

# Astrofísica moderna

En la segunda parte de esta asignatura tratamos la historia de la astronomía en los últimos 60-80 años.

## La visión del universo en los años 1930

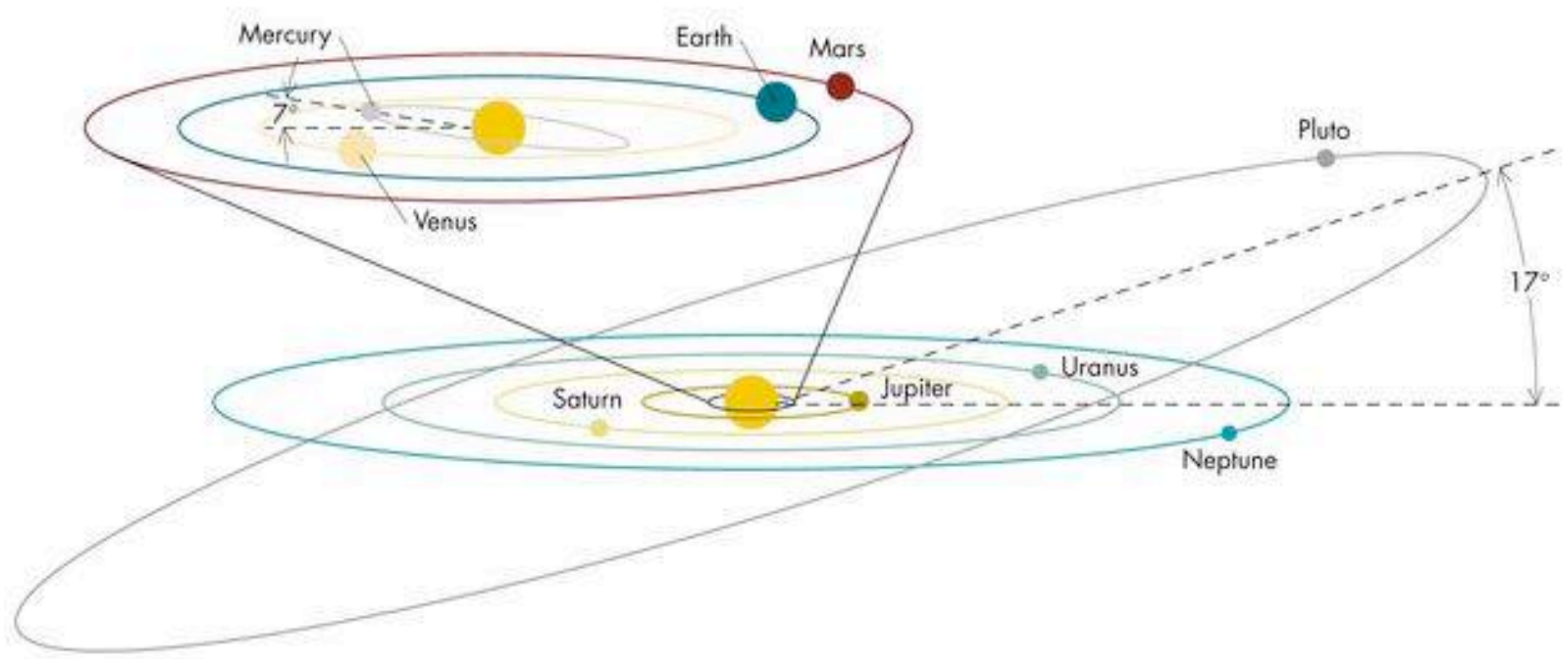
1. Sistema solar
  2. Estrellas
  3. Galaxias
  4. Universo (Cosmología)
- ¿Qué se sabía en este momento?
  - ¿Cuáles eran las preguntas abiertas en este momento?
  - ¿Qué se desconocía (de lo que sabemos hoy)?

# La visión del universo en los años 1930

## 1. Sistema solar:

### Conocimientos

- Se entendían los movimientos de los planetas
- Se conocían todos los planetas (Pluto - que ya no es planeta -- solo en 1930)
- Se conocían cometas y asteroides



# La visión del universo en los años 1930

## 1. Sistema solar:

### Conocimientos

- Se entendían los movimientos de los planetas
- Se conocían todos los planetas
- Se conocían cometas y asteroides

