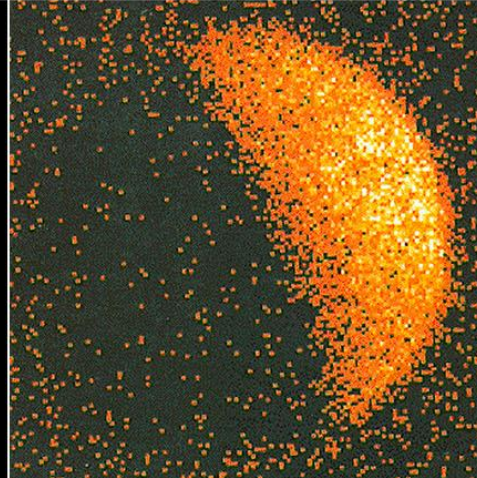
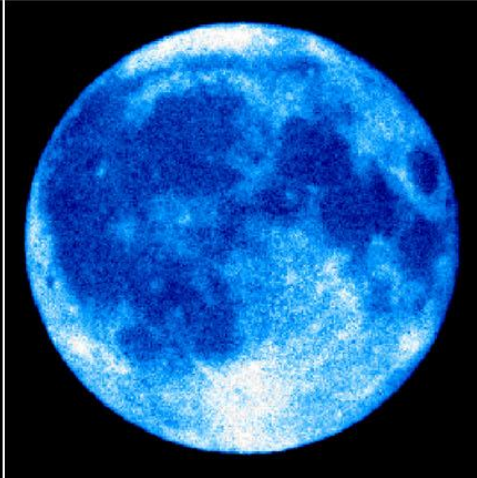
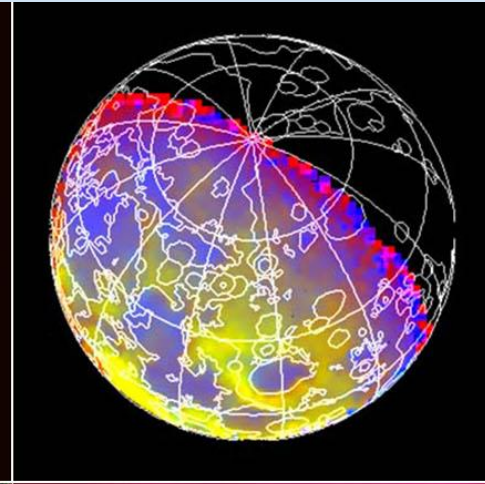
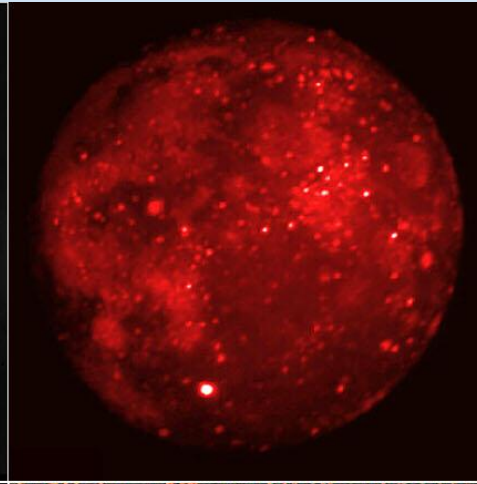
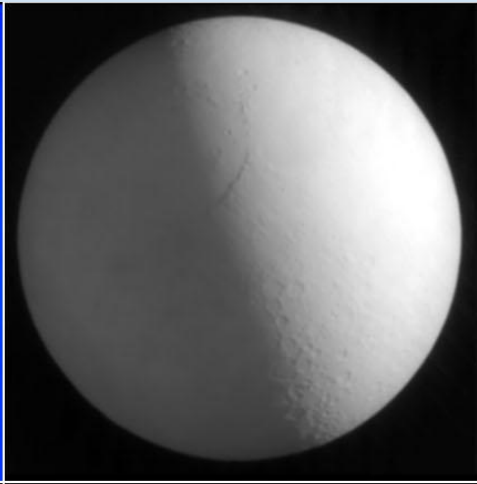
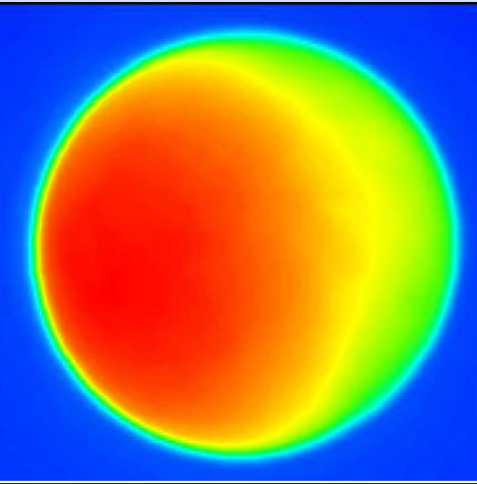


Low-energy X-ray (Chandra)

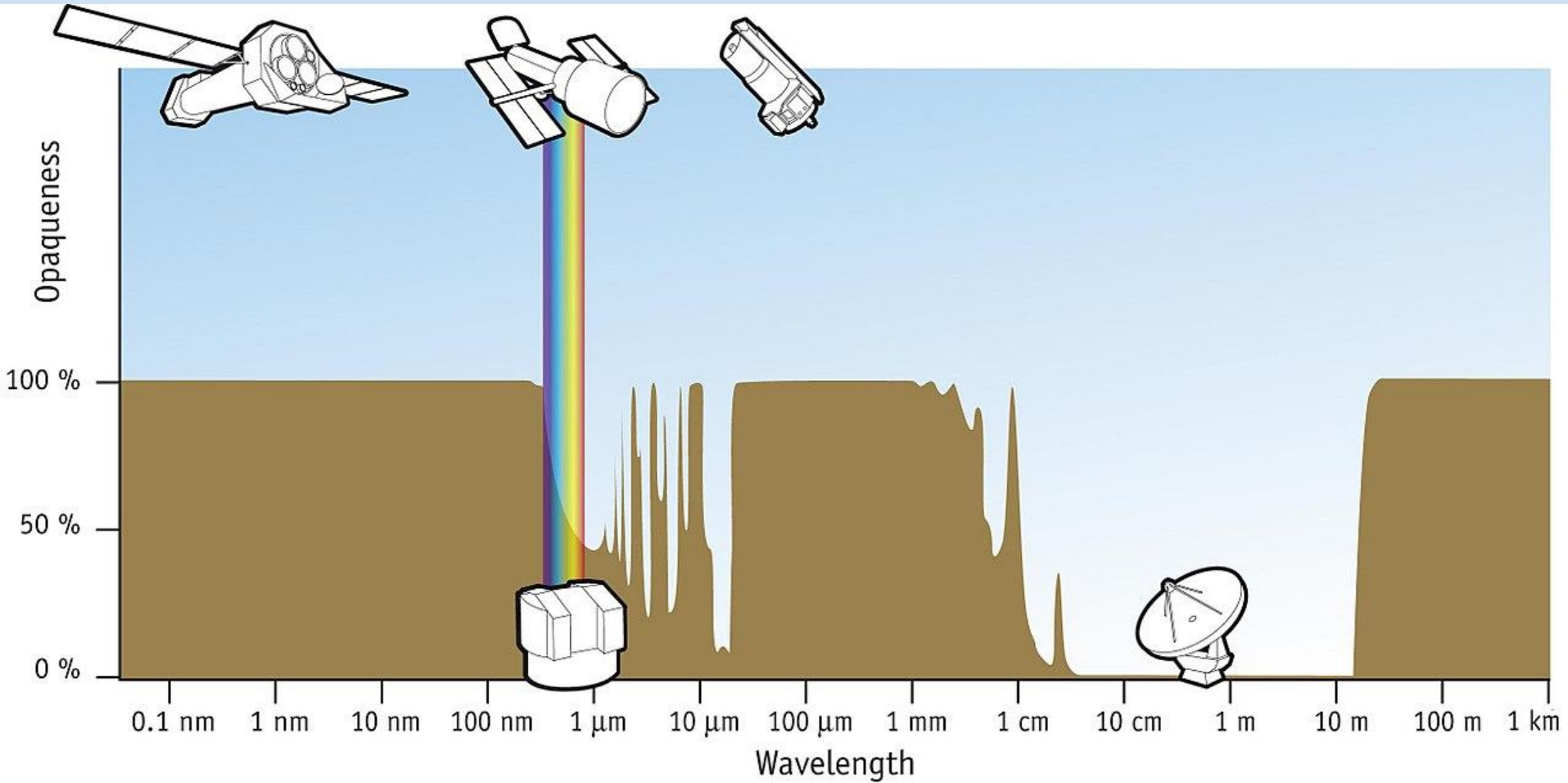


High-energy X-ray (HEFT)
*** 15 min exposure ***

La Luna multifrecuencias



Efectos atmosféricos en la luz: absorción

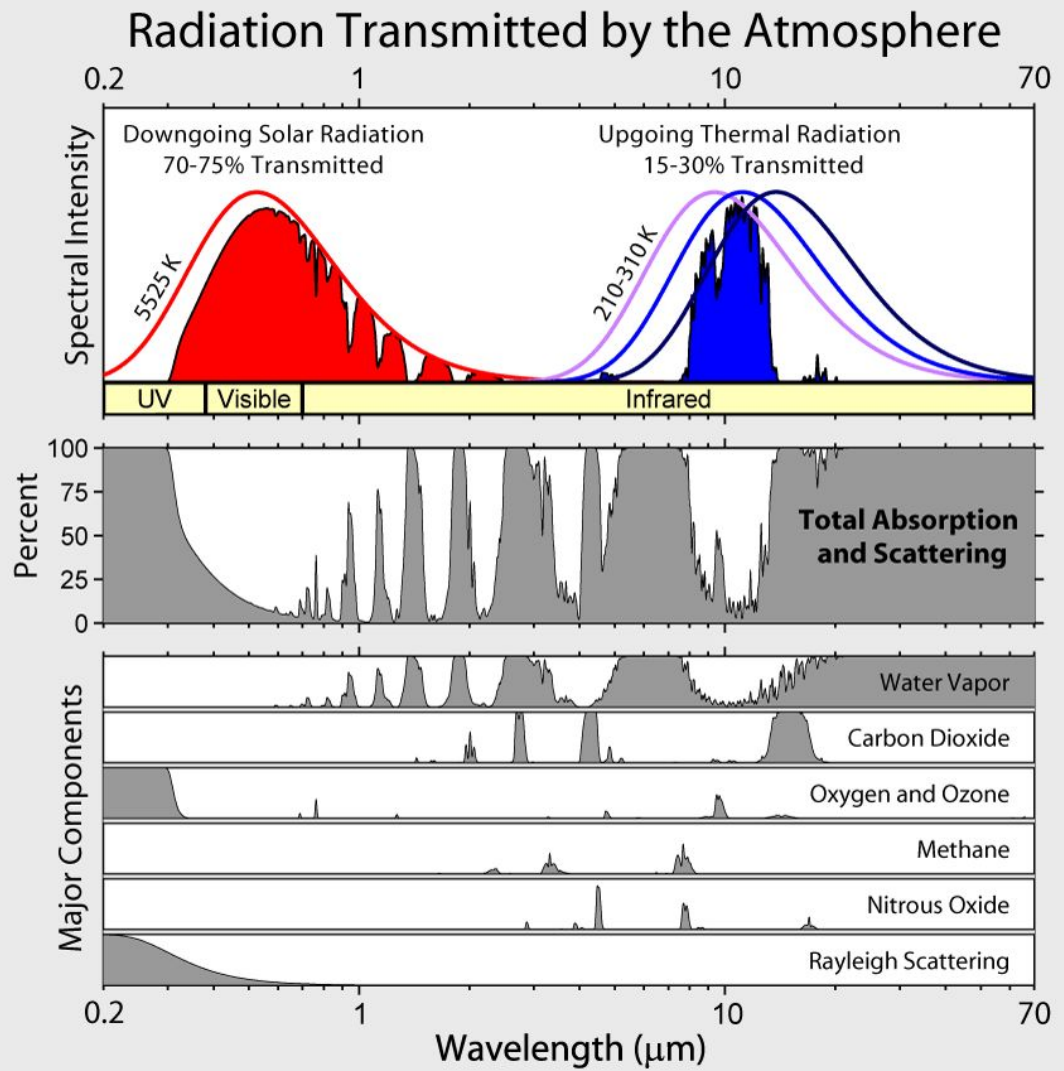


Transmisión atmosférica

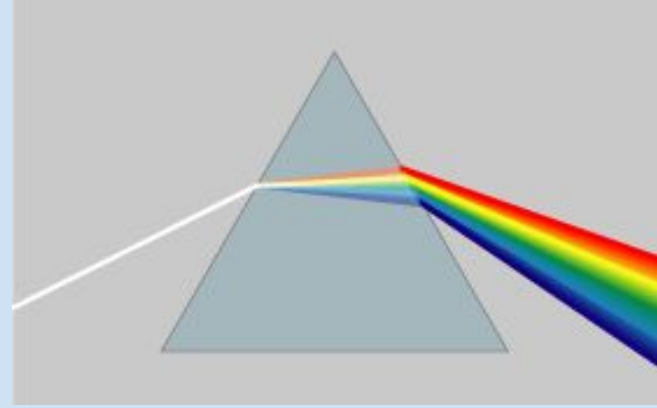
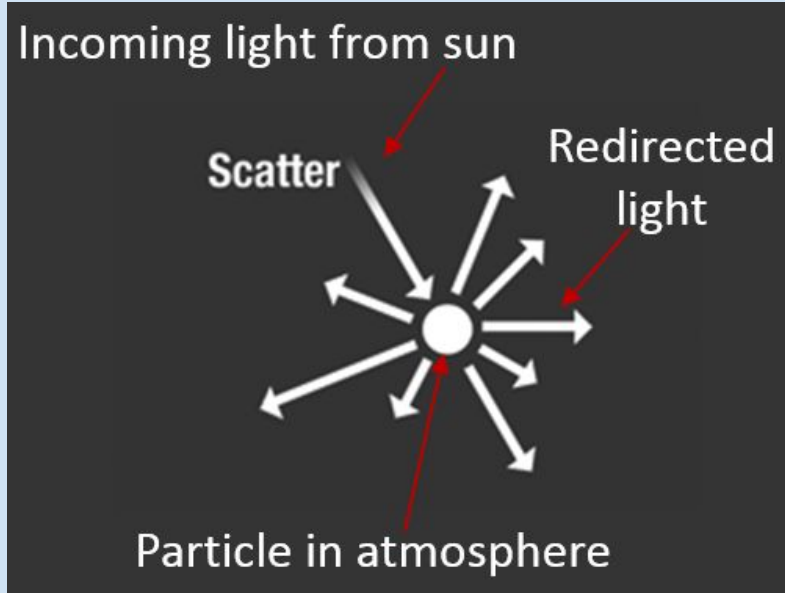
Absorción → gases de efecto invernadero:

- Vapor de agua
- CO_2
- O_2 & O_3
- CH_4
- N_2O

Transiciones electrónicas, rotacionales y vibracionales



Efectos atmosféricos en la luz: dispersión de Rayleigh



Más eficiente en el violeta y azul

Sección transversal:

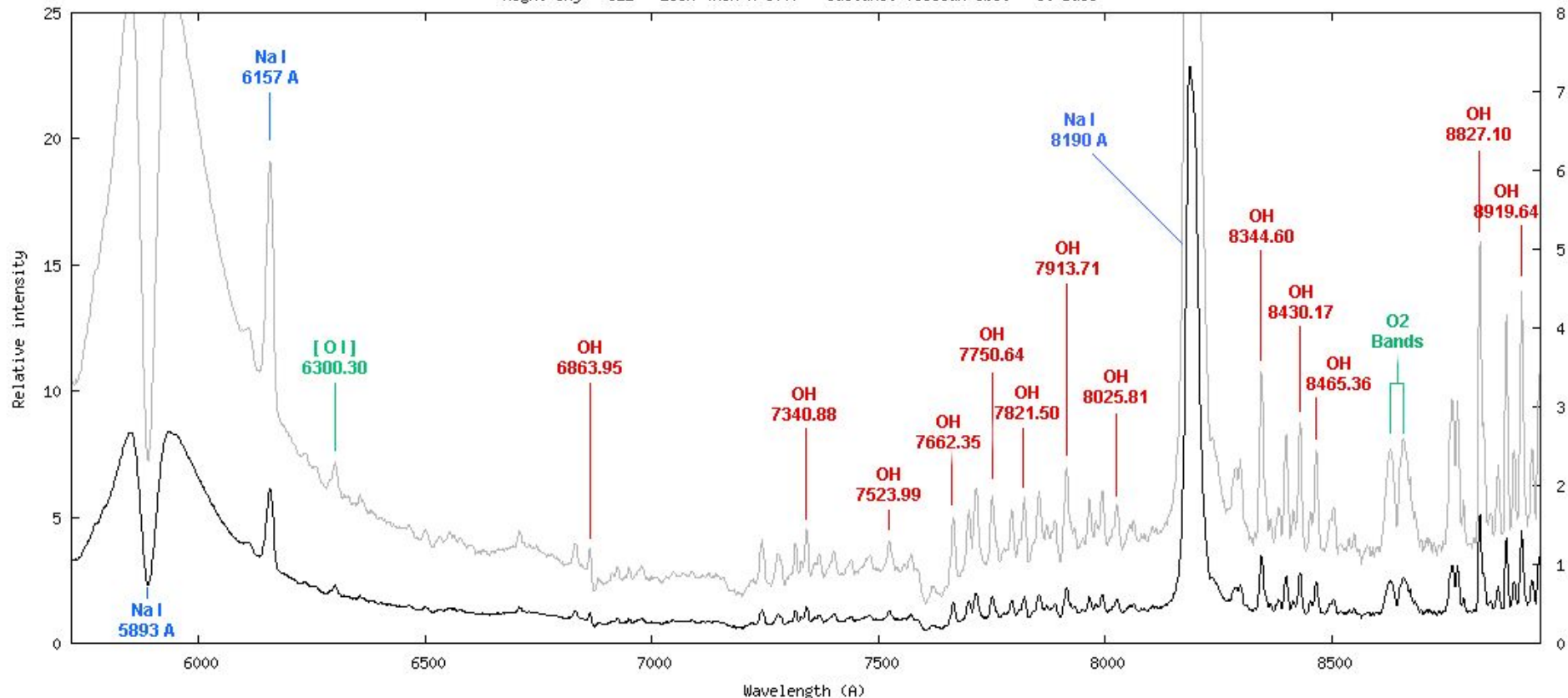
$$\sigma_s \propto \lambda^{-4}$$

Responsable de:

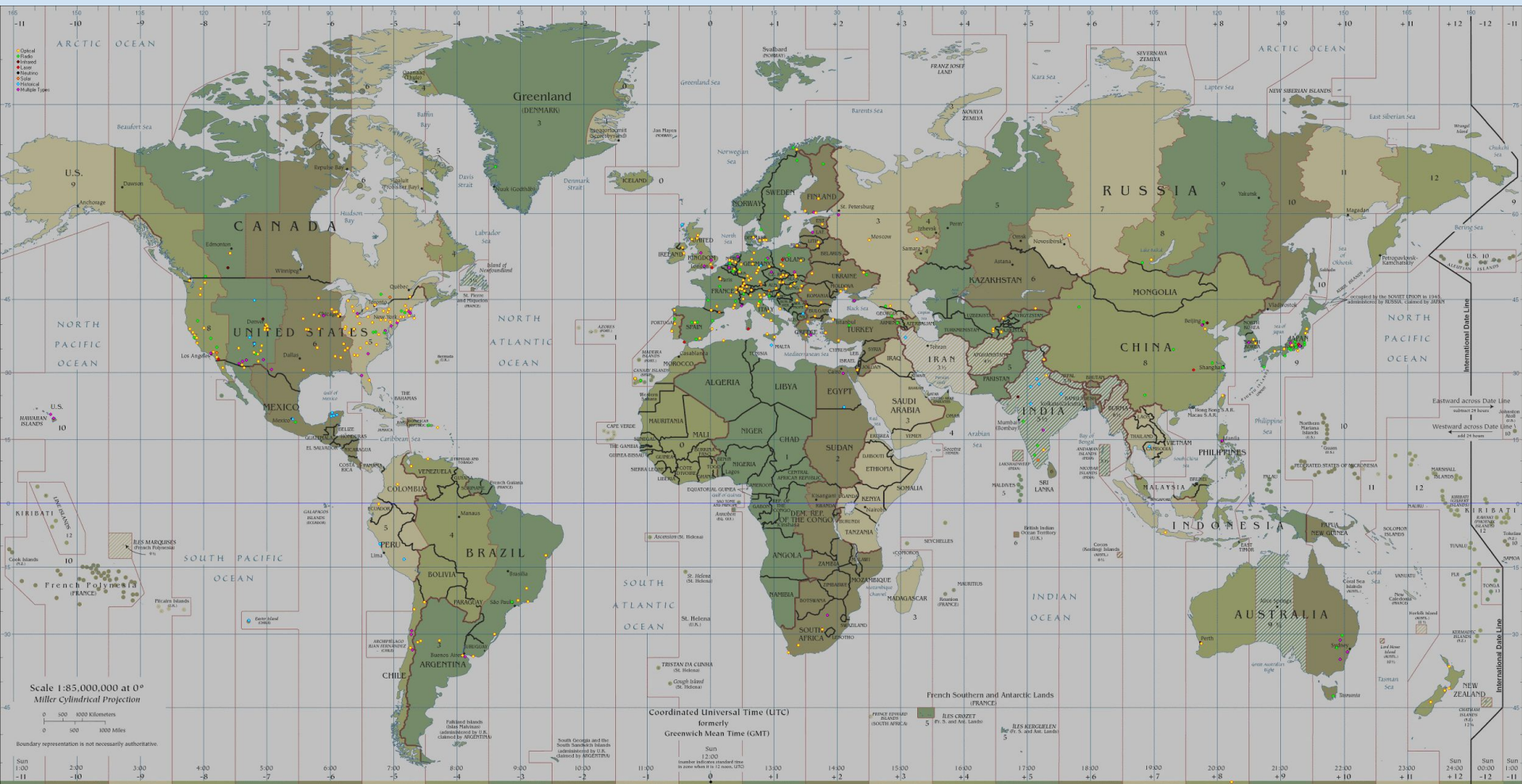
- Cielos azules
- Amaneceres y atardeceres rojizos

Efectos atmosféricos en la luz: emisión / reflexión

Night Sky - C11 + LISA (NIR R=800) - Castanet-Tolosan obs. - C. Buil



Azules: artificiales → lámparas de sodio → contaminación lumínica



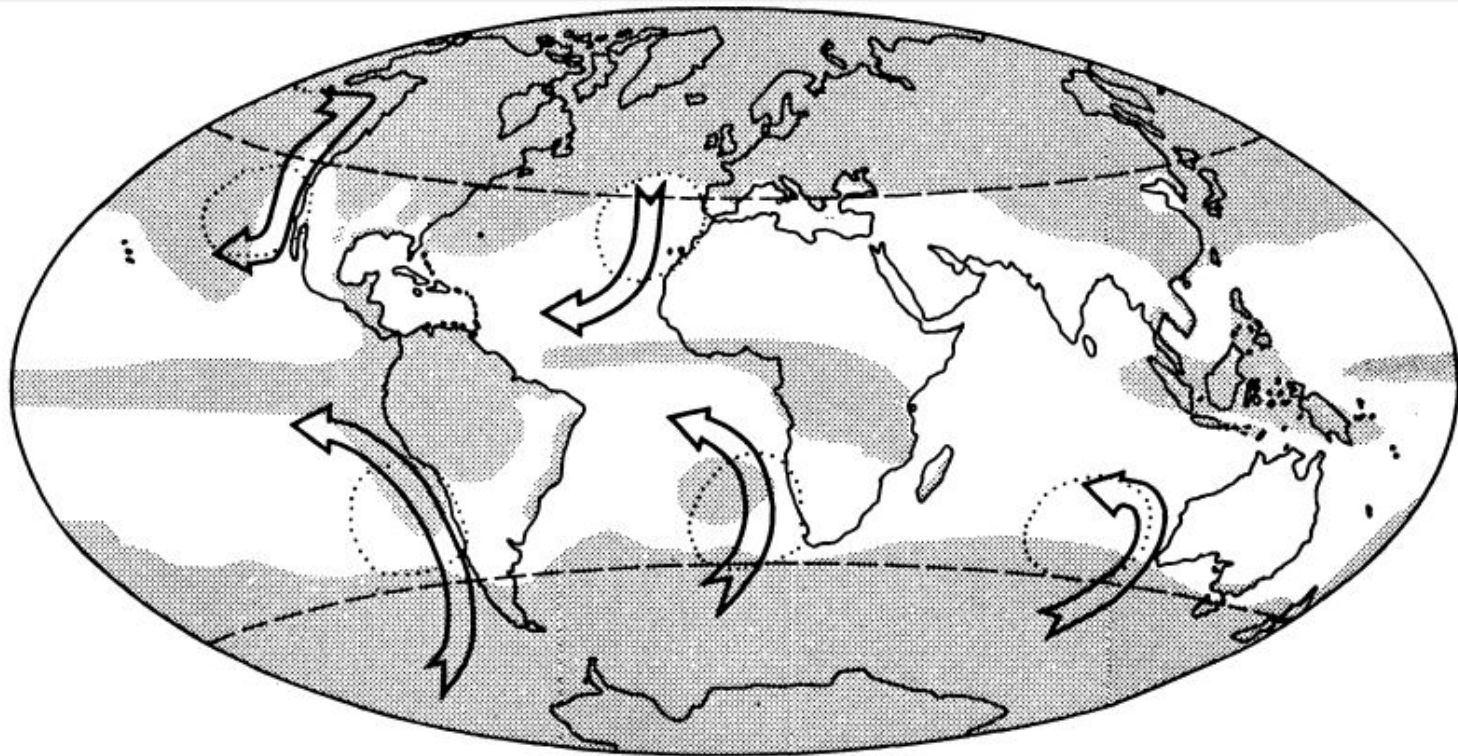
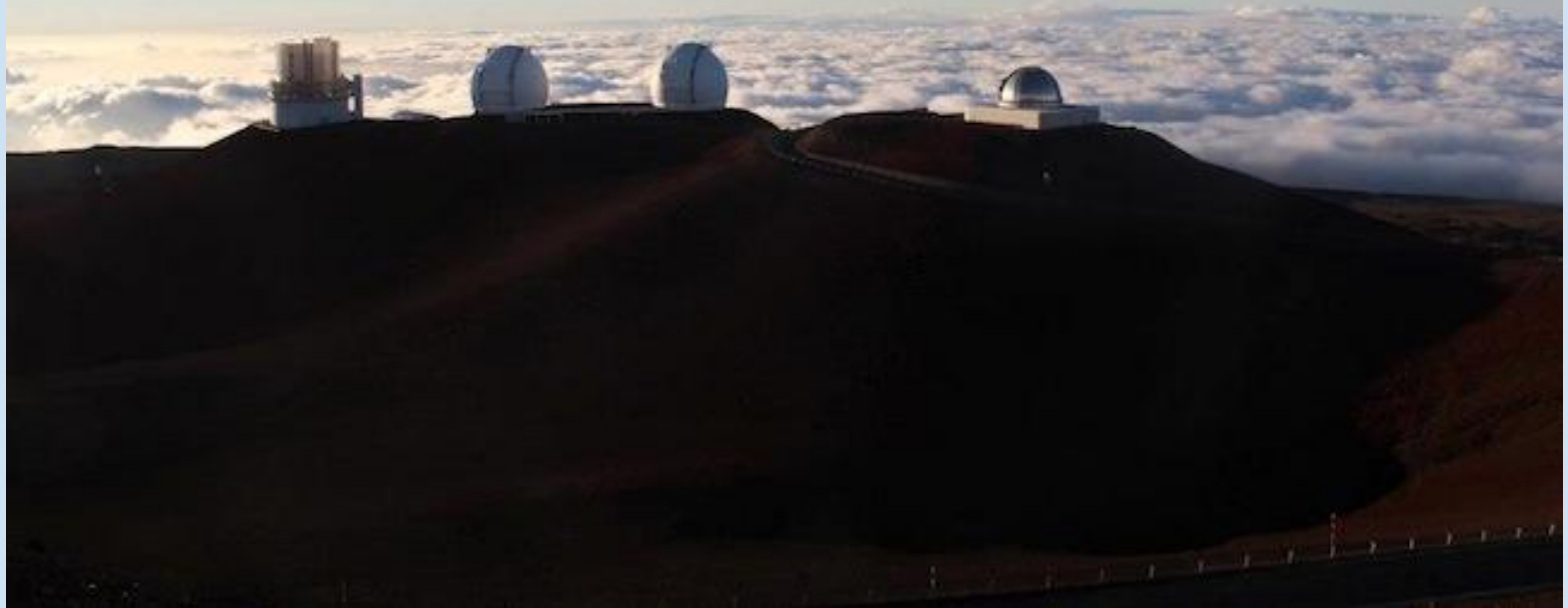


Figure 1. World map showing areas with more than two octas cloud cover at least 50% of the time annually (shaded), cold ocean currents (arrows), and approximate boundaries of the regions of maritime, tropical, stable air (dotted curves). Latitudes 40° N and S are indicated by dashed lines.

Walker, 1984

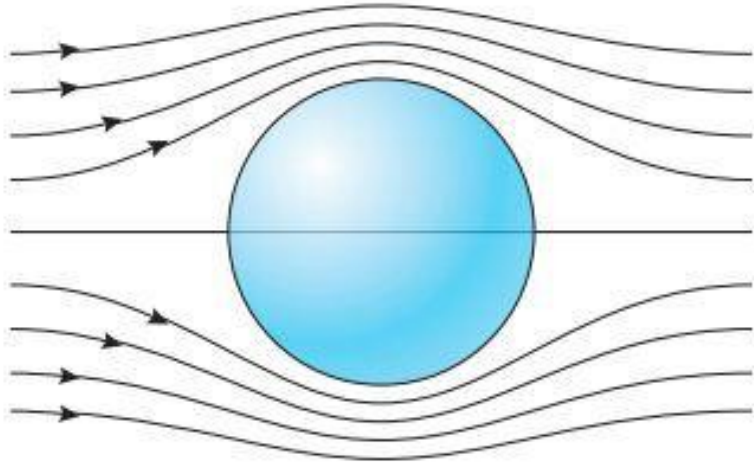
Mauna Kea, Hawaii



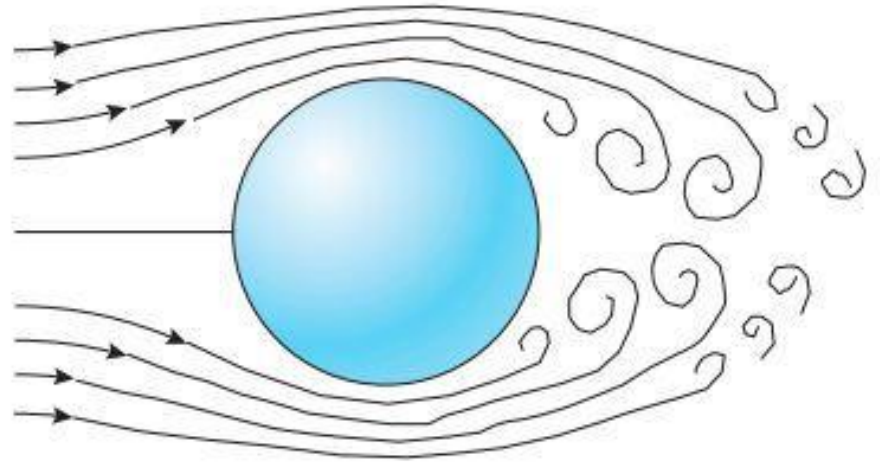


Isla Guadalupe, BC (Pacífico)

Fluidos laminares vs. turbulentos



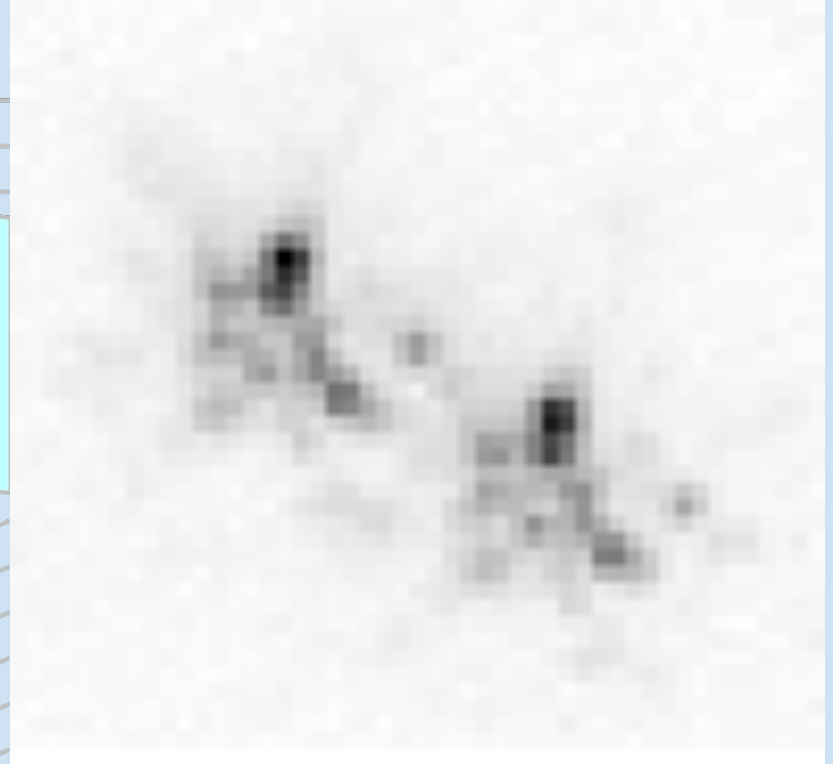
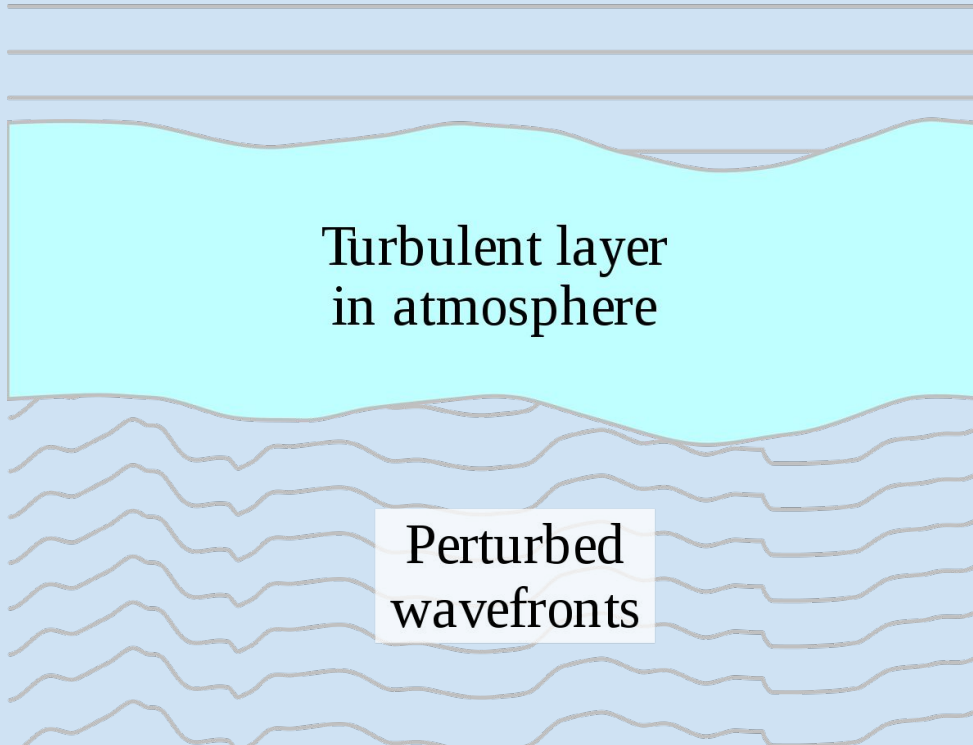
(a)