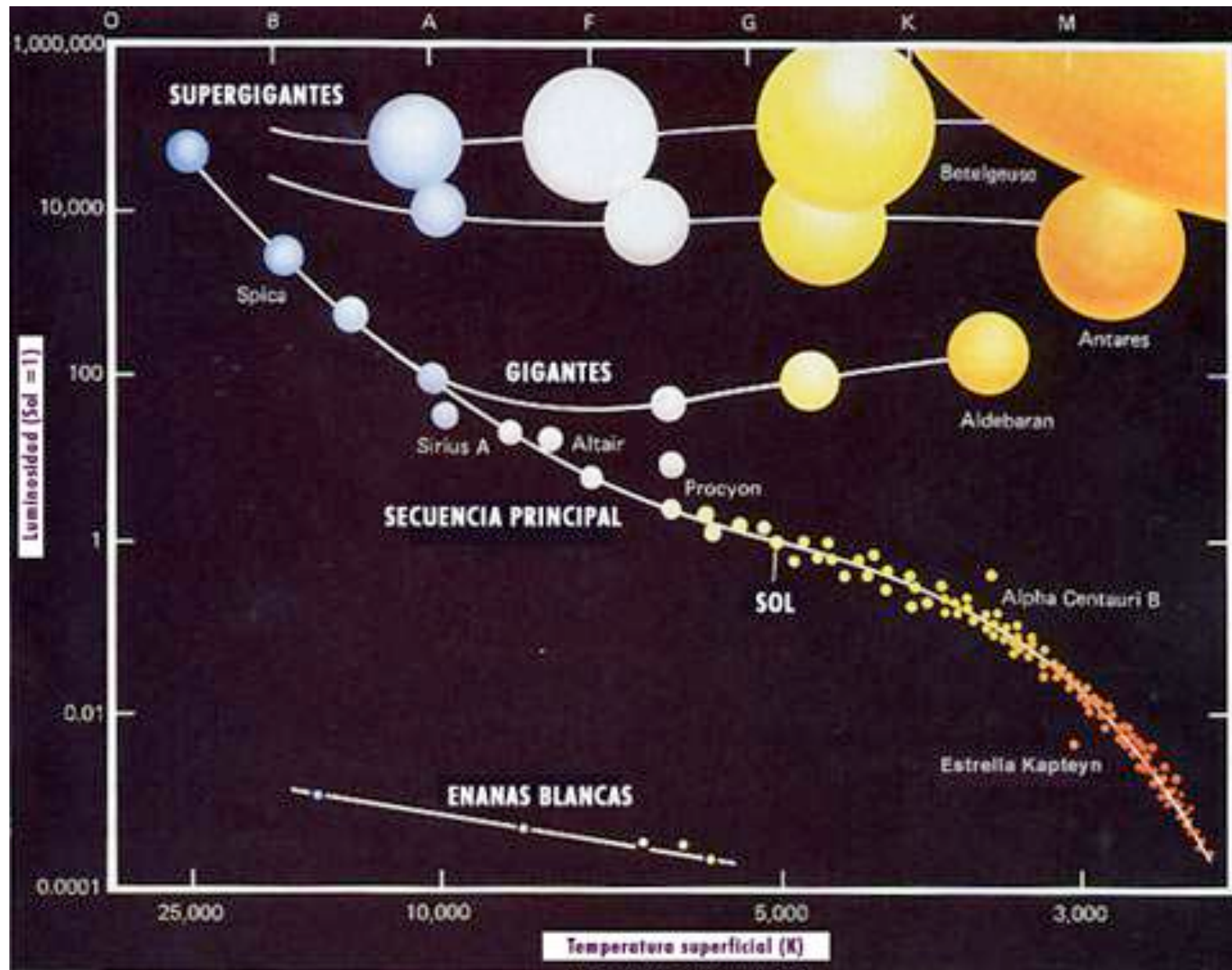
### Falta de conocimientos

- Detalles de las propiedades de los planetas
- Formación del sistema solar
  - Origen de cometas (nube de Oort 1950)
  - Existencia de más objetos en las partes externas del sistema solar (objetos de cinturón de Kuiper)

## 2. Estrellas

### Conocimientos

- Distribución en el cielo, catálogos
- Clasificación, diagrama Hertzsprung-Russell
- 1939: Bethe propone mecanismo correcto de fusión nuclear como fuente de energía de las estrellas
- Existencia de enanas blancas, observacional y teórico (1931 calculó Chandrasekhar la masa límite)



## 2. Estrellas

### Conocimientos

- Distribución en el cielo, catálogos
- Clasificación, diagrama Hertzsprung-Russell
- 1939: Bethe propone mecanismo correcto, de fusión nuclear como fuente de energía de las estrellas
- Existencia de enanas blancas, observacional y teórico (1931 calculó Chandrasekhar la masa límite)

### Falta de conocimientos

- Detalles de los procesos de fusión
- Formación de estrellas
- Evolución estelar
- Existencia y física de agujeros negros (aunque propuestos ya en el siglo 1800).

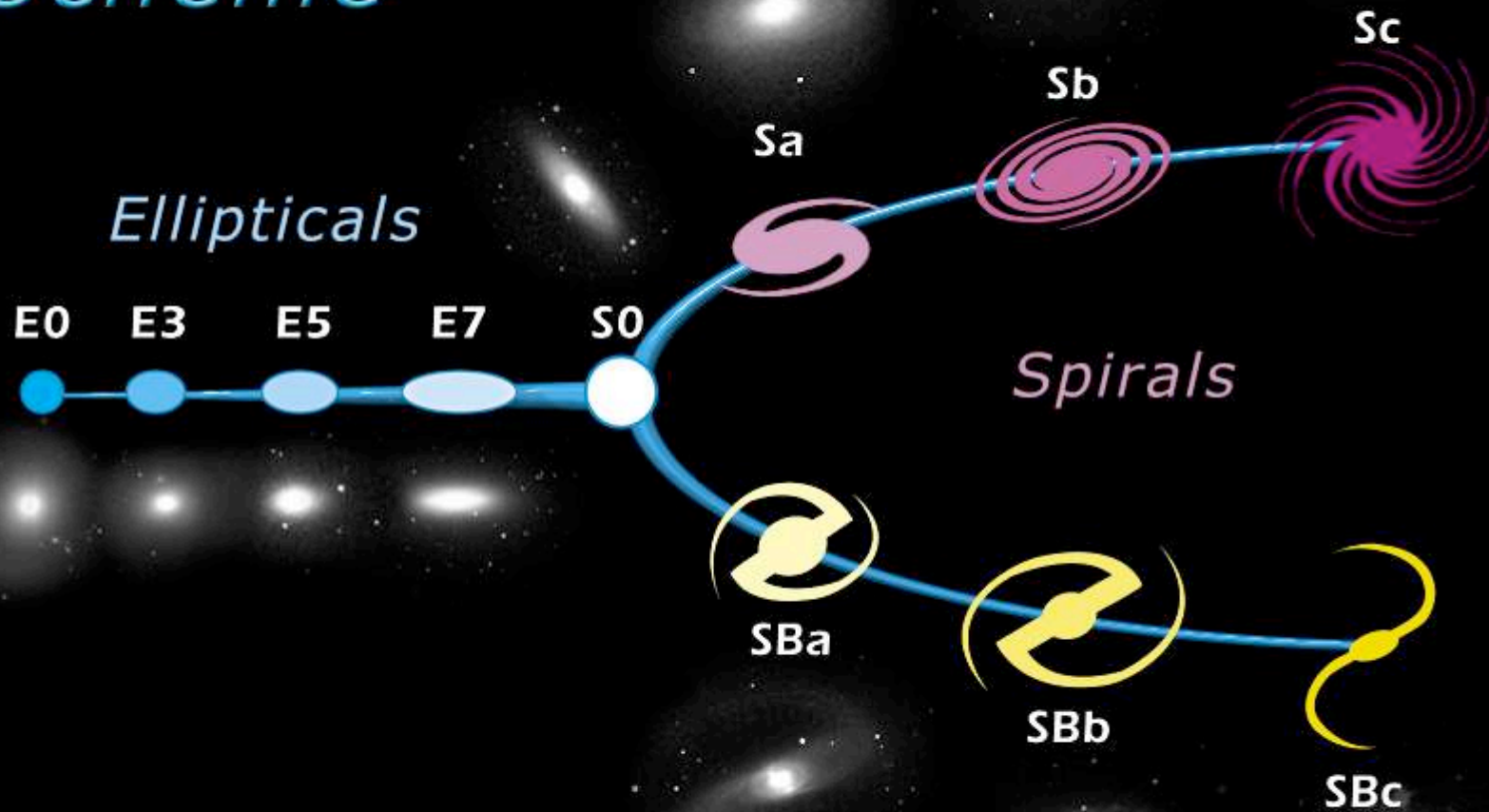
# 3. Galaxias

## Conocimientos:

- Nuestra Galaxias:
  - Forma y dimensión
  - Medio interestelar: polvo interestelar
- Algunas "nebulosas" son galaxias (debido a la determinación de distancia de Hubble)
- Clasificación de galaxias de Hubble



# Edwin Hubble's Classification Scheme



# 3. Galaxias

## Conocimientos:

- Nuestra Galaxias:
  - Forma y dimensión
  - Medio interestelar: polvo interestelar
- Algunas nebulosas son galaxias (debido a la determinación de distancia de Hubble)
- Clasificación de galaxias de Hubble

## Falta de conocimientos

- Muchos componentes del medio interestelar: gas atómico y molecular, gas muy caliente, distribución y propiedades de rayos cósmicos
- Otros tipos de galaxias:
  - Galaxias con núcleos activos, radiogalaxias
  - Galaxias con brote de formación estelar
- Evolución de galaxias

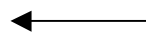
# 4. Universo

## Conocimientos

- Fuera de nuestra Galaxia existen otras galaxias
- Expansión del universo
- Relatividad general → existencia de diferentes geometrías para el espacio-tiempo



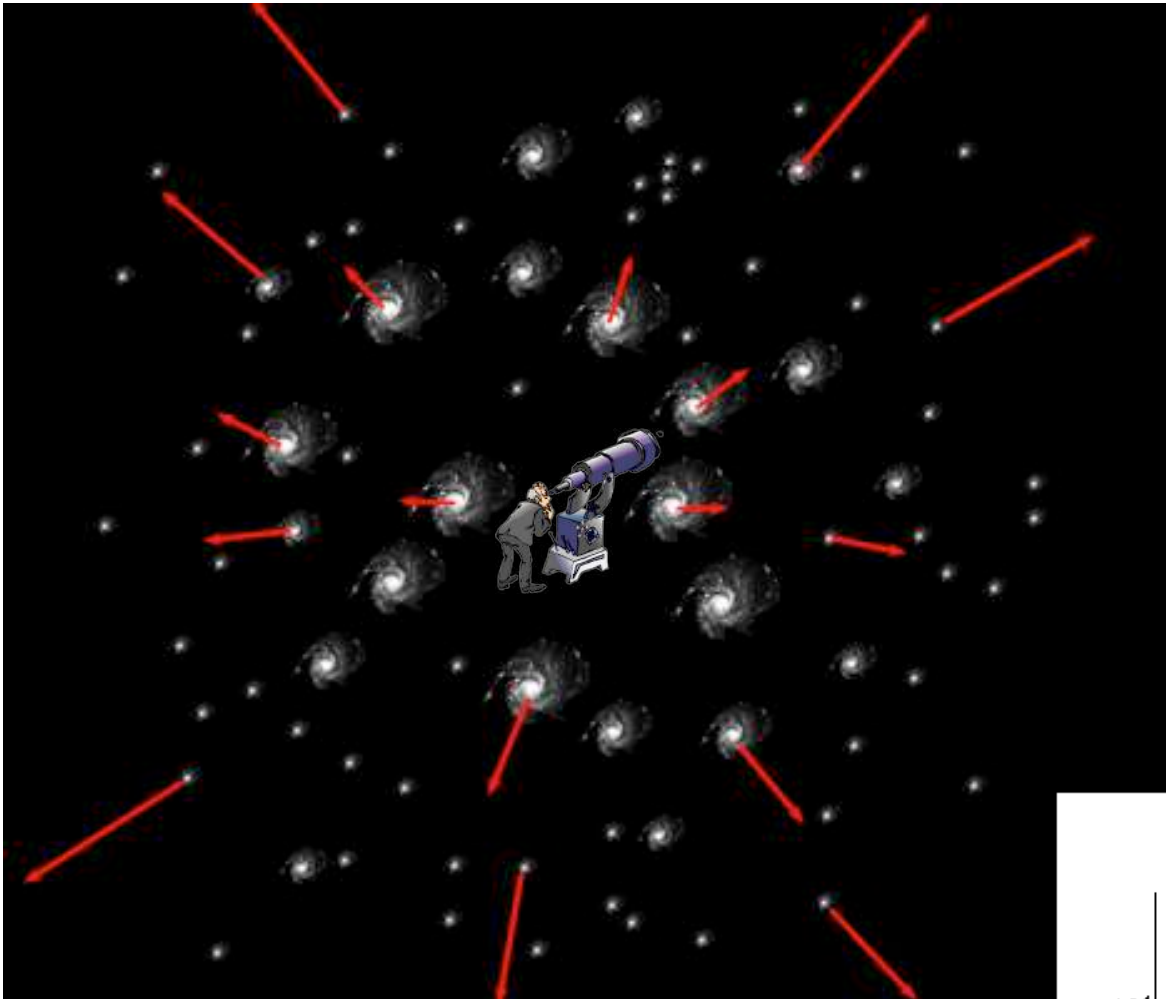
Nuestros vecinos: Galaxias del grupo local



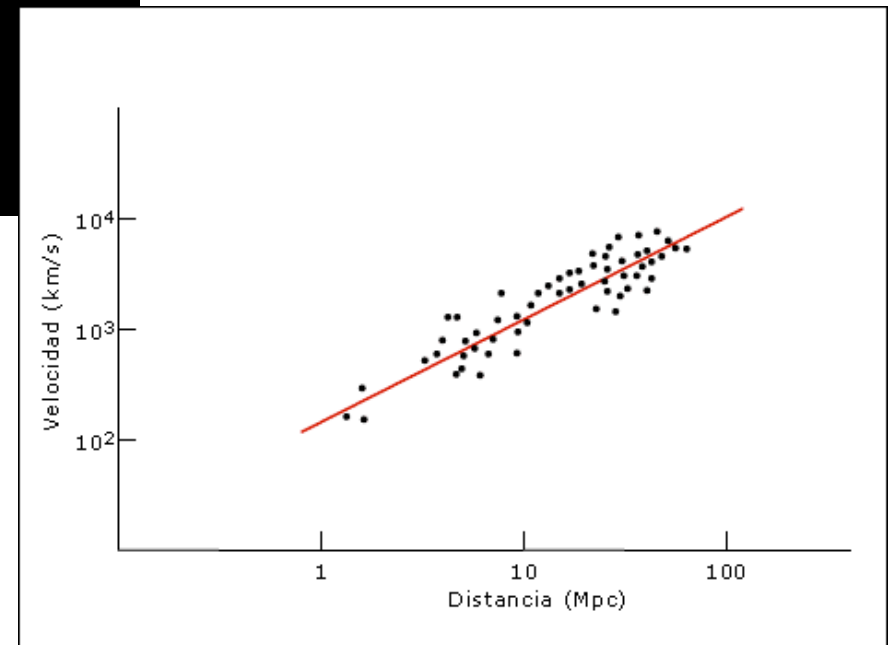
Galaxia Andromeda

Nubes de Magellanes





Ley de Hubble:  
Cuanto más lejos está una  
galaxias, más alta es su  
velocidad de recesión