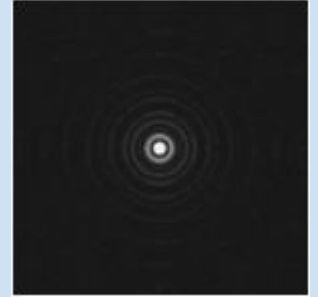
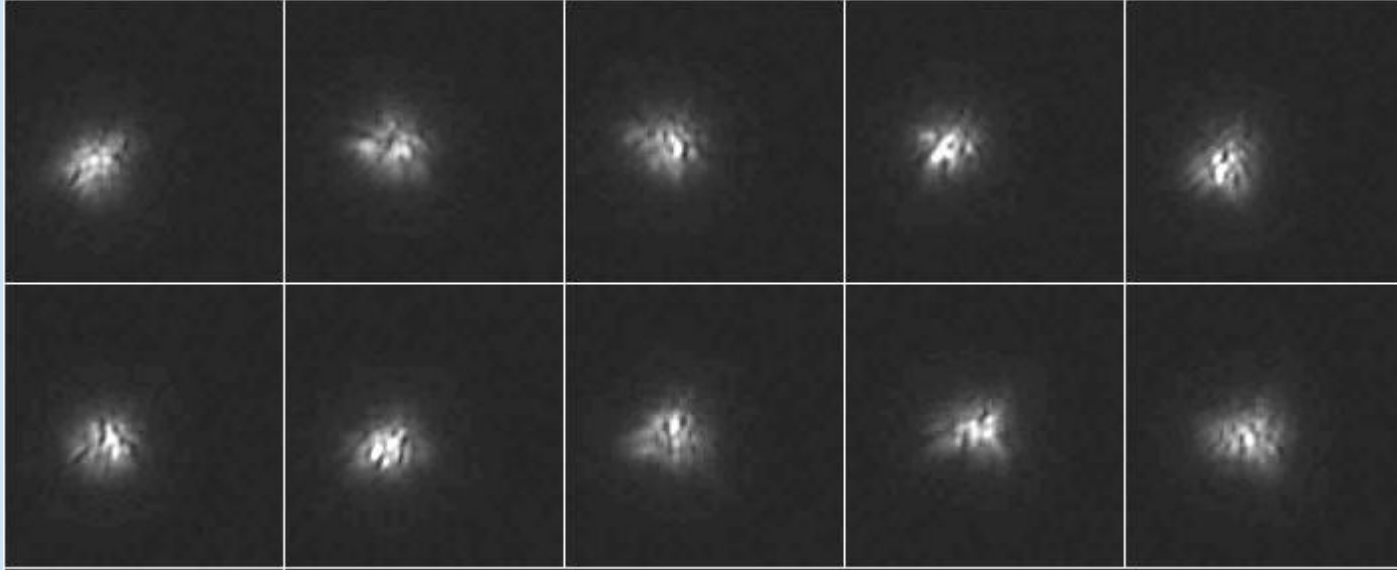
(b)

Otros efectos: turbulencia (seeing)

Plane waves from distant point source



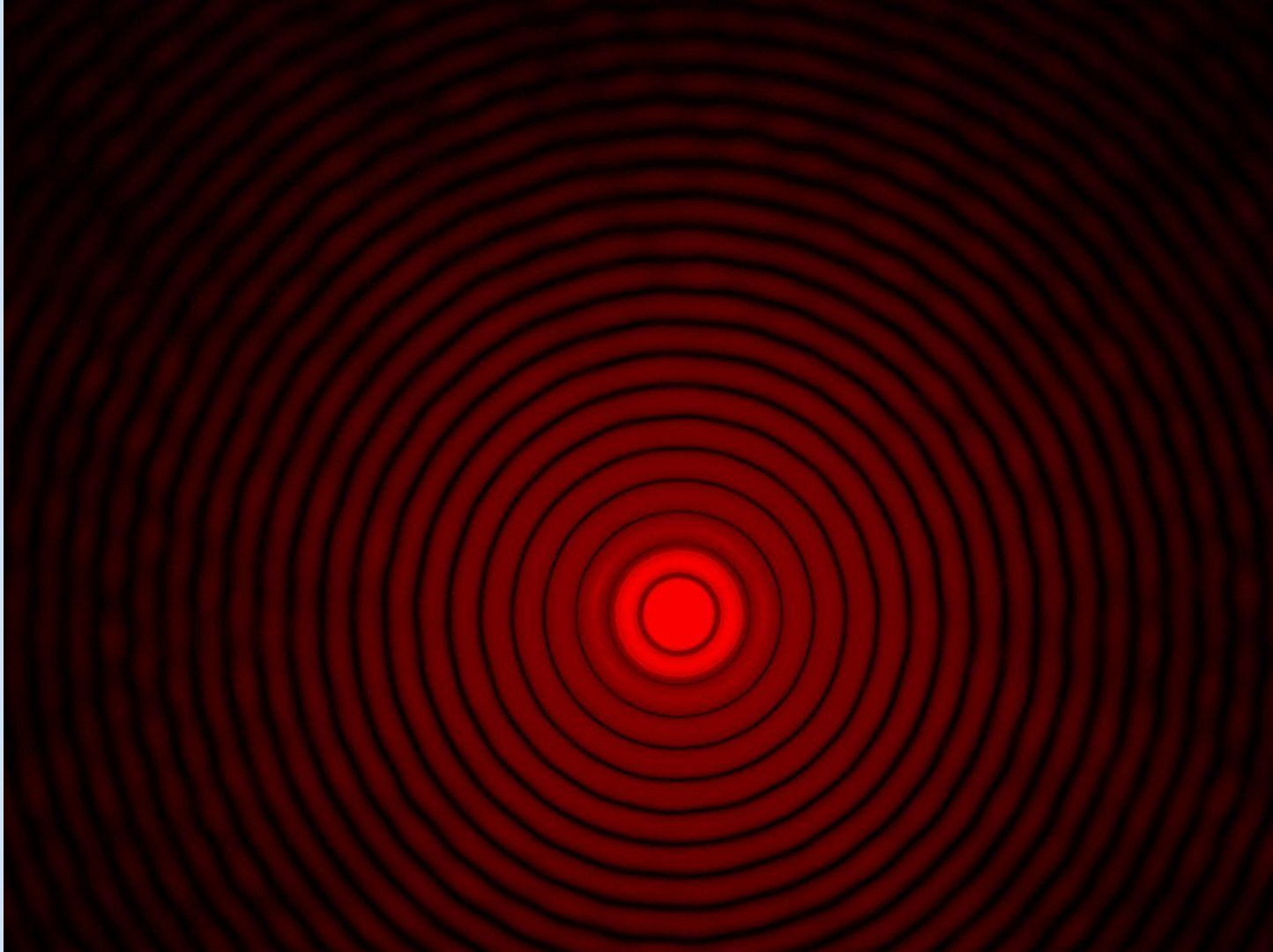
Con turbulencia vs. sin turbulencia



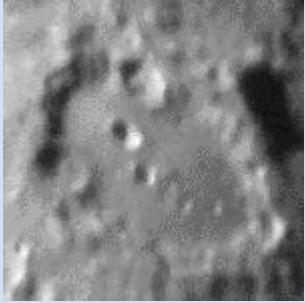
Disco de Airy:

Límite de difracción

Difracción y
límite de
difracción;
resolución y
FWHM

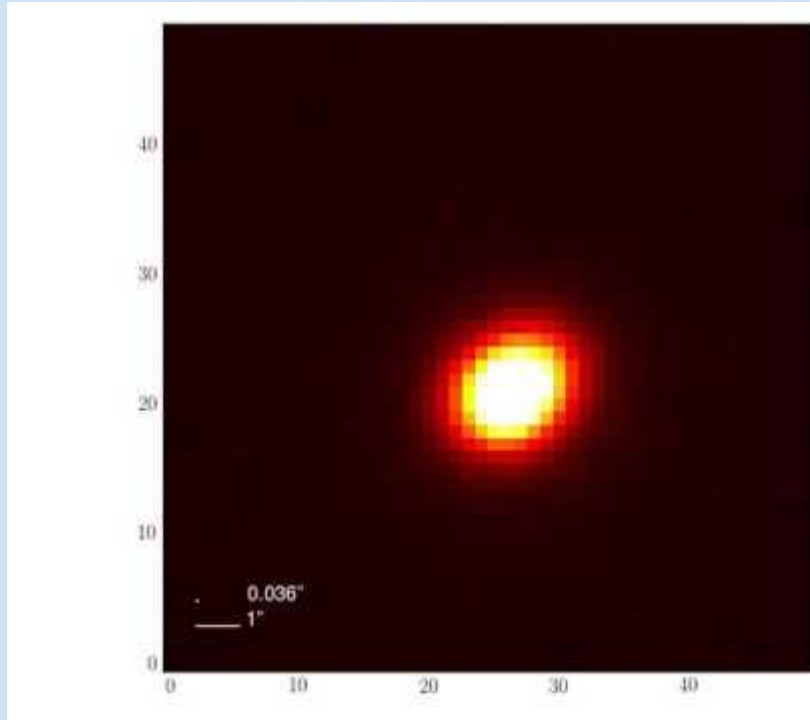


La Luna con turbulencia (telescopio pequeño)

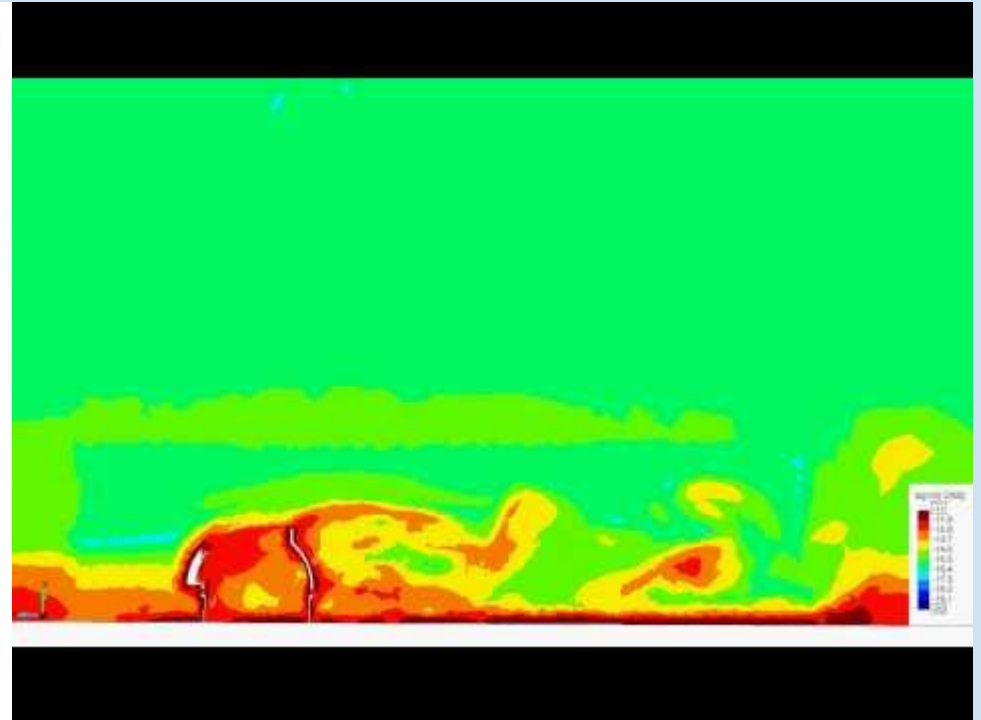


<https://youtu.be/kXKdDutKIz0>

Turbulencia y seeing



<https://youtu.be/NpUbFB6xkFI>



https://youtu.be/ZZBPiT_NWK4

Sistemas ópticos (simples)

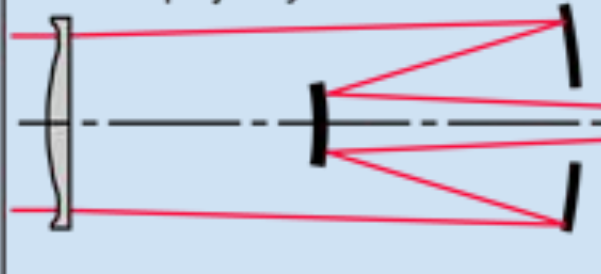
Sistemas Catóptricos

Solo espejos



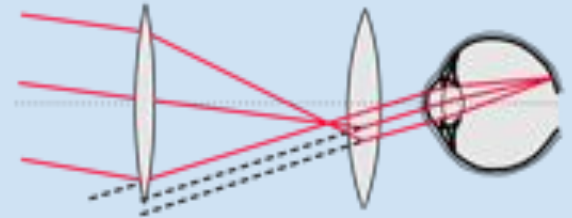
Sistemas Catadióptricos

Espejos y lentes



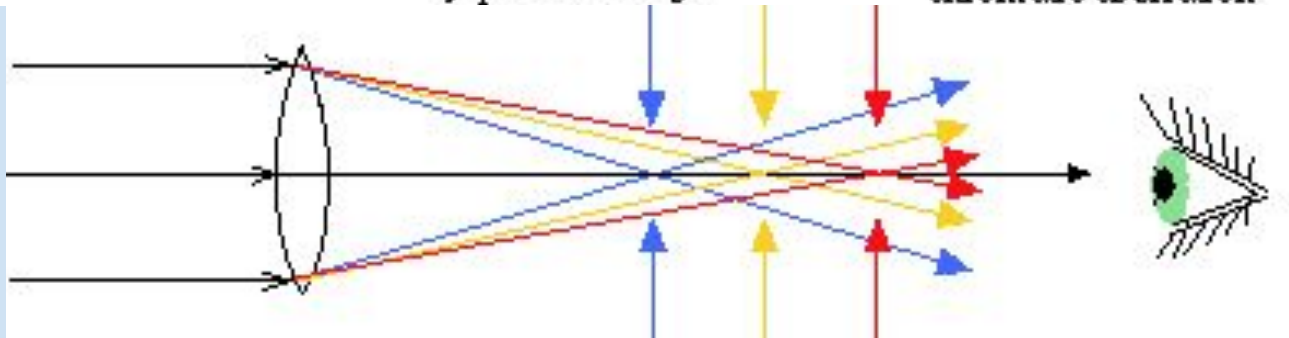
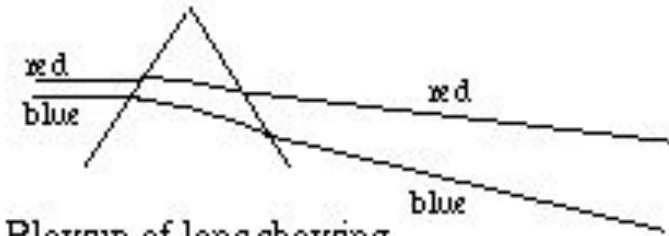
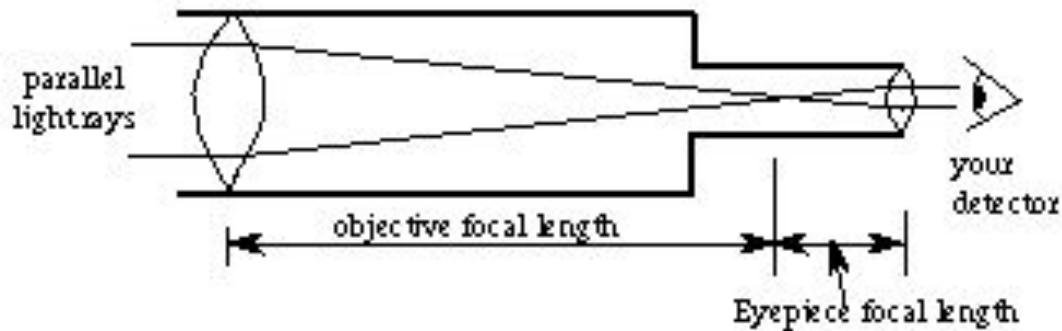
Sistemas Dióptricos

Solo lentes



Diseño de un telescopio simple

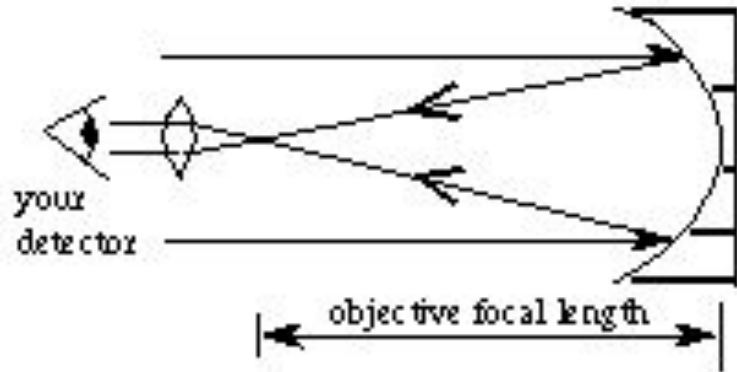
Lentes: muy pesados y tienen aberración cromática



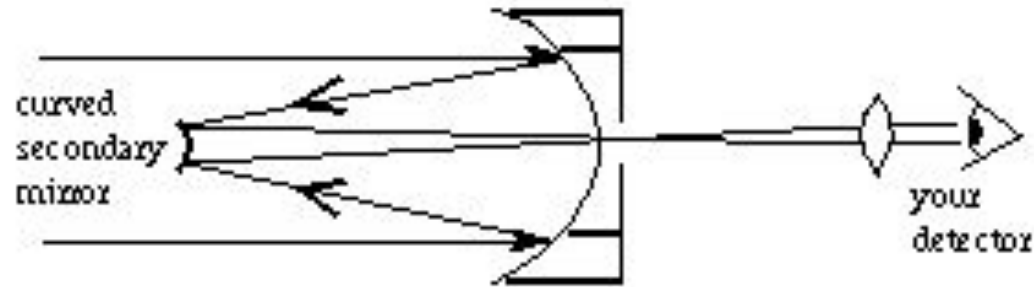
Usamos Espejos

Telescopio más simple: detector en el foco primario

Diseño Cassegrain: el más conveniente para telescopios profesionales



Simplest design—Prime focus
(Why isn't there a shadow cast
by the observer on the image?)