# 4. Universo

## Conocimientos

- Fuera de nuestra Galaxia existen otras galaxias
- Expansión del universo
- Relatividad general → existencia de diferentes geometrías para el espacio-tiempo

## Falta de conocimientos

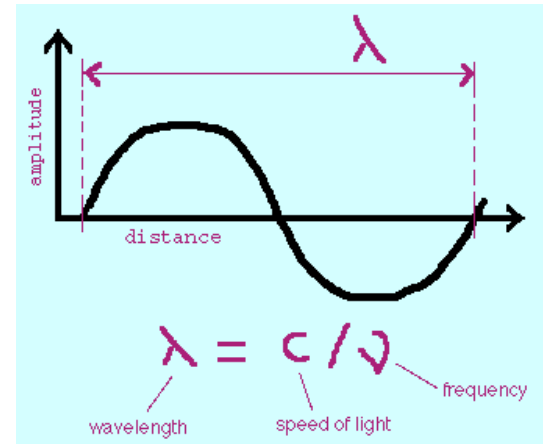
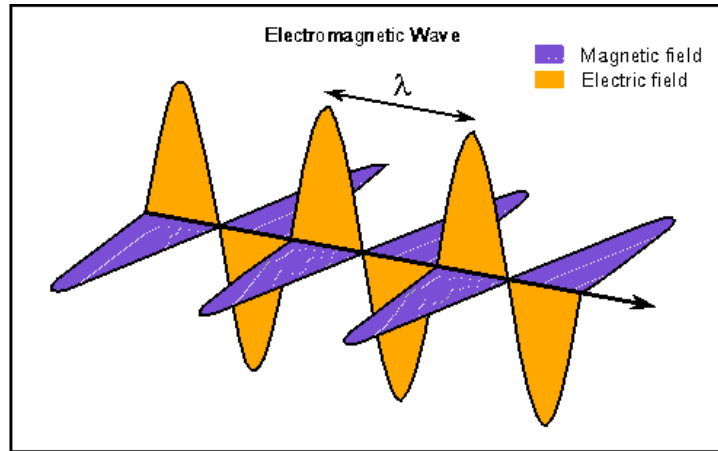
- **Modelo estándar del origen del universo: Big Bang**
  - Falta observación de radiación de fondo
- Propiedades de galaxias lejanas
- Estructura a gran escala
- Evolución del universo

# Avances desde entonces debido a:

1. Se ha abierto todo el rango de longitudes de ondas de la radiación electromagnética (de radio hasta rayos gama). Eso es importante porque en astronomía es una ciencia
  - Casi toda la información a través de radiación (luz)
  - Excepción: materia recogida (de la Luna, Martes), meteoritos, rayos cósmicos, astronomía de neutrinos
  - No se pueden hacer experimentos
  - Importante de aprovechar toda la información.
2. Avances tecnológicos en instrumentación astronómica más sensibilidad y resolución
  - Nuevas técnicas
  - Nuevos tipos de detectores digitales
  - Uso de semiconductores permiten desarrollar nuevos detectores
  - Mejoras en potencia de ordenadores → modelos numéricos de los procesos físicos han sido posible
3. Más astrónomos profesionales
  - La IAU (Unión Internacional de Astronomía se fundó en 1919. En la primera asamblea en 1922 había 200 miembros, en la asamblea en 2003 9100)
4. Se realizan grandes proyectos, colaboraciones internacionales
  - En ~ 1900 trabajaban pequeños grupos de astrónomos, con frecuencia con telescopios privados
  - Hoy: Grandes proyectos (satélites, grandes telescopio) que son con frecuencia solamente posible en colaboraciones grandes

# La "doble naturaleza" de la luz

1) La luz es **radiación electromagnética**. Tiene propiedades de **onda** que es caracterizada por su frecuencia (o longitud de onda)



Velocidad de la luz  
en el vacío:  
 $c \approx 300\,000 \text{ km/s}$

2) La luz también tiene propiedades de partículas. Las partículas de la luz son **fotones**. Su energía, **E**, se relaciona con la frecuencia,  **$\nu$** , como:

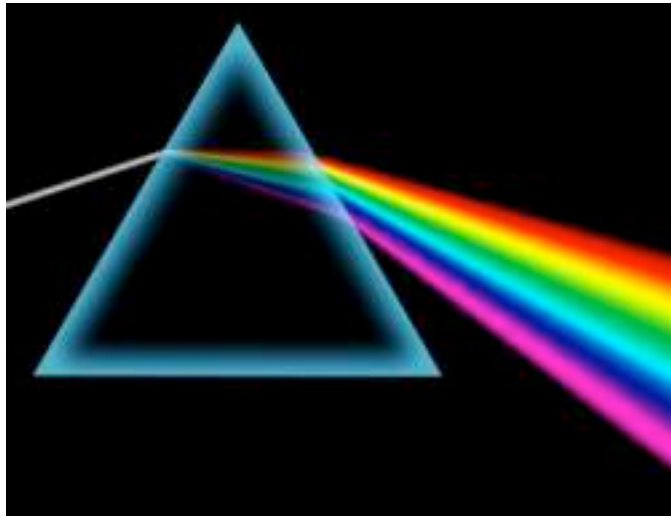
$$E = h \nu = h c / \lambda$$

(donde h es la constante de Planck)

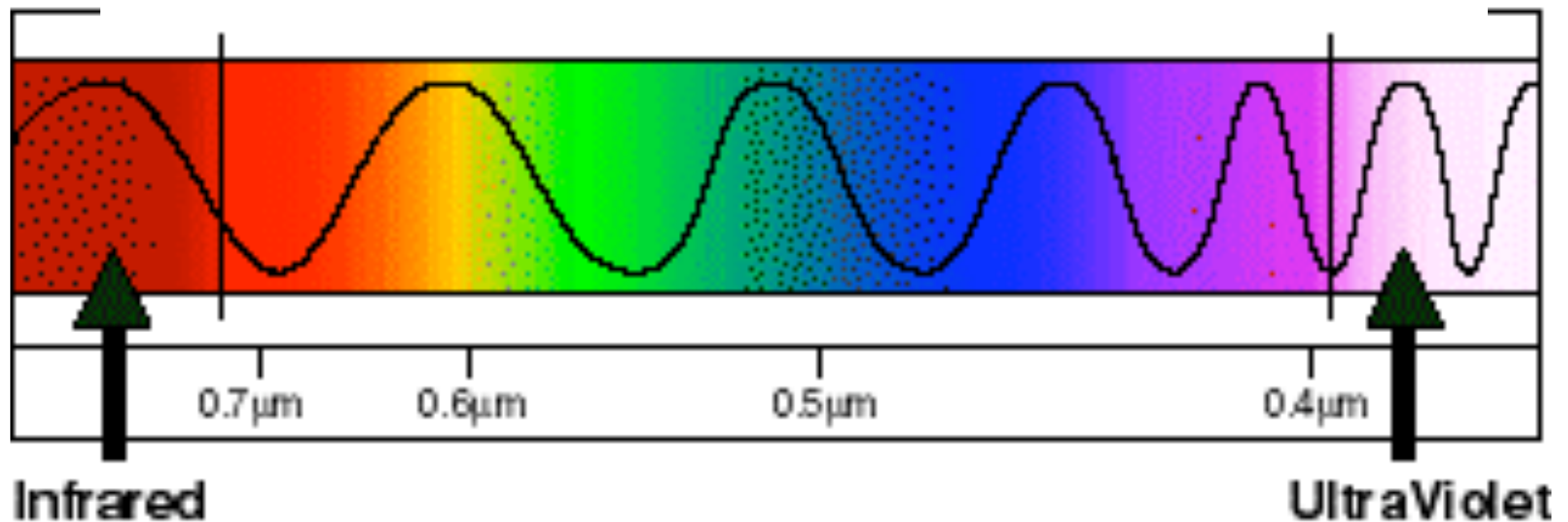
- Longitud de onda larga (frecuencia baja) → baja energía
- Longitud de onda corta (frecuencia alta) → alta energía

La mecánica cuántica explica estos dos aspectos de la naturaleza en una teoría.

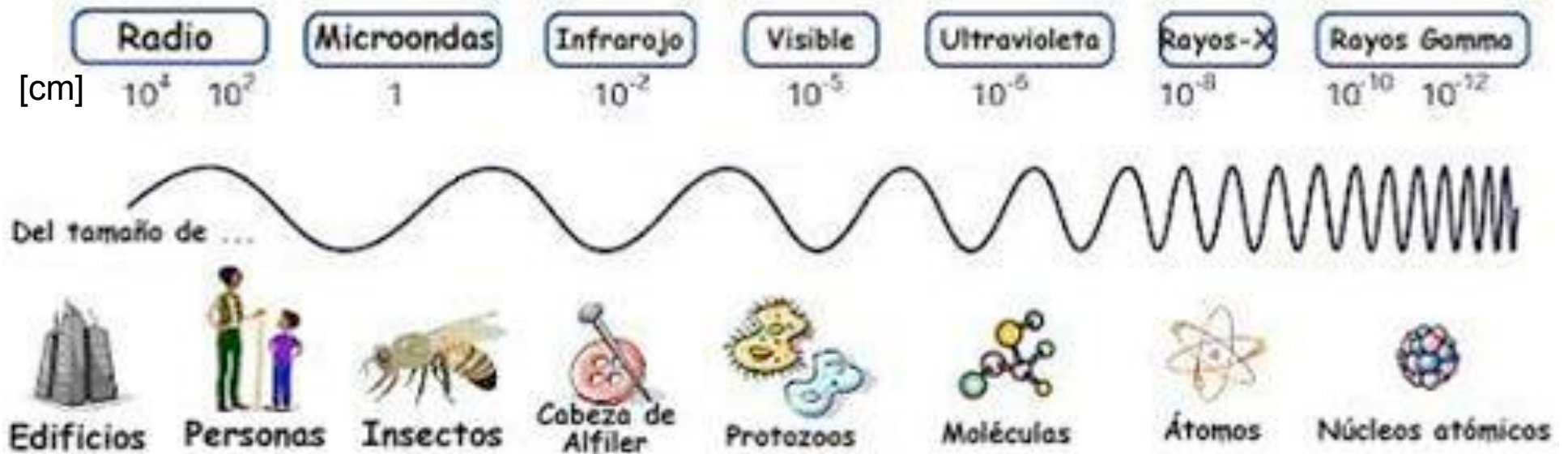




## Espectro electromagnético visible

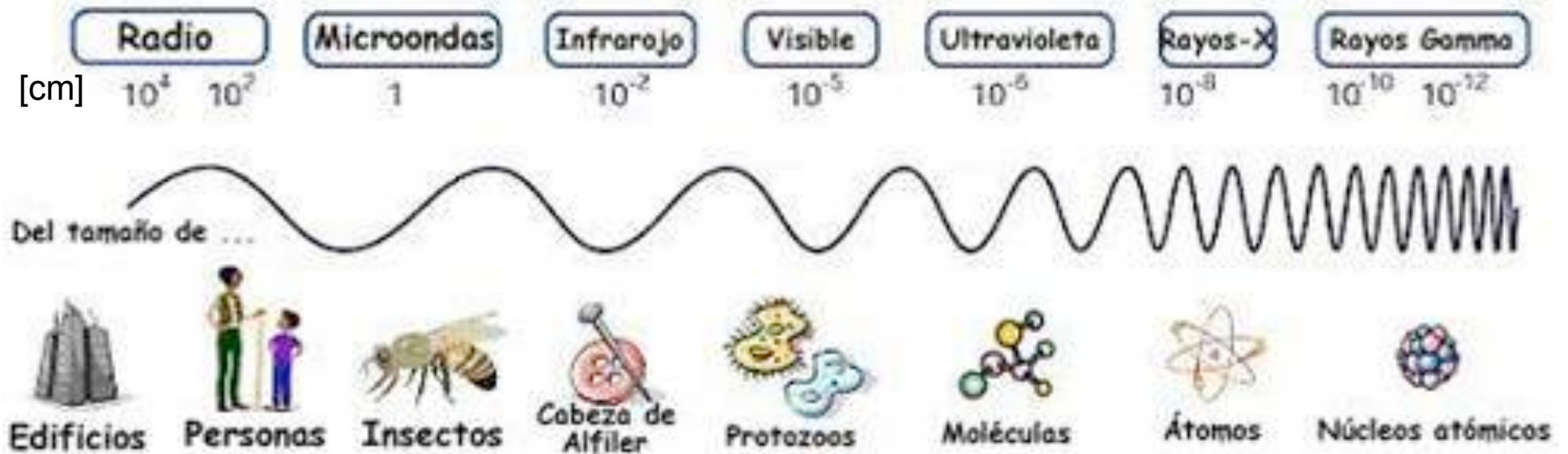


# Espectro electromagnético entero



¿Qué se puede observar en cada longitud de onda?