More common (and more convenient!)
Cassegrain design. Hole in
mirror—why doesn't that affect image?

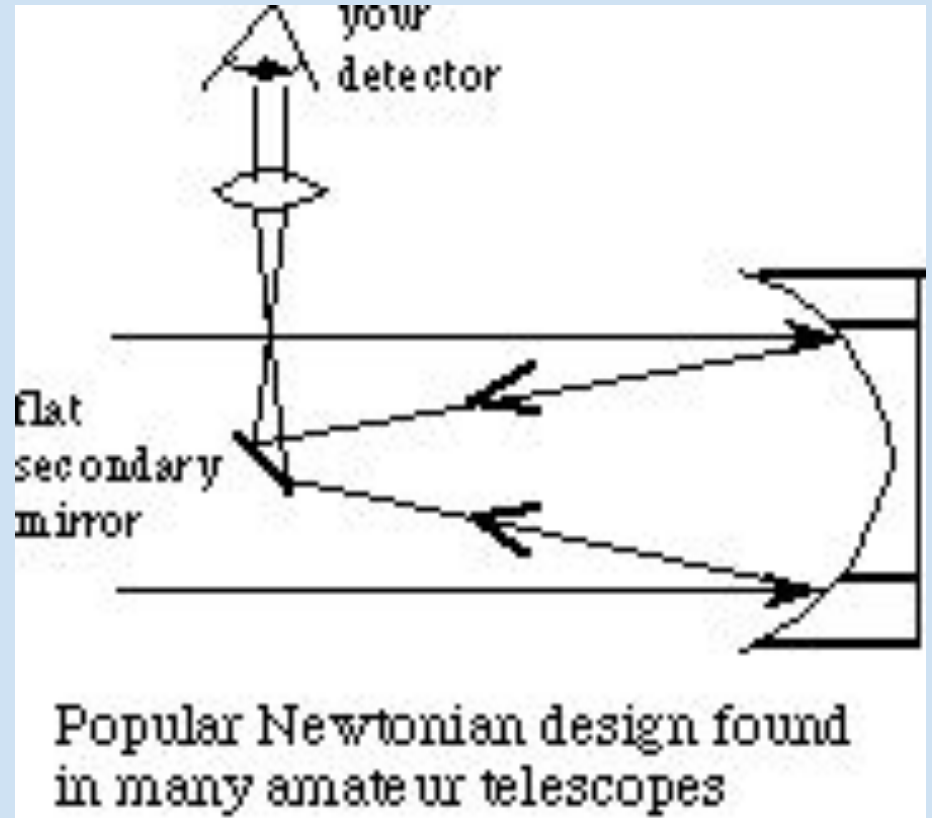
Newtoniano

Muy popular entre los telescopios pequeños o “amateur”

Muy prácticos para monturas ecuatoriales en telescopios pequeños con tubos cerrados

Detectores:

- Oculares (telescopios amateur)
- Fotómetros / placas / cámaras
- Espectrógrafos



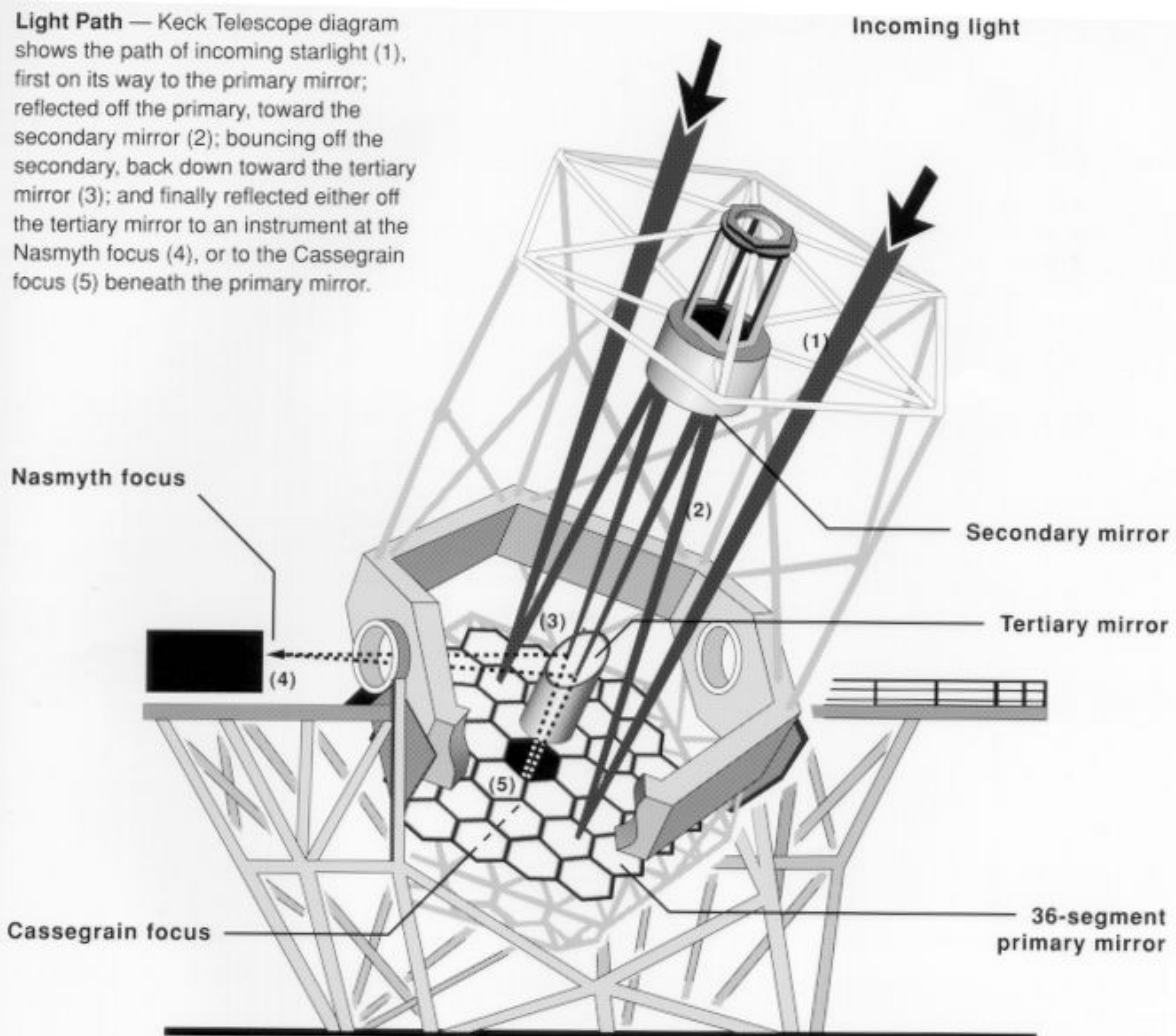
Nasmyth

Espejo terciario que lleva la luz a lo focos, a los lados del telescopio

Instrumentos muy pesados

Telescopios grandes

Montura Alt-Az

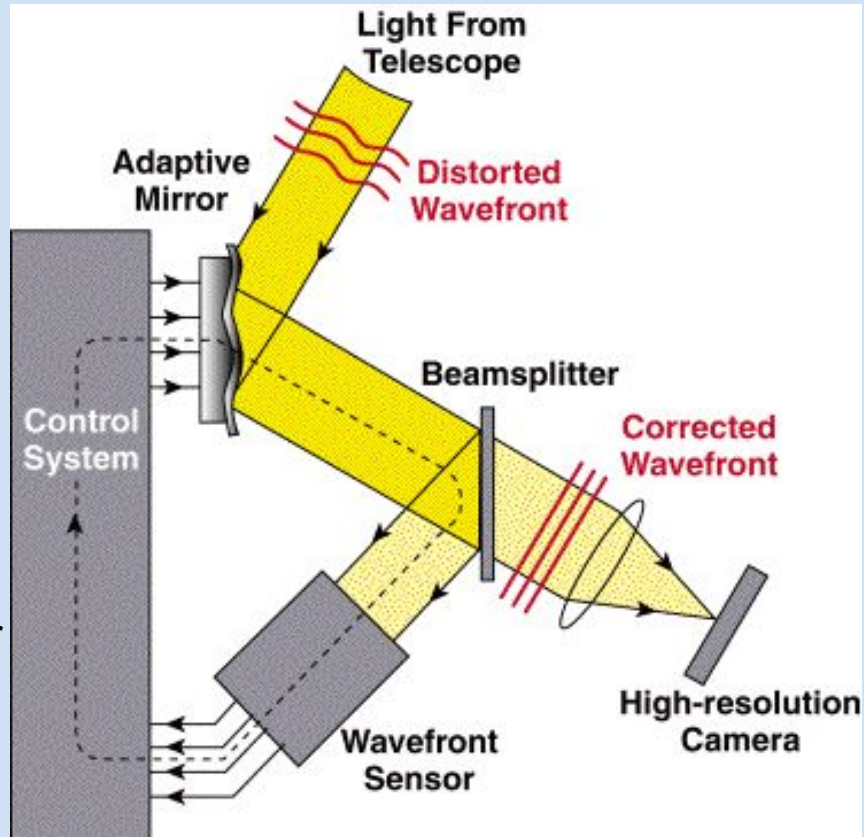


Sensibilidad y resolución

Queremos telescopios más grandes para:

- Ver objetos más débiles → intrínsecamente o por estar lejanos → más **sensibilidad (*sensitivity*)**
- Ver más detalles de los objetos → tener mejor **resolución**

Corregir por efectos de turbulencia y lograr resolución limitada por difracción:
óptica adaptativa



¿Dónde hay que poner los telescopios?

Óptico e infrarrojo cercano:

- Lejos de las ciudades
- Lo más alto posible / por encima de la capa de humedad estable
- Donde los vientos sean lo más estables posible, para evitar turbulencia

→ Islas (particularmente picos isleños), montañas altas / picos

→ Picos volcánicos

BEST DARK-SKY OPTICAL OBSERVING SITES

Observatorios
de “clase alta”
en el óptico e
IR cercano

Location	Altitude		Coordinates	
	m	(ft)	Longitude	Latitude
<u>Island</u>				
<u>Pacific</u>				
<u>Known</u>				
Mauna Kea, Hawaii	4205	(13796)	155° 28' W	19° 49' N
(Haleakala, Maui)	3054	(10019)	156° 15' W	20° 42' N
<u>Possible</u>				
Guadaloupe Island	1298	(4257)	118° 19' W	29° 06' N
<u>Atlantic</u>				
<u>Known</u>				
La Palma, Canary Islands	2366	(7762)	17° 52' W	28° 45' N
Madeira	1784	(5853)	16° 56' W	32° 46' N
<u>Possible</u>				
Pico, Azores	2321	(7615)	28° 24' W	38° 27' N
<u>Coastal</u>				
<u>California Coast</u>				
<u>Known</u>				
Junipero Serra Peak	1787	(5862)	121° 25' W	36° 09' N
<u>Possible</u>				
None				

Chile CoastKnown

Cerro Tololo	2399	(7871)	70° 49' W	30° 10' S
La Silla	2400	(7874)	70° 44' W	29° 15' S
Las Campanas	2282	(7487)	70° 42' W	29° 00' S

Possible

Other isolated coastal
peaks of altitude > 2000 m

Southwest African CoastKnown

(Gamsberg)	2350	(7710)	16° 12' E	23° 18' S
------------	------	---------	-----------	-----------

Possible

Brandberg	2621	(8600)	14° 35' E	21° 08' S
Naukluft Plateau	2060	(6760)	16° 10' E	24° 10' S
Anon. Peak	2070	(6790)	15° 45' E	25° 16' S

InlandKnown

Barcroft Peak, White Mountain, Calif.	3975	(13040)	118° 15' W	37° 34' N
Kitt Peak, Ariz.	2064	(6772)	111° 36' W	31° 58' N
San Pedro Martir Baja California	2826	(9252)	115° 27' W	31° 03' N
(Mt. Hopkins, Ariz.)	2382	(7815)	110° 53' W	31° 41' N

Possible

White Mt. (Summit), Calif.	4341	(14242)	118° 15' W	37° 38' N
Isolated peaks of altitude > 3,000 m in dry climates				

Observatorios ópticos en el mundo

- Hawaii: Mauna Kea (12 telescopios)--asuntos políticos-sociales (EU y aliados)
 - Keck (2 x 10 m), Gemini Norte (8.1 m)
 - Subaru (8.2 m), UKIRT (3.6 m), CFHT (3.5 m)
 - TMT (30 m, en construcción, detenido en varias ocasiones por problemas sociales)
- Canarias -- Europa, hemisferio norte
 - El Teide, Tenerife: 10 telescopios; 1.5 m + solares
 - Roque de los Muchachos, La Palma: 17 telescopios; GTC (10 m), William Herschel (4.2 m)
- Chile -- Europa y EU, hemisferio sur (ESO et al.)
 - Paranal: Very Large Telescope (VLT, 4 x 8 m + 4 x 1.8 m), Vista (4 m), VST (2.6 m)
 - La Silla: 18 telescopios (ESO telescope, 3.6 m)
 - Las Campanas: Telescopios Magallánicos (2 x 6.5 m), Irene DuPont (2.5 m, SDSS), Giant Magellan Telescope (24 m, en construcción)
 - Cerro Armazones (European Extremely Large Telescope, E-ELT, 30m, en construcción)
 - Cerro Tololo: 5 telescopios, Blanco (4 m), SOAR, Vera Rubin (LSST, 8.4 m, en construcción)
 - Cerro Pachón: Gemini Sur (8.1 m)

En México

Históricos (S. XIX y XX):

- Observatorio Astronómico Nacional, Tacubaya
- Observatorio de Guadalajara (Severo Díaz)

En funciones:

- Observatorio Astronómico Nacional, Tonantzintla (histórico y docencia)
 - Carta del Cielo
 - Telescopio Solar
- Observatorio Astrofísico Guillermo Haro, Cananea, Sonora (INAOE) (2.1 m)
- Observatorio de La Luz (U. de Guanajuato) (1 m robótico)
- **Observatorio Astronómico Nacional, San Pedro Mártir, BC (IA-UNAM)**



OAN, San Pedro Mártir

Existentes:

- 2.1 m: óptico e IR, de uso general
- 1.5 m: robotizado; proyecto SASIR / RATIR (óptico, IR)
- 0.84 m: óptico, polarímetro y fotómetro
- BOOTES-5: 0.6 m, contrapartes ópticas de GRBs (España, Korea)
- COATLI: 0.5 m, robótico (EU)
- DDOTI: muy amplio campo de visión, contrapartes ópticas de GRBs (EU, Francia)
- Saint-Ex: 1 m, buscar exoplanetas (UK, Europa)

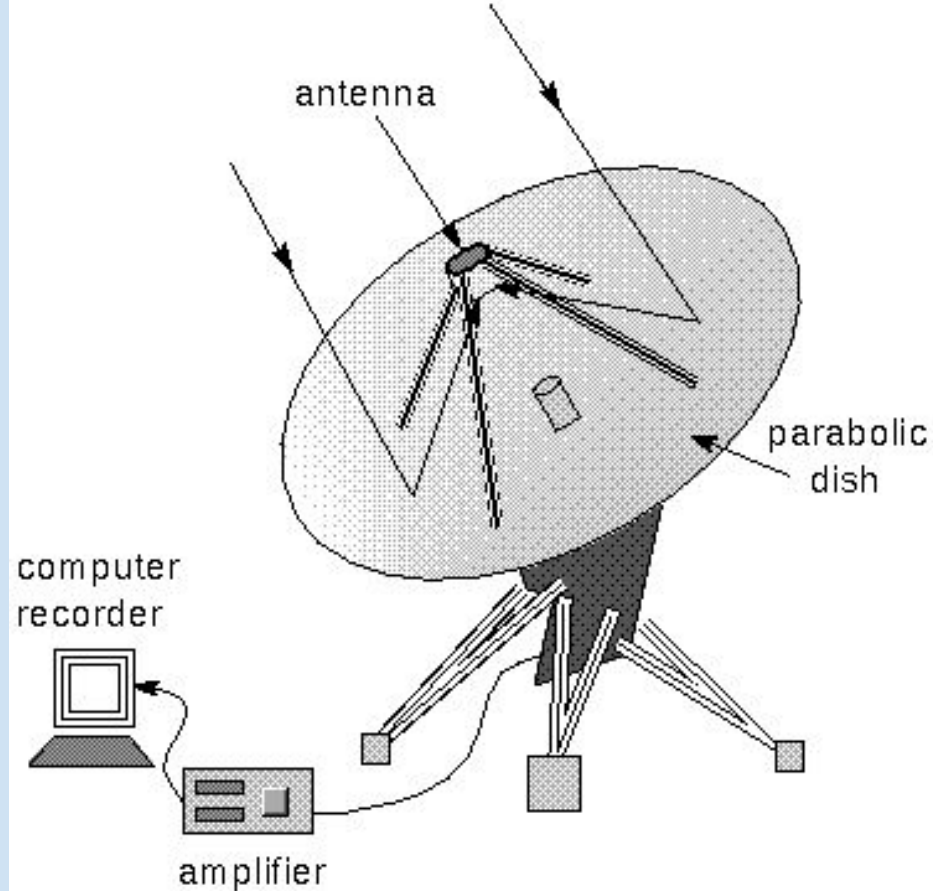
En construcción:

- TAOS-II: 1.3 m, objetos trans-neptunianos (Korea)
- Colibrí: respuesta muy rápida, contrapartes ópticas de GRBs (Francia)

Radiotelescopios

Ventajas

- Se deben / pueden construir mucho más grandes que los ópticos
- Las antenas no necesitan tener mucha precisión en su superficie
- Se puede hacer interferometría con relativa facilidad → mejor resolución angular



A radio telescope reflects radio waves to a focus at the antenna. Because radio wavelengths are very large, the radio dish must be very large.