# Espectro electromagnético entero



## Gas y partículas frías

Hidrógeno atómico      Polvo interestelar

Moléculas

Estrellas  
Gas caliente

## Gas muy caliente

Procesos relativistas:

- estrellas de neutrones
- agujeros negros

.....

# Observamos la Vía Láctea

En el óptico vemos estrellas, zonas oscurecidas por el polvo interestelar y gas ionizado.



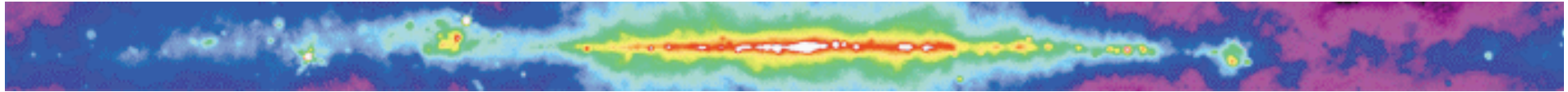
Visto desde la hemisferia norte



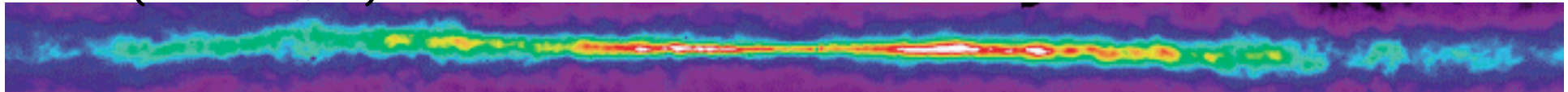
...y de la hemiferia sur

# La Vía Láctea en.....

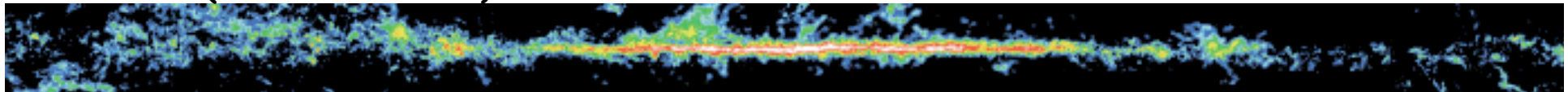
Radio



Radio (Gas atómico)



Radio mm (Gas molecular)



Óptico



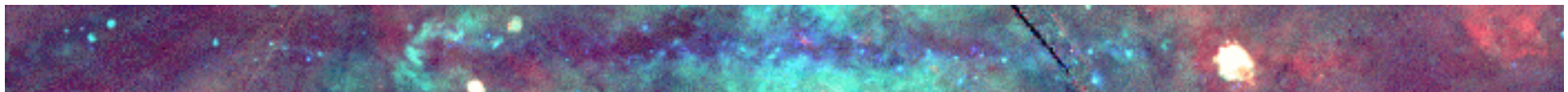
Infrarrojo cercano



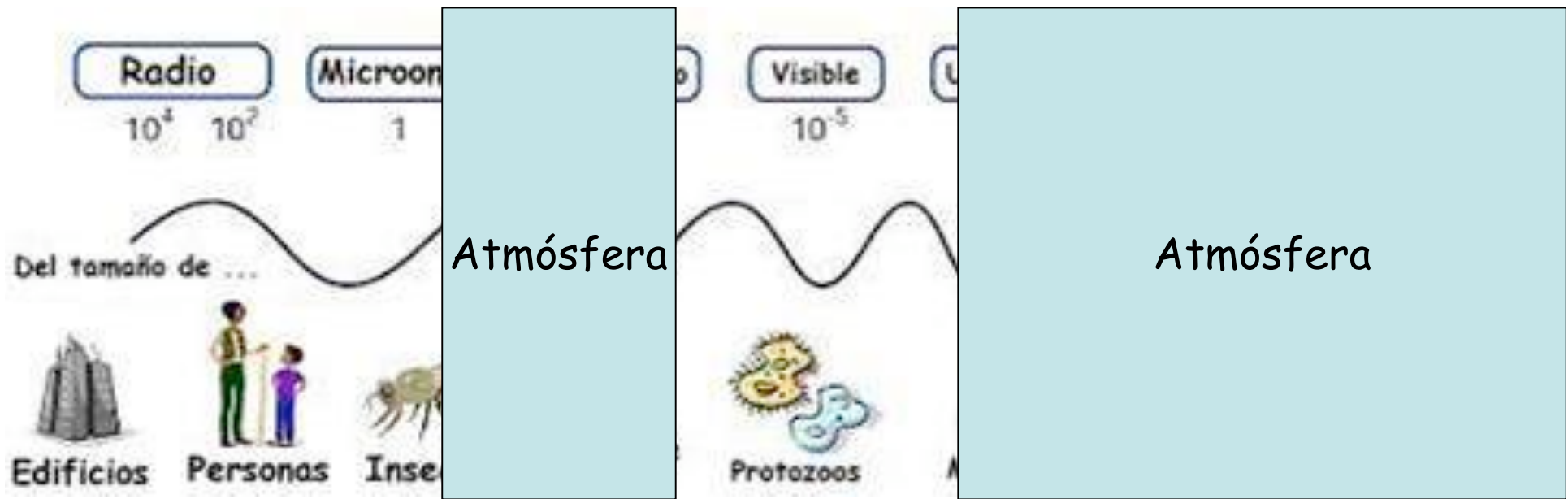
Infrarrojo lejano



Rayos X



# Espectro electromagnético entero



Gas y partículas frías

Hidrógeno atómico

Polvo interestelar

Moléculas

Estrellas

Gas caliente

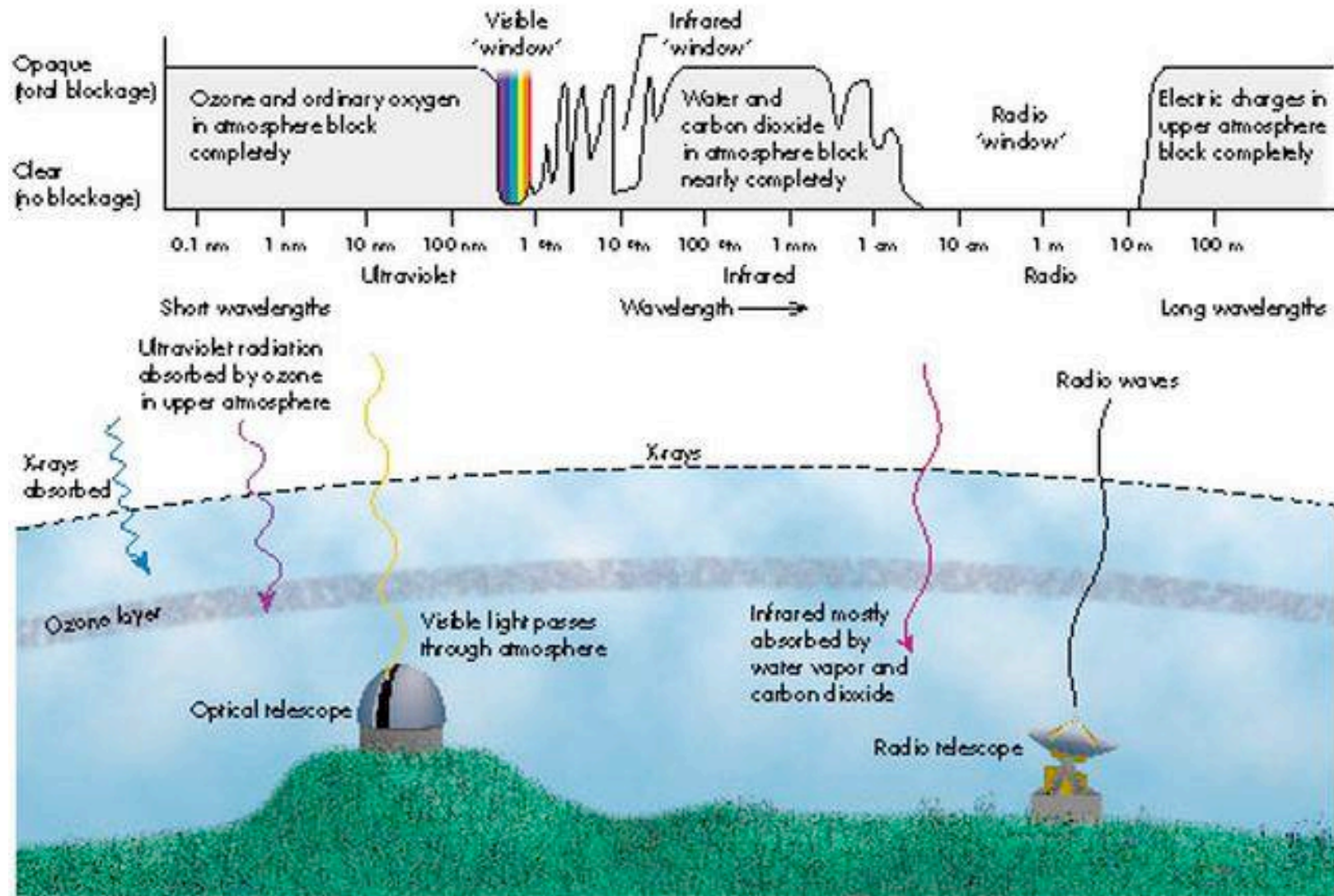
Gas muy caliente

Procesos relativistas:

-estrellas de neutrones

-agujeros negros

# Absorción atmosférica



# Consecuencias para telescopios

## Visible:

Telescopios pueden estar en la superficie de la Tierra

## Infrarojo:

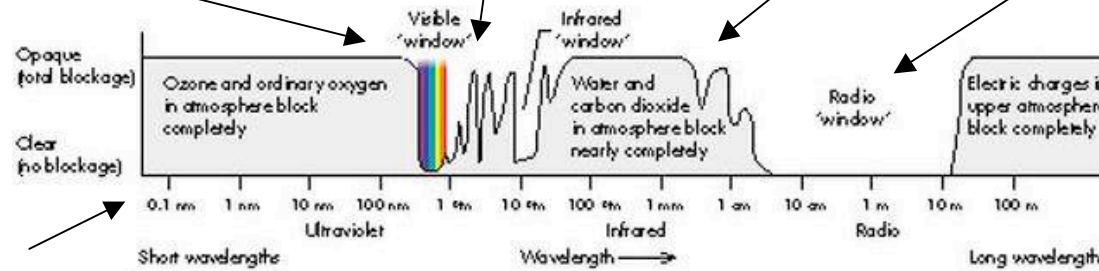
Cercano: Se puede observar desde la superficie de la Tierra  
Lejana: Se necesitan satélites

## Radio mm:

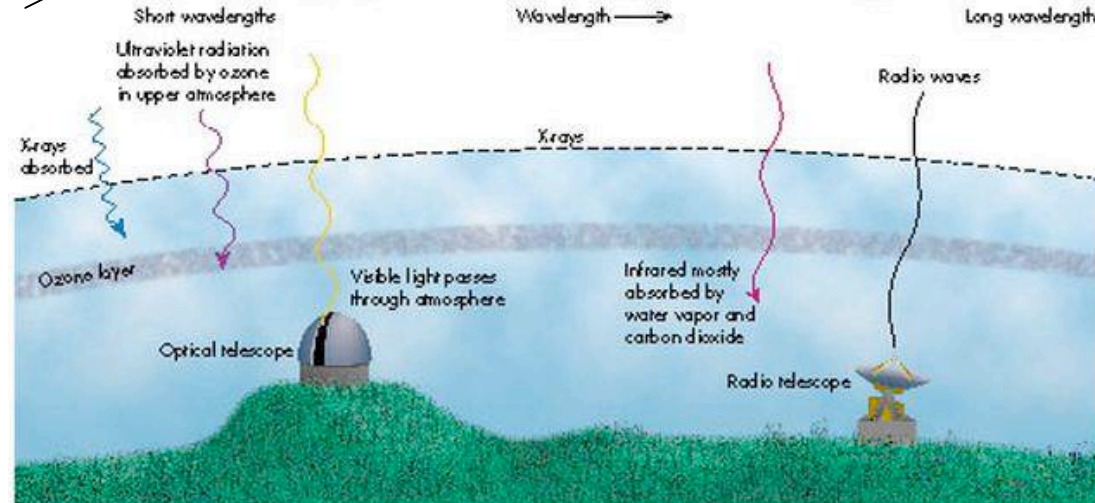
Telescopios a gran altura, en lugares secos .  
Satélites ayudan