Arecibo

Puerto Rico

300 m



FAST

China

500 m



VLA, New Mexico



ALMA (Cajnantor, Chile)



¿Dónde hay que poner los telescopios?

Radiotelescopios:

Lejos de fuentes de contaminación (e.g., torres de telecomunicaciones, hornos de microondas, etc.)

Si son en el milimétrico, también es necesario que sean altos para evitar el vapor de agua atmosférico

En México: GTM, Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano

Sierra Negra (4,600 m), Puebla



Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano
www.lmtgtm.org

Fotografía por: Jorge Zavala

¿Dónde hay que poner los telescopios?

**Rayos gamma, rayos X,
UV, MIR, FIR:**

EN EL ESPACIO

→ También en globos
aerostáticos o incluso
aviones

→ También tiene ventajas
para los telescopios ópticos
(HST, JWST)



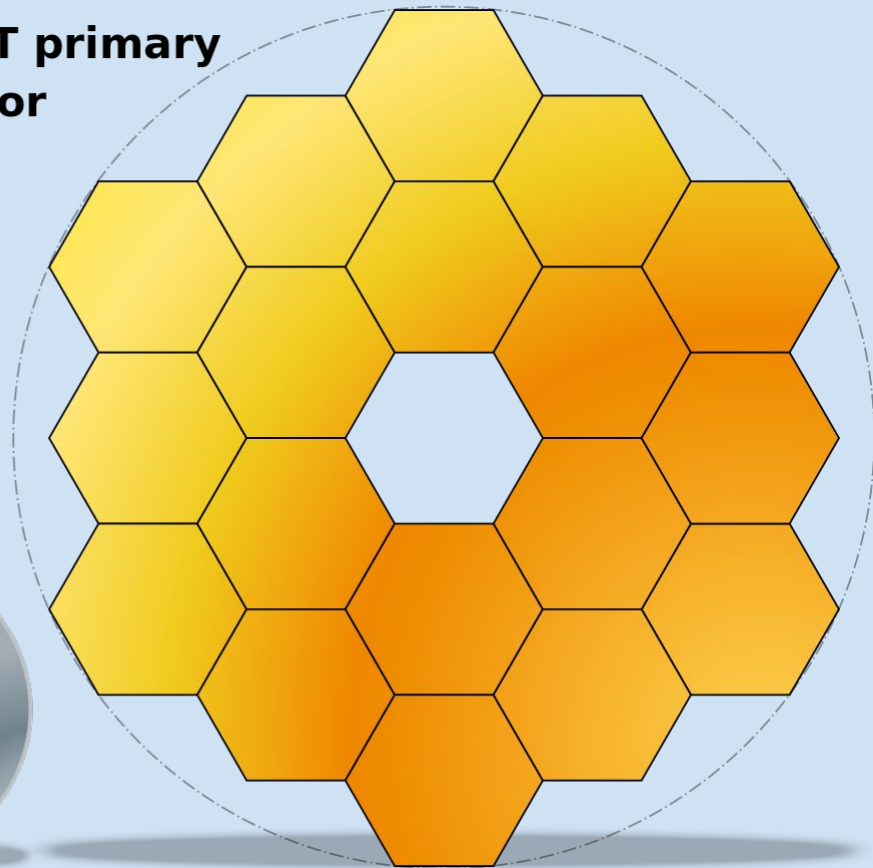
James Webb Space Telescope

Sucesor del Hubble

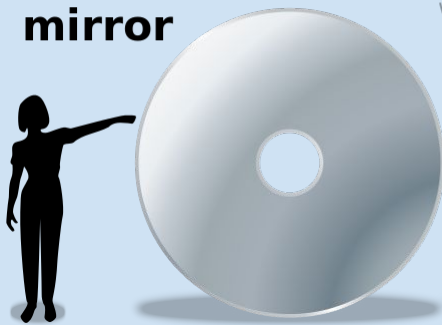
6 m
(comparado con 2 m)

Lanzamiento en 2021
(esperemos)

**JWST primary
mirror**



**Hubble primary
mirror**





Observatorios espaciales

- Rayos Gamma: Compton, BeppoSax, Swift, INTEGRAL, AGILE, Fermi
- Rayos X: ROSAT, Einstein, Uhuru, Suzaku, Chandra, XMM-Newton, eROSITA, ATHENA
- UV: IUE, EUVE, FUSE, GALEX, Hisaki, HST (NUV)
- Óptico: Hipparcos, COROT, Kepler, HST, Gaia, TESS, JWST
- Infrarrojo: IRAS (MIR--FIR), Akari (NIR-FIR), Herschel (FIR--Sub-mm), WISE (NIR-MIR), Spitzer 😞 (NIR--FIR), JWST (NIR--MIR)
- Microondas: COBE, WMAP, Planck

Selected space telescopes and instruments^[190]

Name	Year	Wavelength	Aperture
Human eye	—	0.39–0.75 μm	0.01 m
Spitzer	2003	3–180 μm	0.85 m
Hubble STIS	1997	0.115–1.03 μm	2.4 m
Hubble WFC3	2009	0.2–1.7 μm	2.4 m
Herschel	2009	55–672 μm	3.5 m
JWST	Planned	0.6–28.5 μm	6.5 m

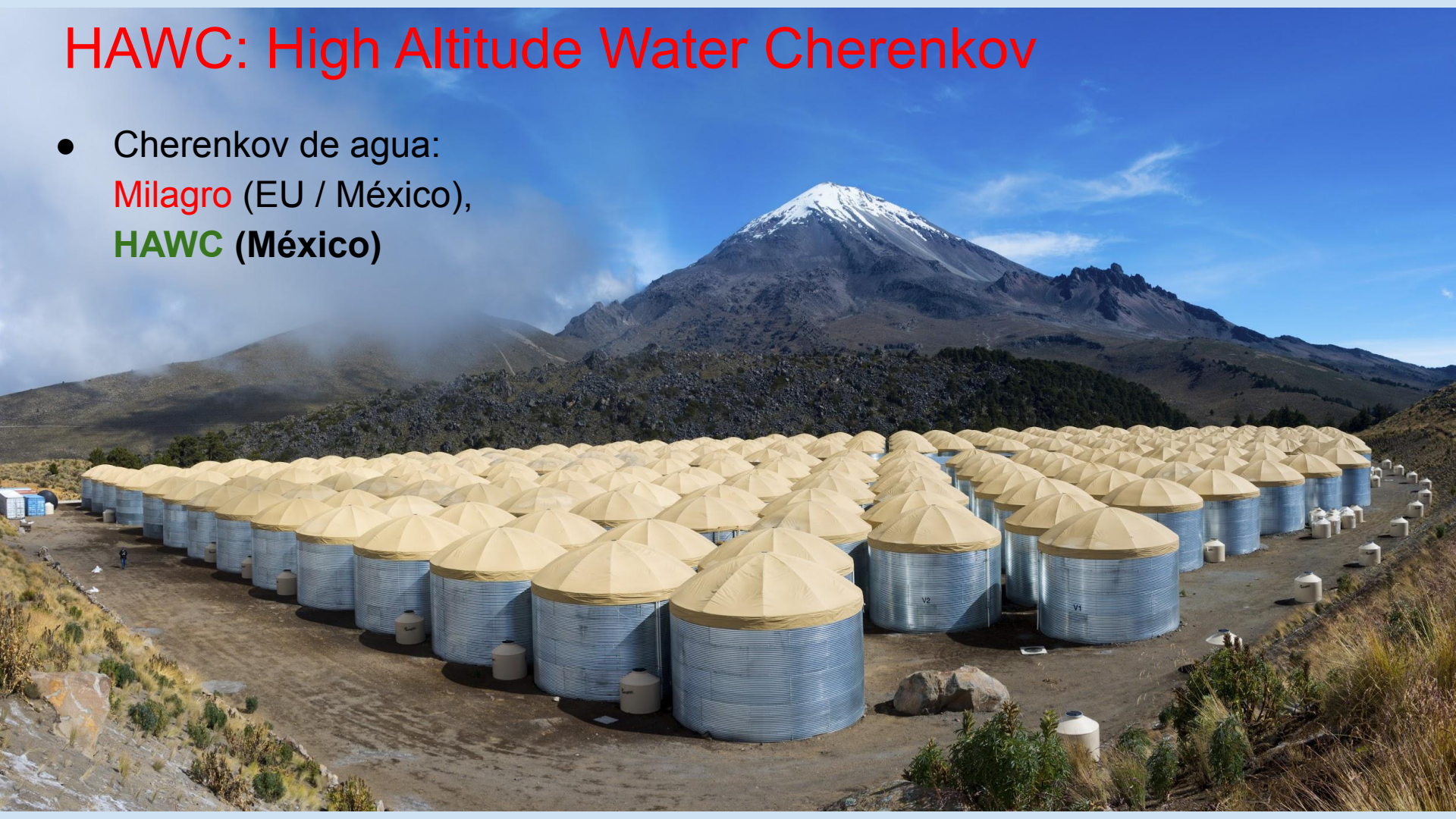
Rayos gamma en la superficie terrestre

- Cherenkov atmosférico: **MAGIC** (Roque de los Muchachos), **HESS** (Namibia), **Veritas** (EU), Cherenkov Telescope Array, **CTA** (Roque de los Muchachos + Paranal)



HAWC: High Altitude Water Cherenkov

- Cherenkov de agua:
Milagro (EU / México),
HAWC (México)





Más allá de la luz

- Partículas: rayos cósmicos
- Partículas: neutrinos
- Materia oscura
- Energía oscura
- Ondas gravitacionales.

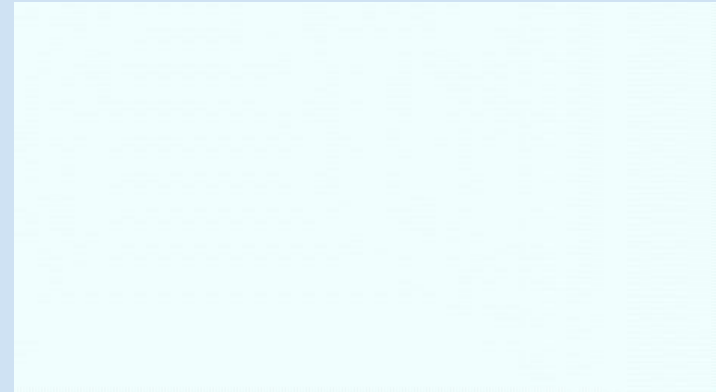
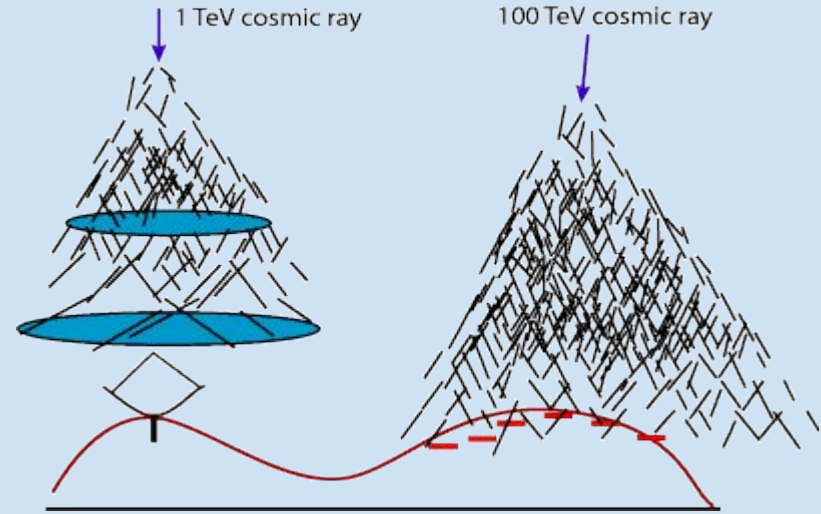
Rayos cósmicos

Partículas cargadas
(principalmente protones)

Viajan muy rápidamente

Fuentes: el Sol (única confirmada)
fenómenos muy energéticos como
blazares (AGN) o supernovas

Detección: radiación Cherenkov



HAWC

Colaboración multinacional de muchas instituciones

- 14 en México: [INAOE](#), [IA-UNAM](#), otros institutos UNAM, IPN y otras
- 18 en EU
- 2 en Europa

Ligar fuentes de rayos cósmicos a fuentes de rayos gamma de alta energía

HAWC: High Altitude Water Cherenkov



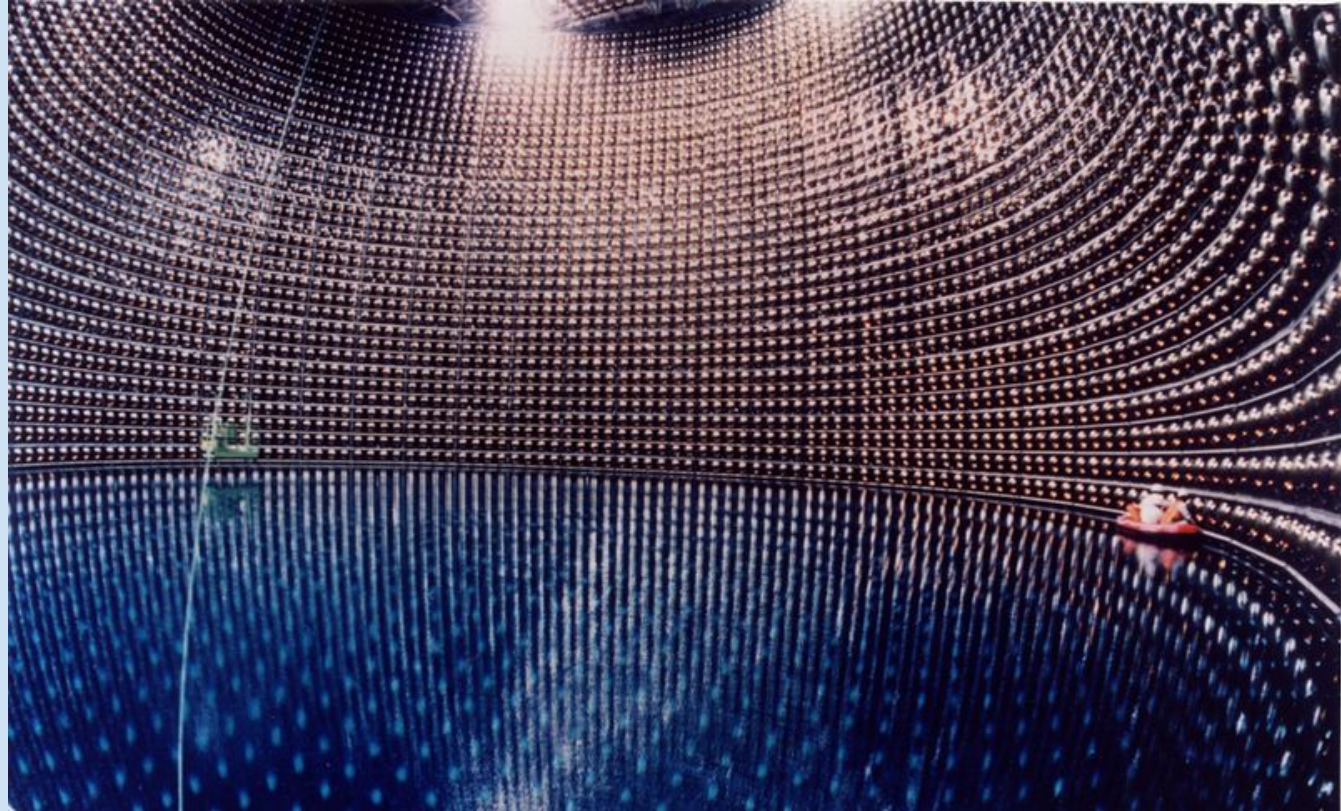
Neutrinos

Partículas muy ligeras
producto de
reacciones nucleares

Prácticamente no
interactúan con la
demás materia

Muy difíciles de
detectar: Cherenkov

(Super Kamiokande,
Japón)



Materia oscura

No sabemos qué es...

... no interactúa con la materia ordinaria...

... excepto por gravedad, que podemos medir

“Colisión” de cúmulos de galaxias

Rosa / morado: gas caliente en rayos X

Azul: mapa de masa medido por efecto de lente gravitacional (incluye materia oscura)



Dark Matter in Galaxy Cluster MACS J00254.4–1222
Hubble Space Telescope ACS/WFC • Chandra X-Ray Observatory



Energía oscura

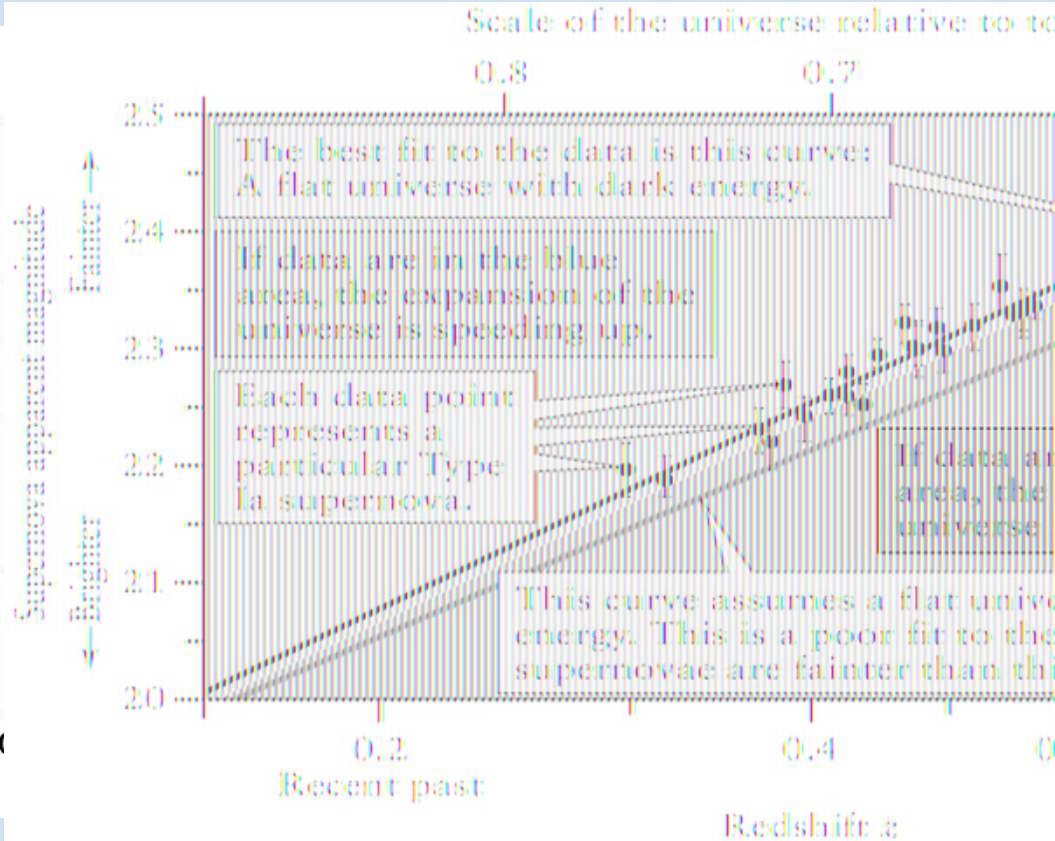
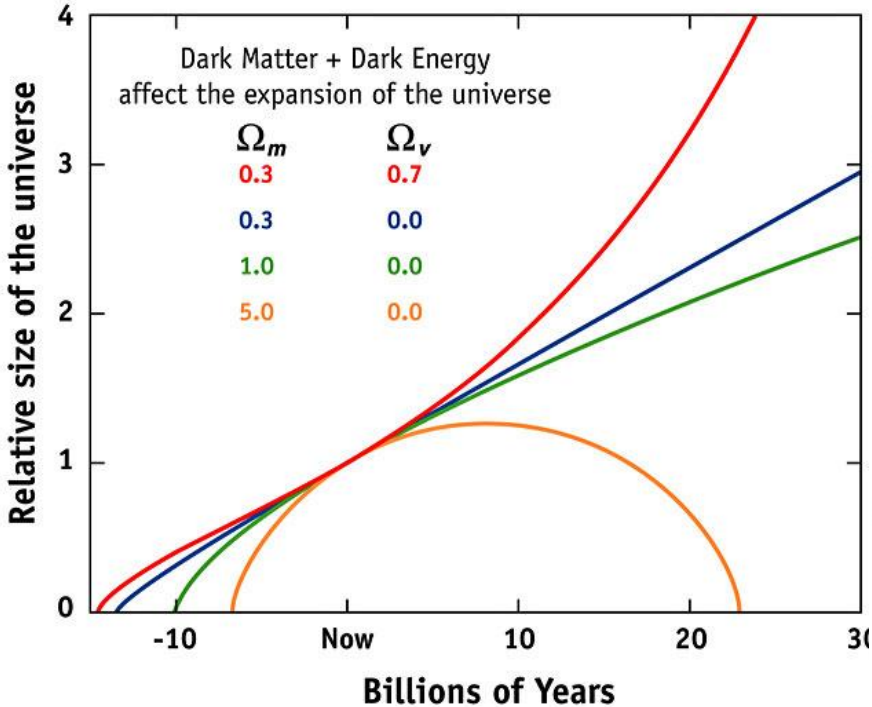
Propuesta para explicar la expansión acelerada del Universo (Cosmología Lambda-CDM, *Lambda Cold Dark Matter*)

No sabemos qué es

Hay algunos modelos: constante cosmológica, quintaescencia, vacío cuántico...

Energía oscura: expansión acelerada del universo

EXPANSION OF THE UNIVERSE



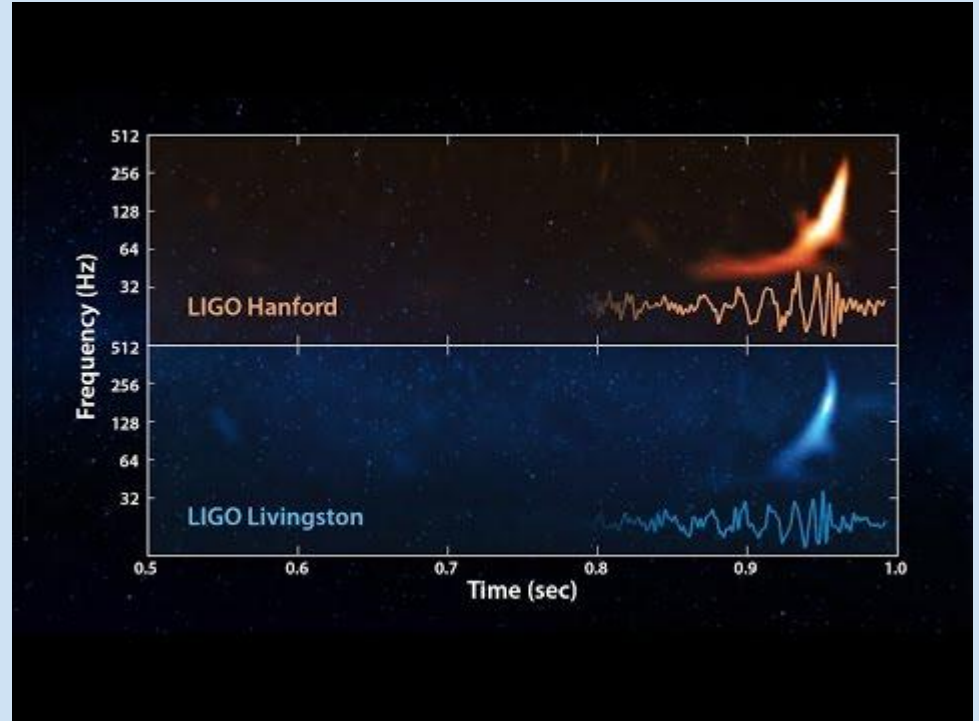
Ondas gravitacionales

Oscilaciones en el “entramado” del espacio-tiempo

Producidas por eventos con campos gravitacionales muy intensos:

- Colisión / fusión de agujeros negros o estrellas de neutrones
- “Fondo cósmico” de ondas gravitacionales (no observado)

<https://youtu.be/TWqhUANFXw>



LIGO



Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory
Hanford, Washington (imagen) y Livingston, Louisiana



¡Gracias!

FOSFINA

FOSFANO

© Marvel / Disney

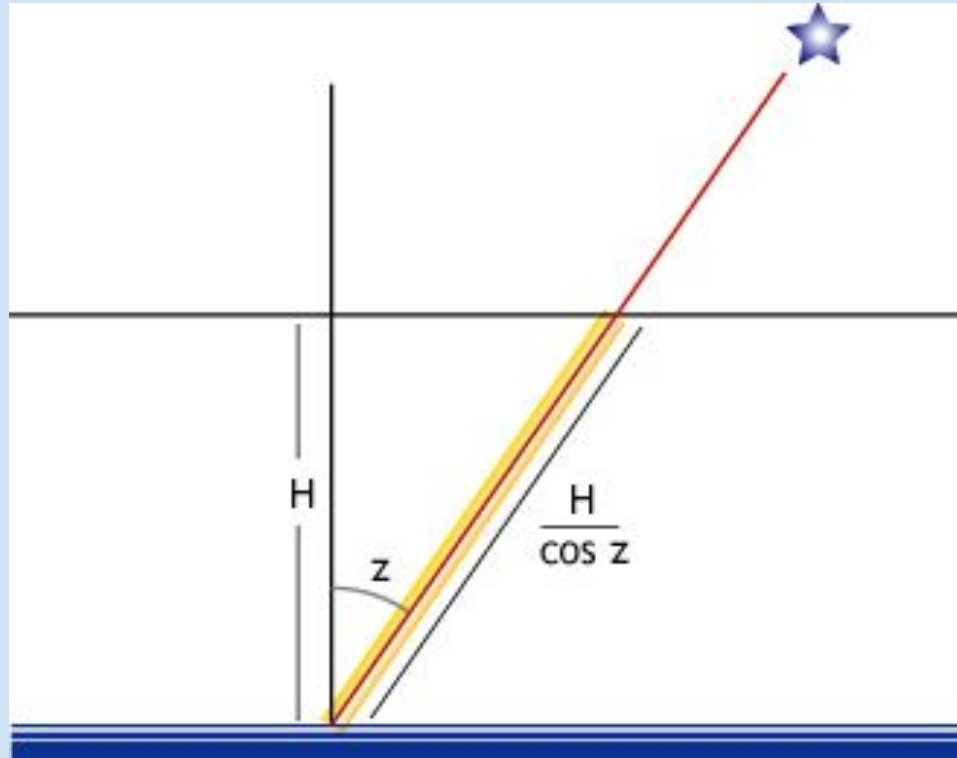
¡EXTRAS!

Recursos: observatorios en la Tierra

http://www.eso.org/~ndelmott/obs_sites.html

<http://cdsweb.u-strasbg.fr/astroWeb/astroweb/telescope.html>

Extinción / masa de aire



Fotómetro / CDD

Antes: fotómetros

Ahora: CCDs

Charge-coupled device

Convierten luz en electrones mediante efecto fotoeléctrico
→ los electrones son “leídos” y amplificados, convirtiéndose en señales eléctricas digitales

Todas las cámaras digitales tienen CCDs

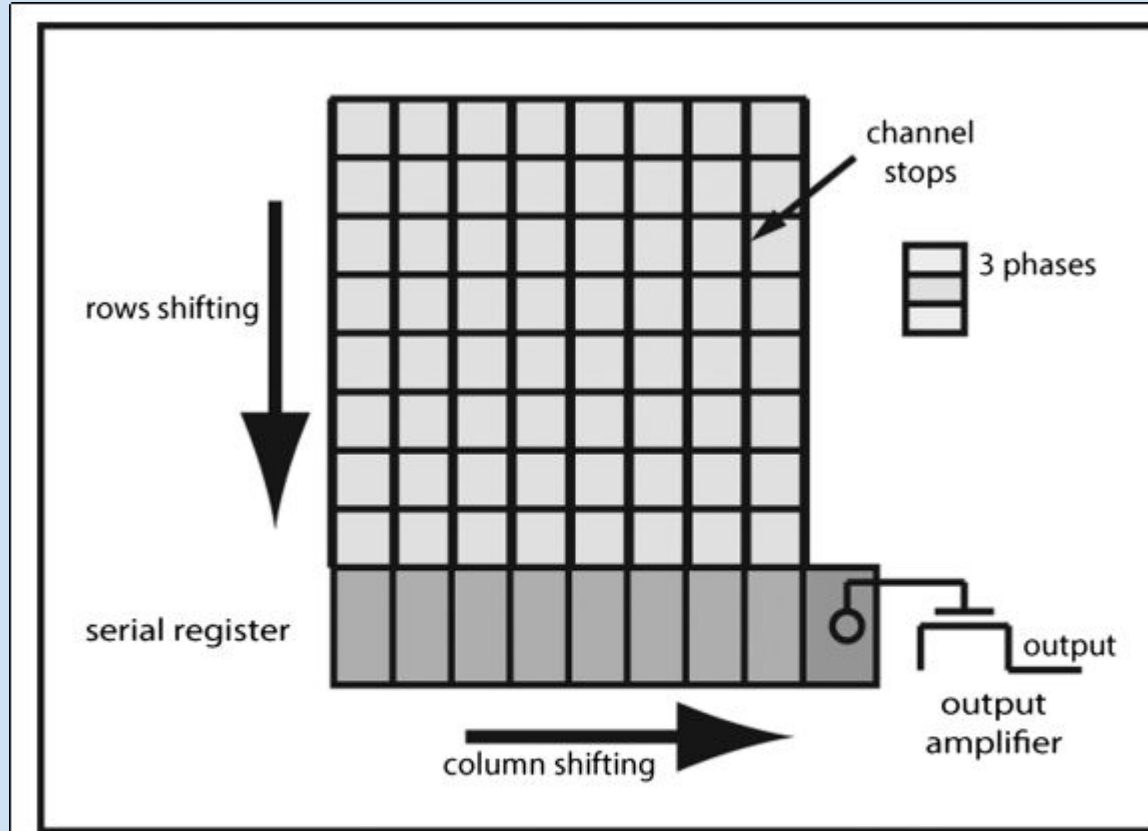
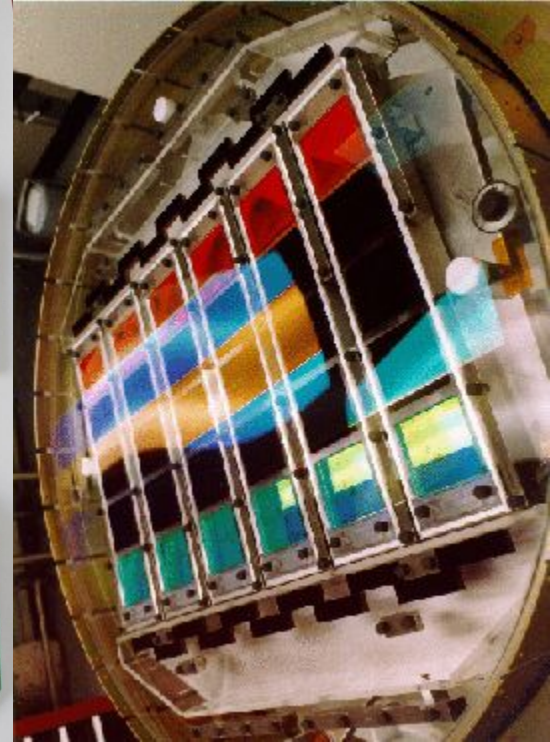
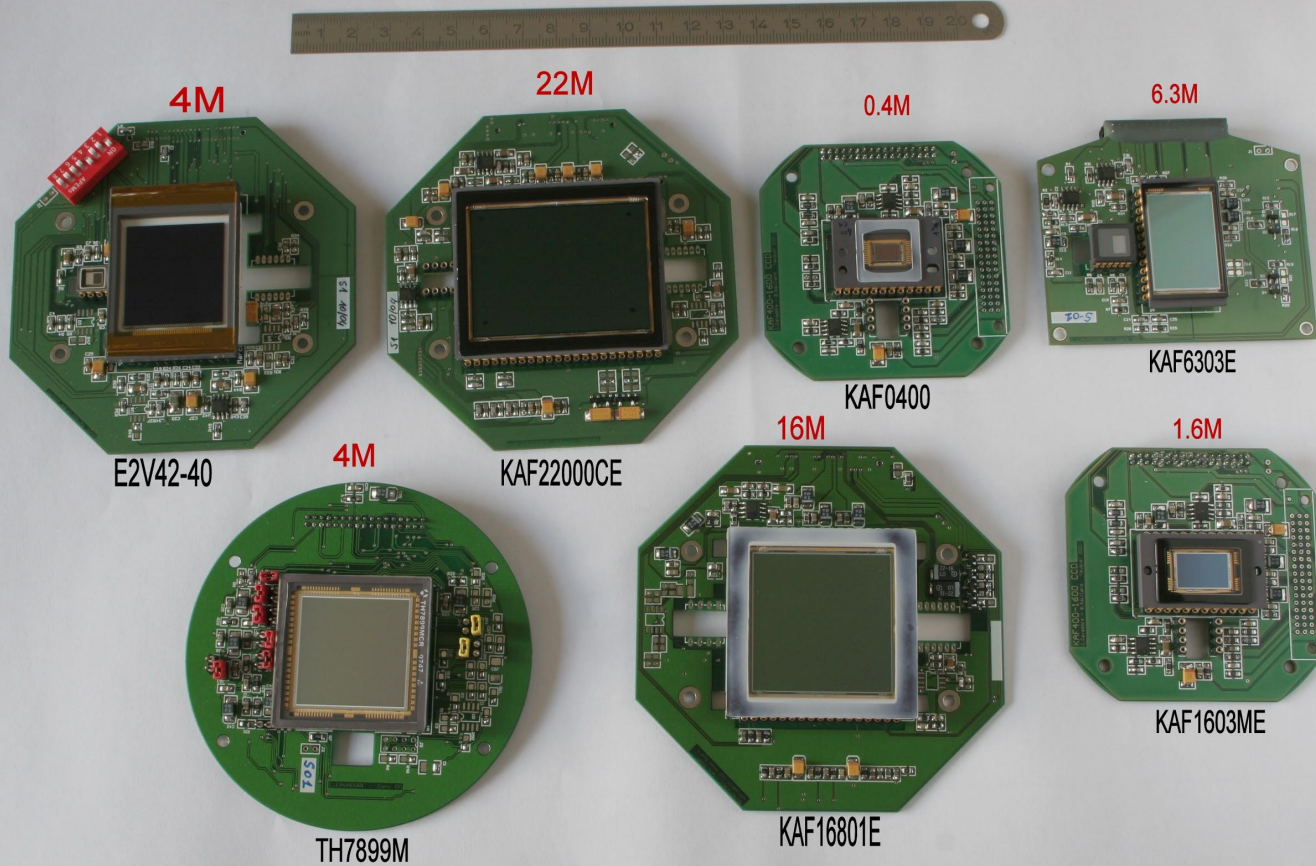


FIG. 1.—Physical layout of a typical three-phase CCD.

CCDs comerciales y cámara del SDSS



Espectrógrafo

Elemento dispersor:

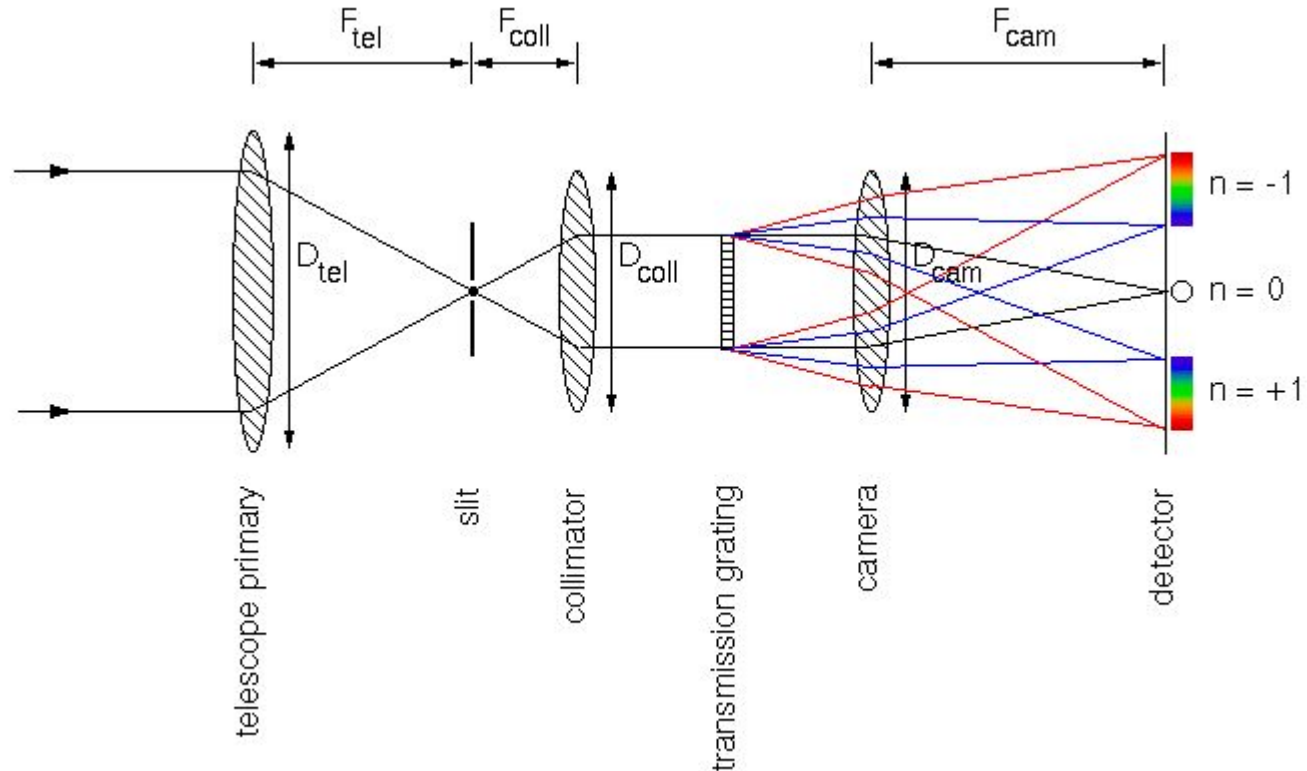
- Rejilla de difracción
- Prisma

Slit (rendija):

Es una apertura.

Puede ser:

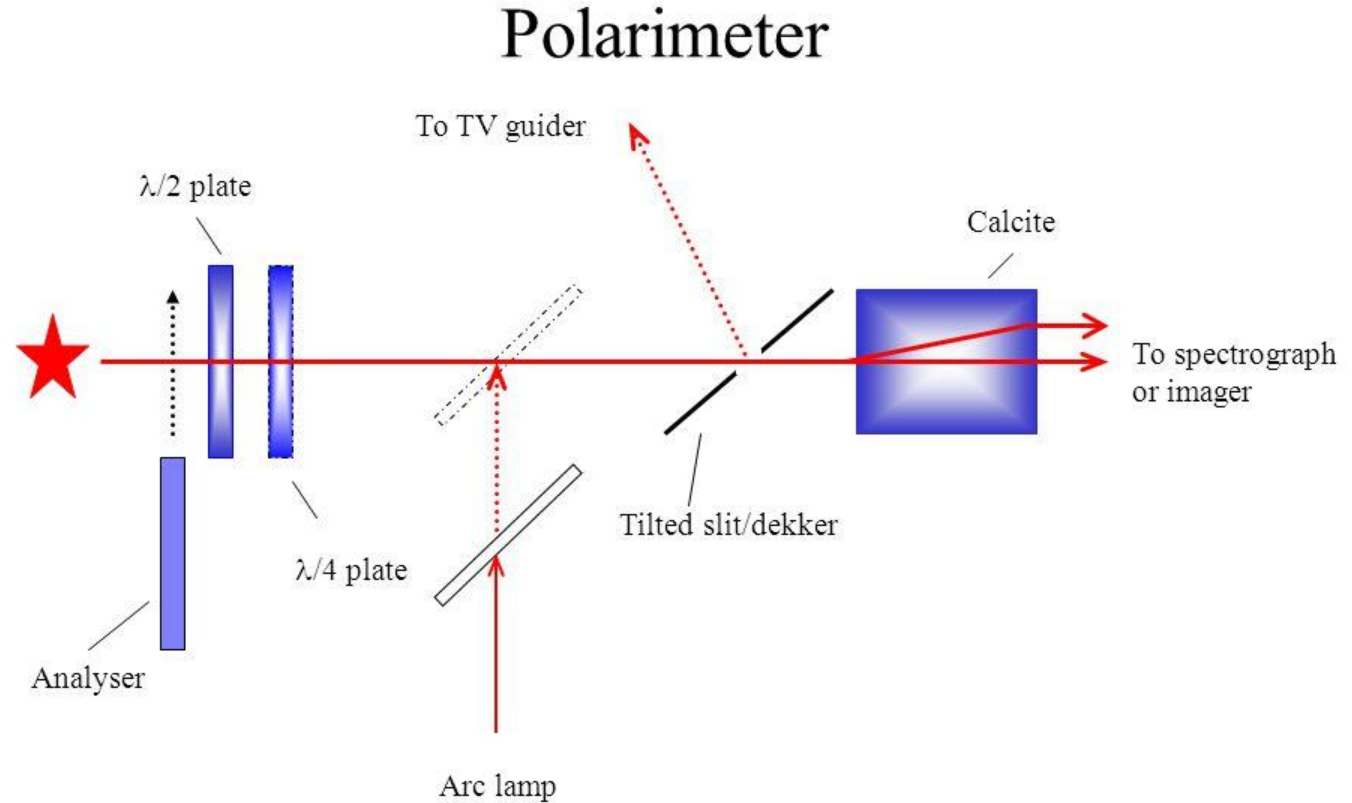
- Rendija
- Fibra óptica



Polarímetro

Analizador: Filtro de polarización

→ puede ser un prisma u otros objetos que filtran la luz polarizada en una u otra dirección

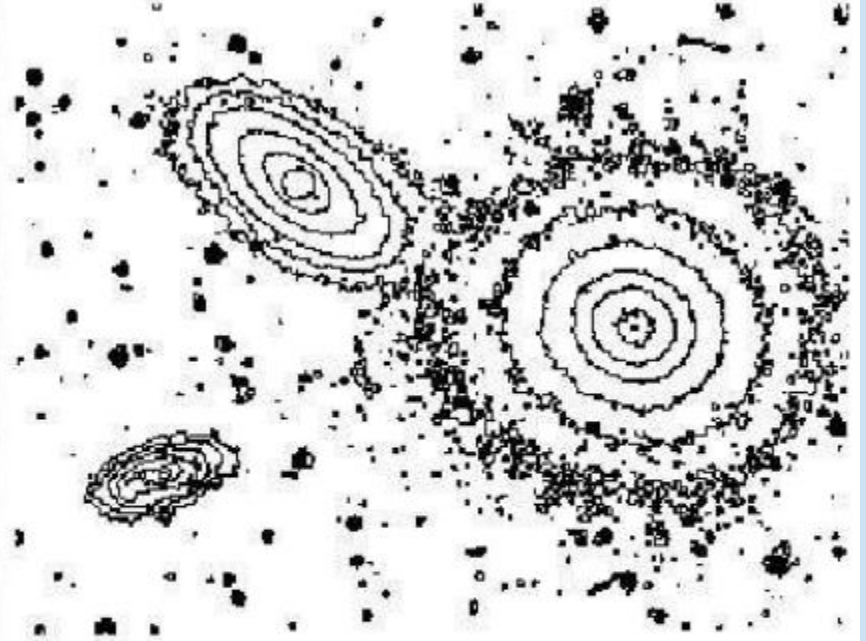
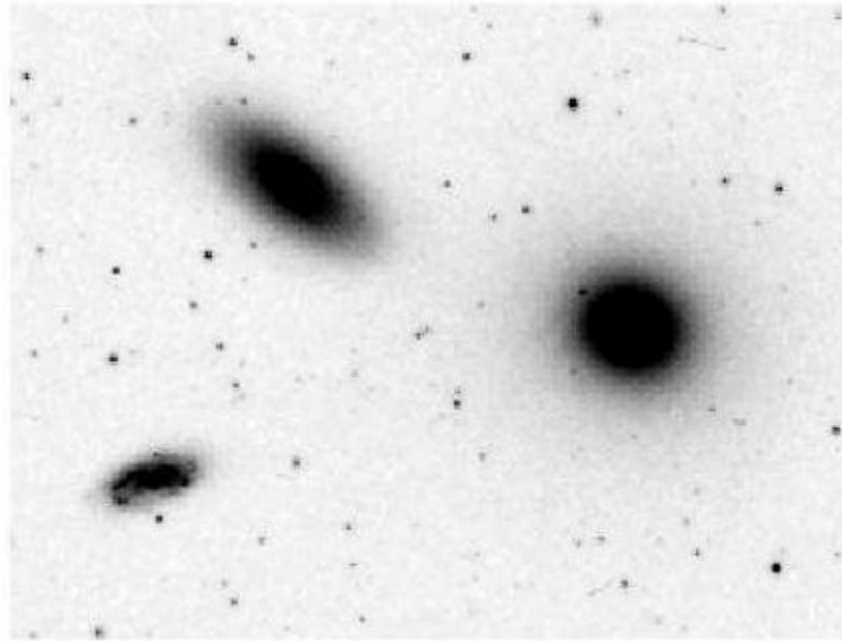


Fotometría: medir el flujo de un objeto

- Observar el objeto de interés usando filtros estándares y a diferentes masas de aire → requiere condiciones fotométricas (sin nubes)
- Observar un juego de estrellas estándares lo más cerca posible del objeto de interés con los mismos filtros y en condiciones fotométricas
→ Estrellas estándares: su brillo / flujo físico es conocido y comparable con el brillo en el sistema de filtros utilizado
- Comparar las magnitudes instrumentales de ambas y obtener el brillo / flujo físico del objeto de interés

- También se puede comparar con otros objetos conocidos (no necesariamente estrellas estándares → fotometría relativa
- O comparar directamente las magnitudes instrumentales → fotometría diferencial → útil para series de tiempo del mismo objeto

Fotometría superficial



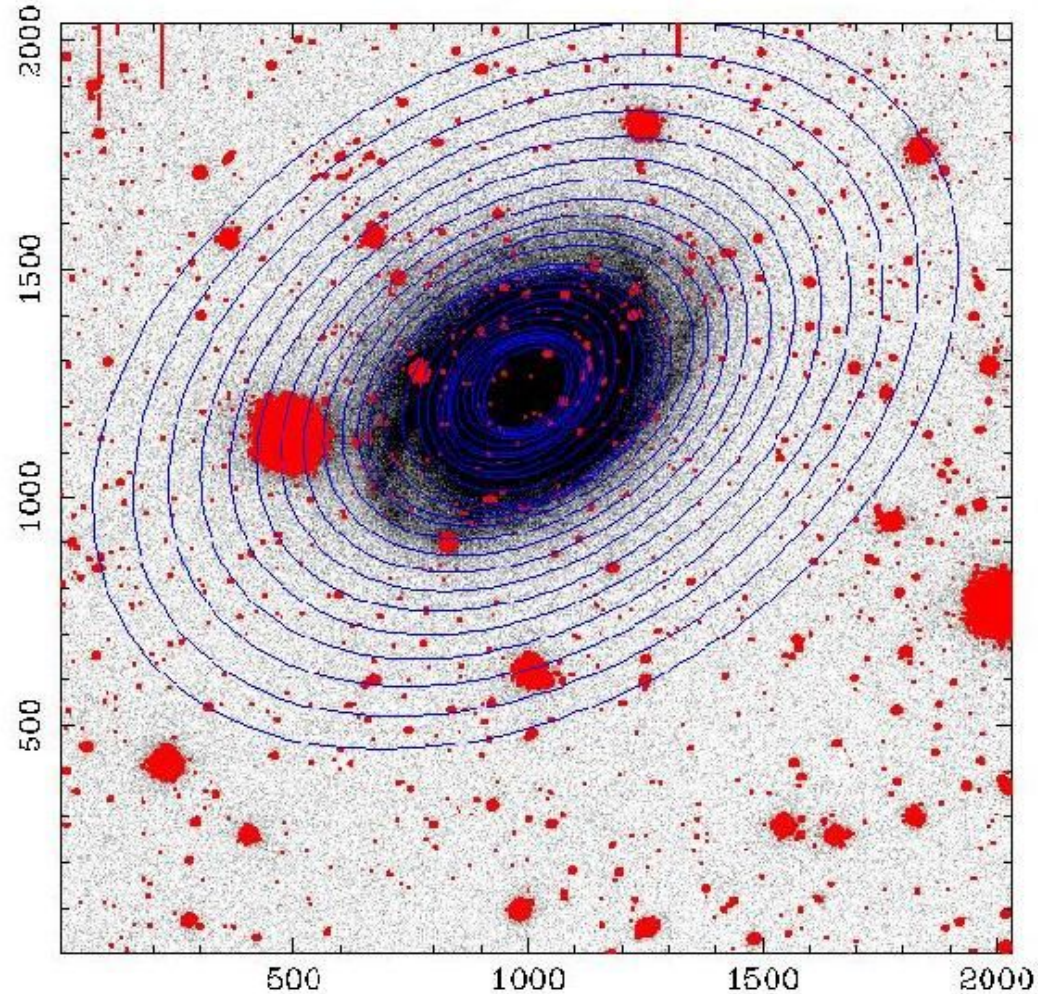
Elliptical galaxy NGC 3379 (right), NGC 3384 (top) and NGC 3389

Fotometría superficial

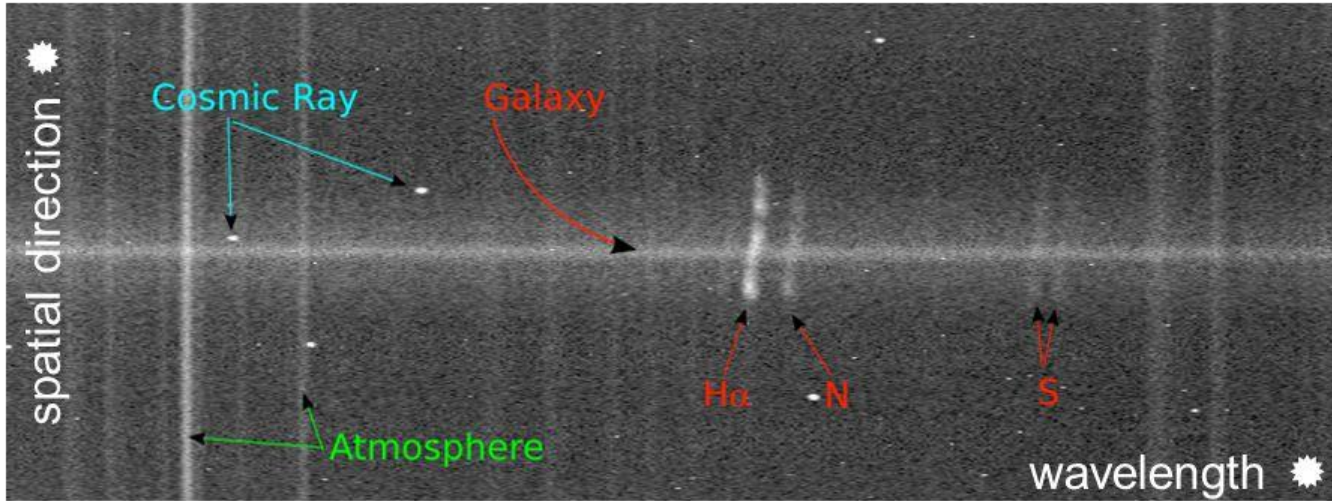
Ajuste de elipses

Perfil de brillo superficial

μ -- mag / arcsec²



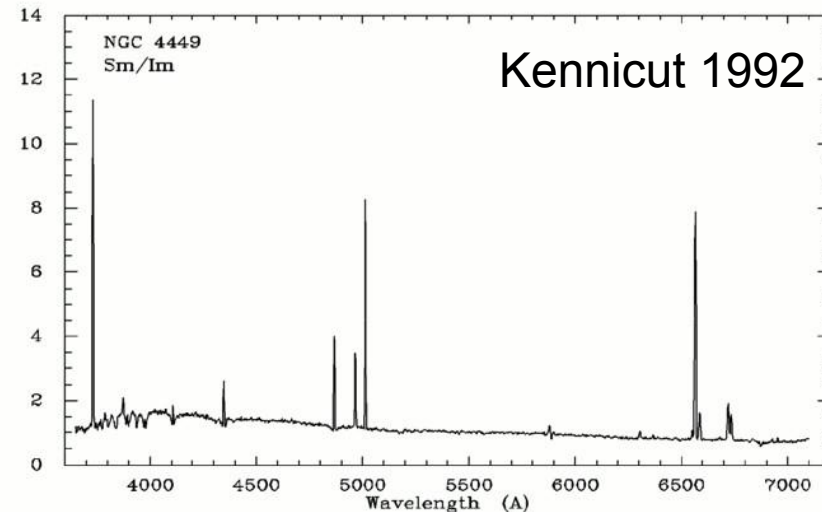
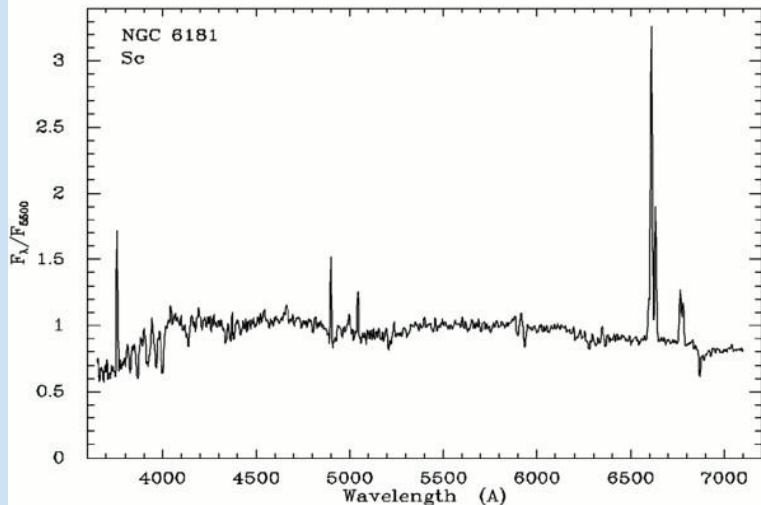
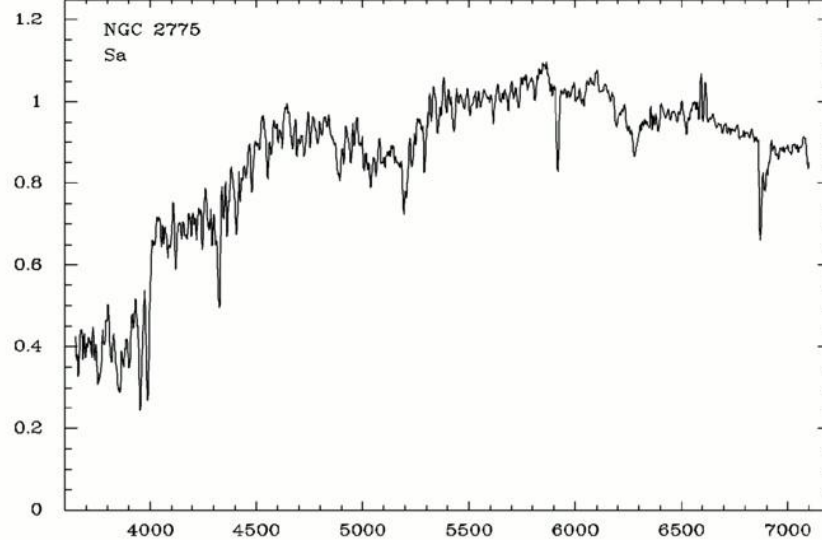
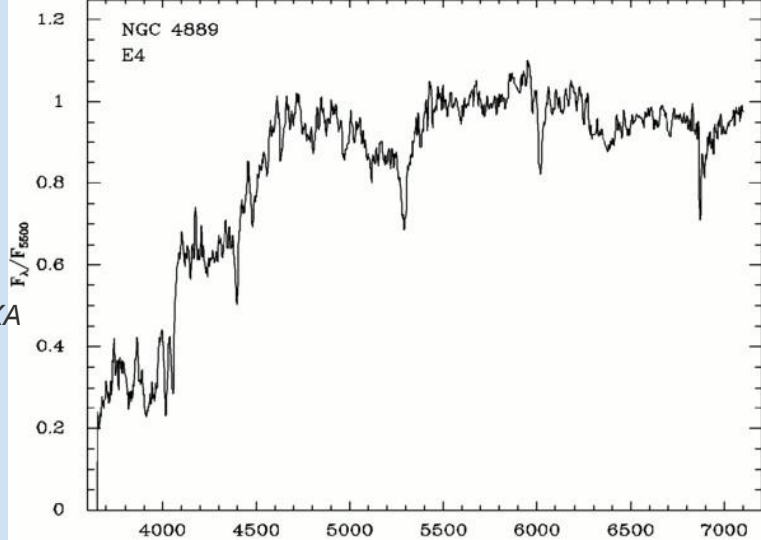
Example longslit spectrum



- high spectral resolution longslit spectrum of galaxy
- Continuum emission from stars, several emission lines from star forming regions in galaxy

van Boekel & Dullemond

ISAS/JAXA



Kennicutt 1992

Espectroscopía: fibra óptica / MOS (Multi Object Spectroscopy)



Fibras ópticas

Permite alimentar múltiples objetos al espectrógrafo al mismo tiempo

Placas metálicas perforadas con la posición de los objetos → objetos no extendidos

© SDSS-III / IV

Anne-Marie

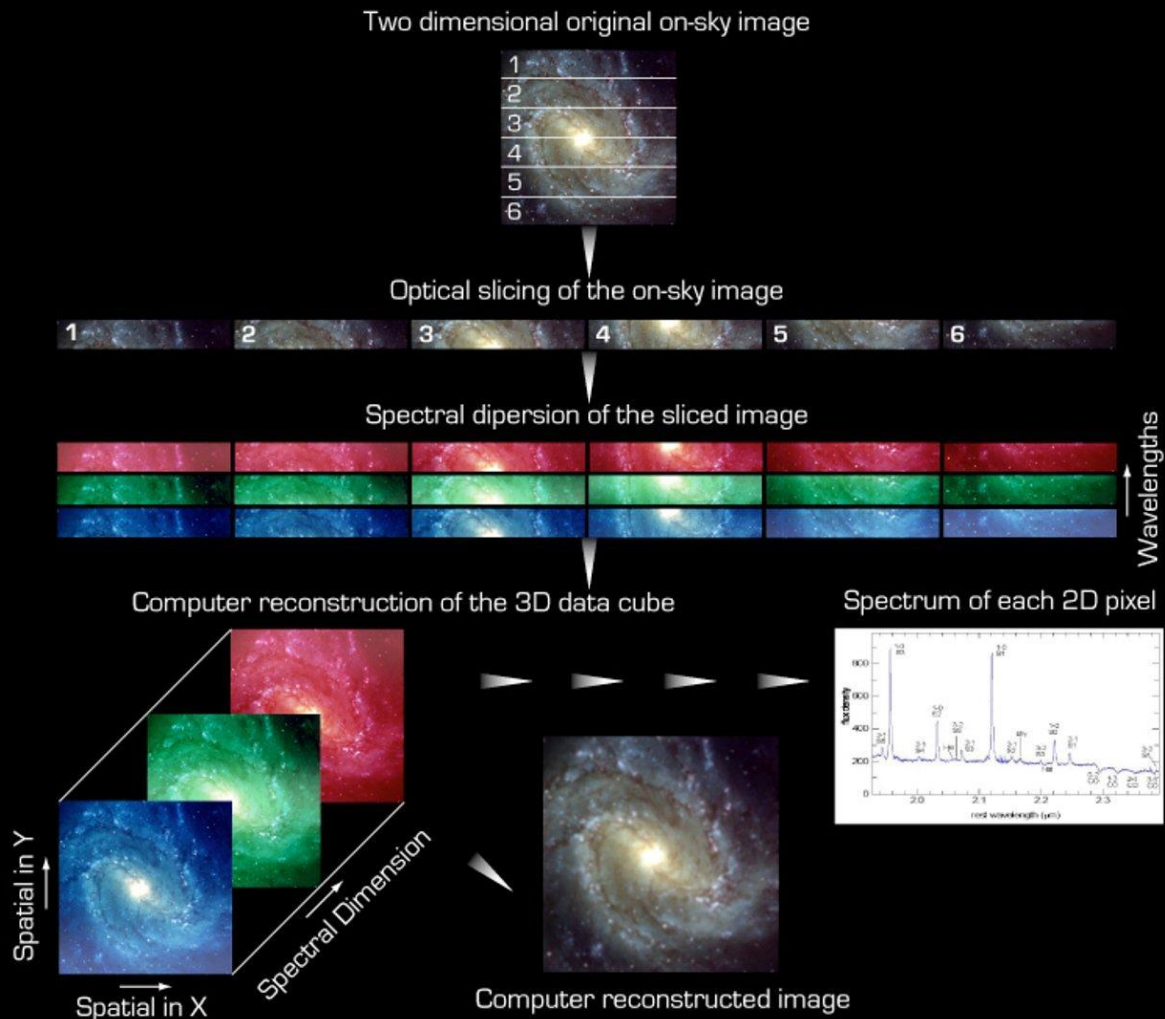
Weijmans (MaNGA)

Espectroscopía de campo integral

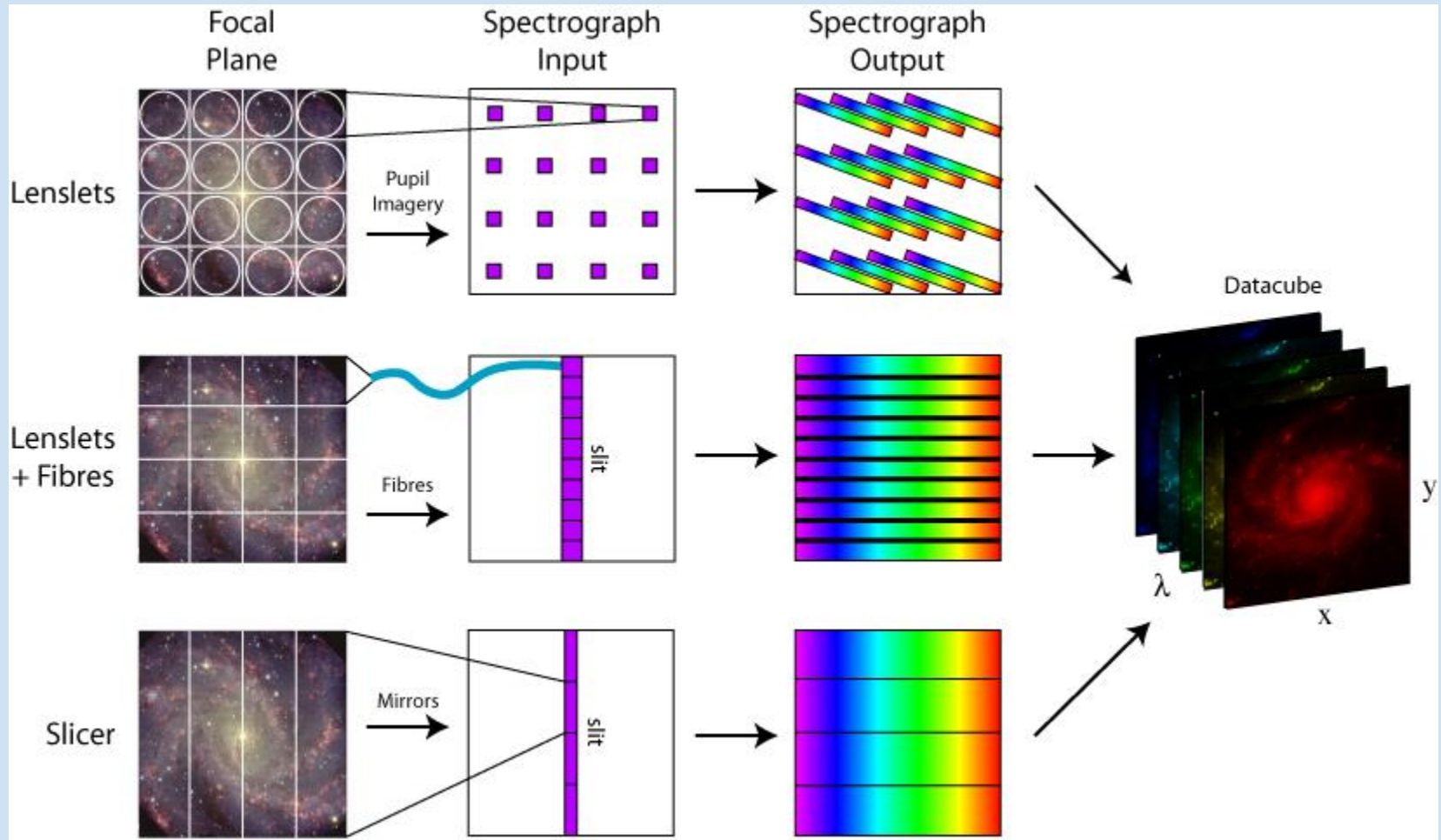
IFS: Integral Field Spectroscopy

IFU: Integral Field Unit (el instrumento)

Espectroscopía para objetos extendidos en el cielo

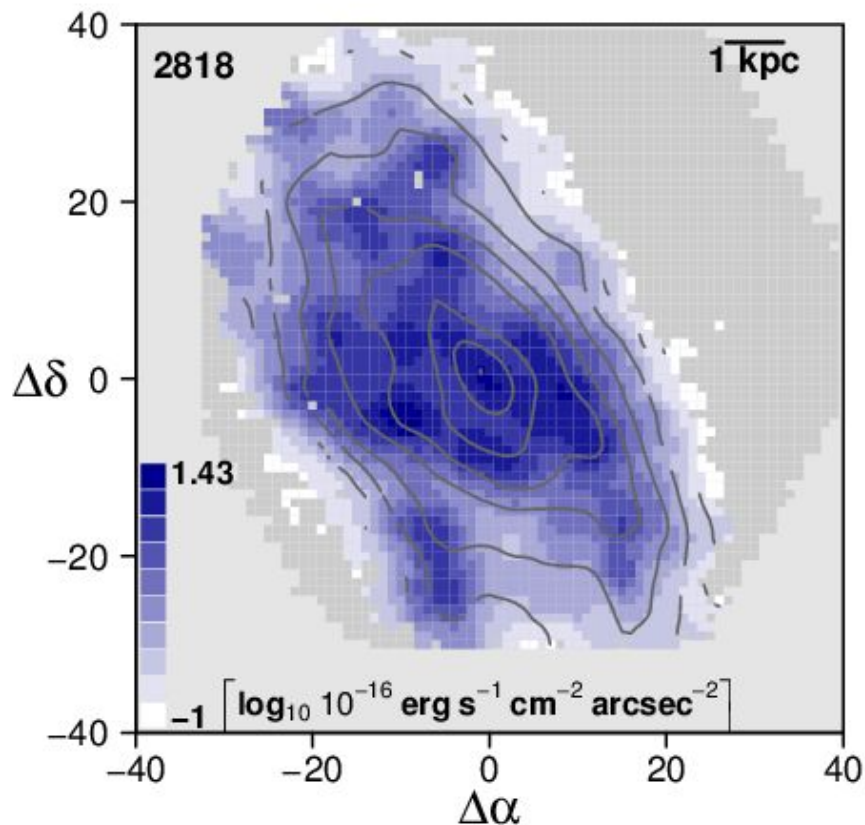


Espectroscóia de campo integral (IFS)

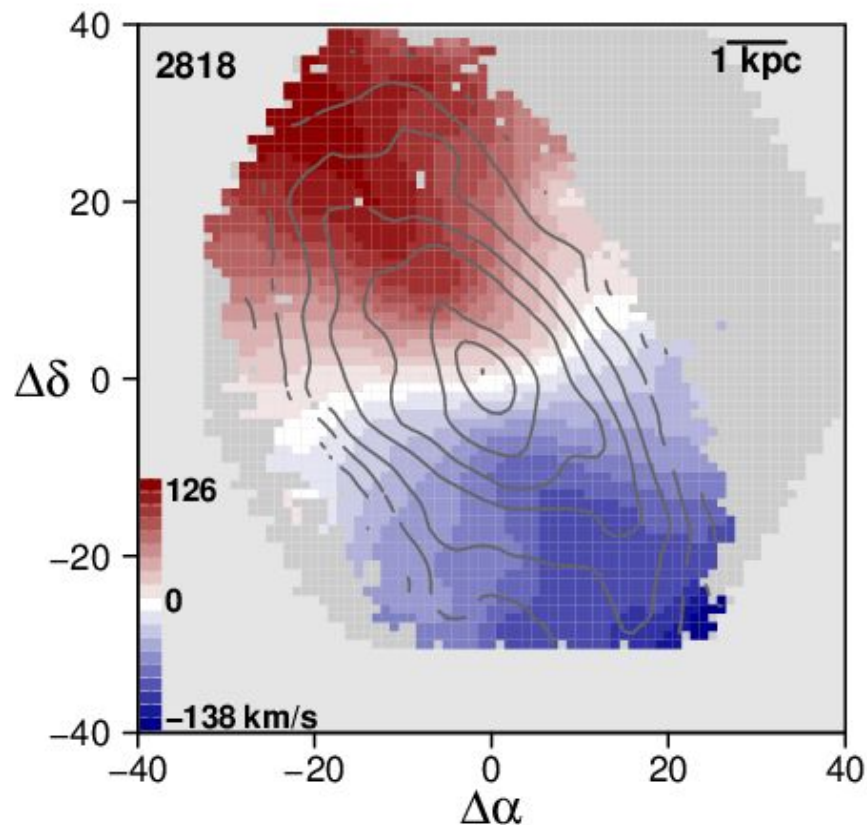


Mapas de intensidad y velocidad

IC1151 H α intensity map



IC1151 H α velocity map



Técnicas de astronomía: mini-resumen

Fotometría: brillo, luminosidad (si hay otras relaciones) integrada (total, 1 D) o perfiles de brillo superficial (2D); colores: temperatura de las estrellas / poblaciones estelares

Polarimetría: campos magnéticos, polvo

Espectroscopía: composición química, dinámica, tipos estelares / poblaciones estelares (datos en 2D)

Espectroscopía de campo integral: espectroscopía en objetos extendidos (2D, datos en 3D)