UV: Satélites, cohetes, globos

Radio cm: Telescopios pueden estar a la altura del mar



Rayos x y gamma: Satélites, cohetes





# Mecanismos de radiación

- Emisión continua
  - Emisión térmica (o emisión de un "cuerpo negro")
  - Otros:
    - Radiación sincrotrón
    - Emisión radio térmica
- Líneas espectrales de átomos y moléculas

# Emisión de cuerpo negro

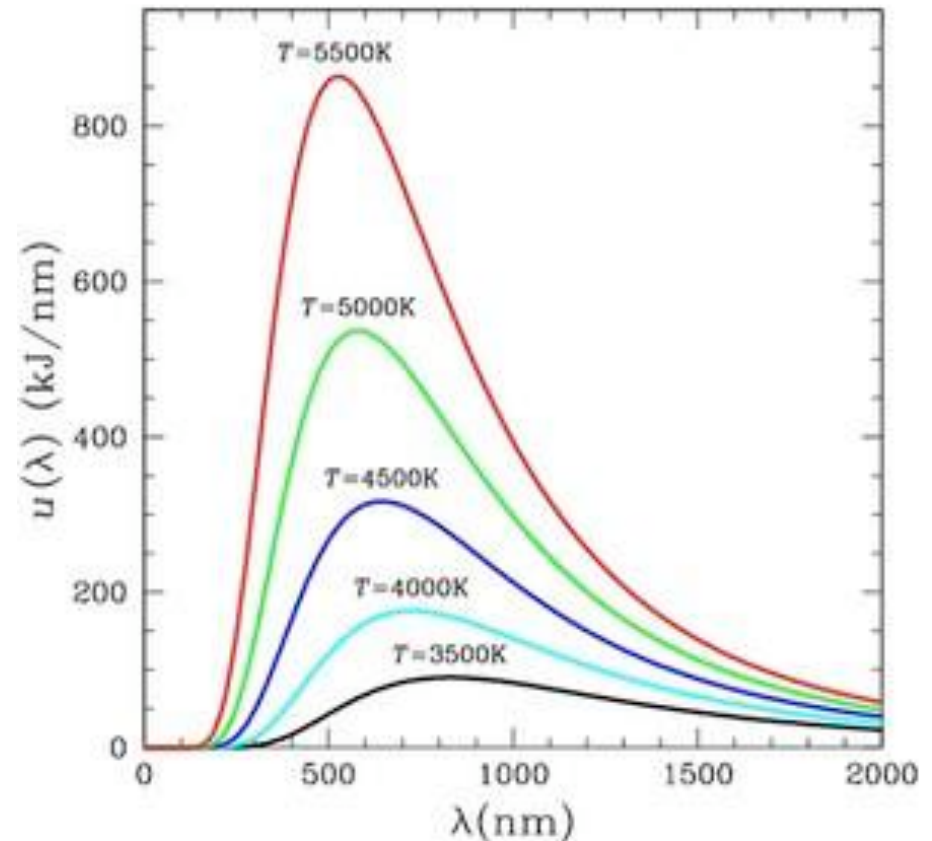
Cuerpo negro ideal: Cuerpo que absorbe toda la radiación que entra. Es un **absorbente y emisor perfecto**.

Los fotones que emite están en equilibrio termodinámico (la emisión se llama también "emisión térmica")

El cuerpo negro tiene una **temperatura determinada** espectro depende solamente de la temperatura.

Ejemplos:

- Buen cuerpo negro: gráfita
- Mal cuerpo negro: espejo

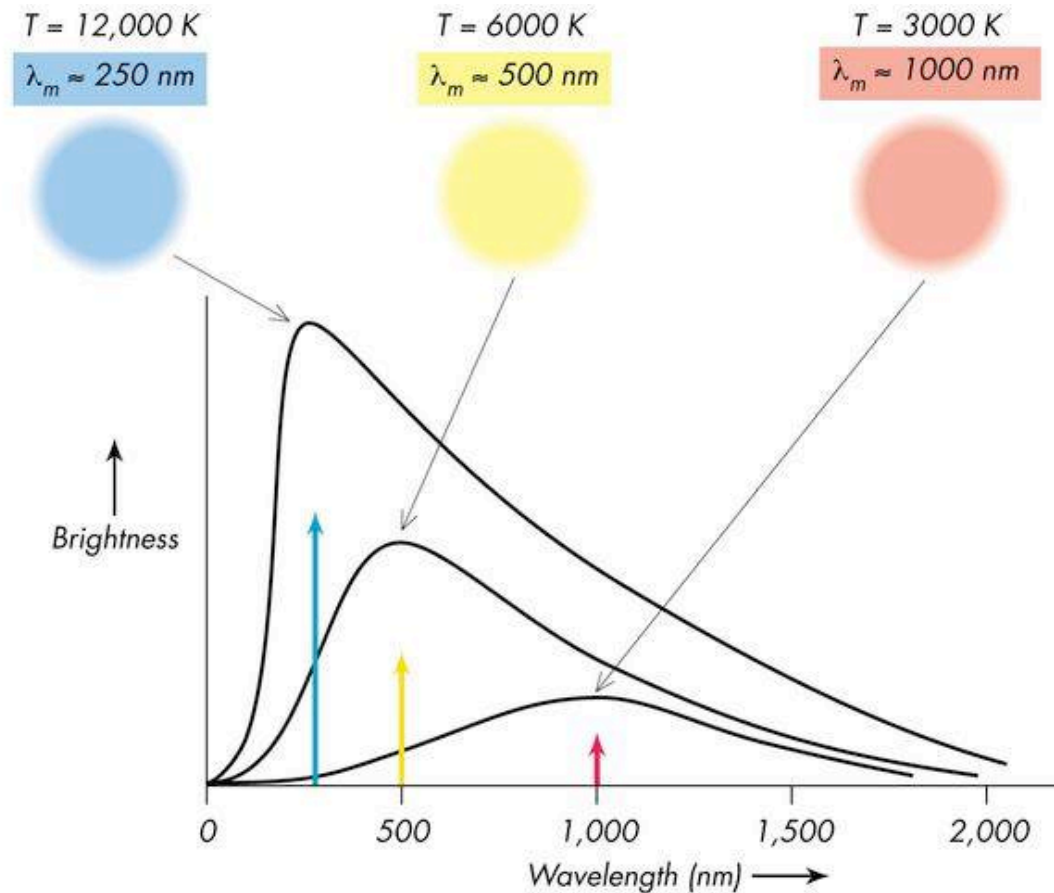


El espectro que emite depende solamente de la temperatura.

# Emisión continua de un "cuerpo negro"

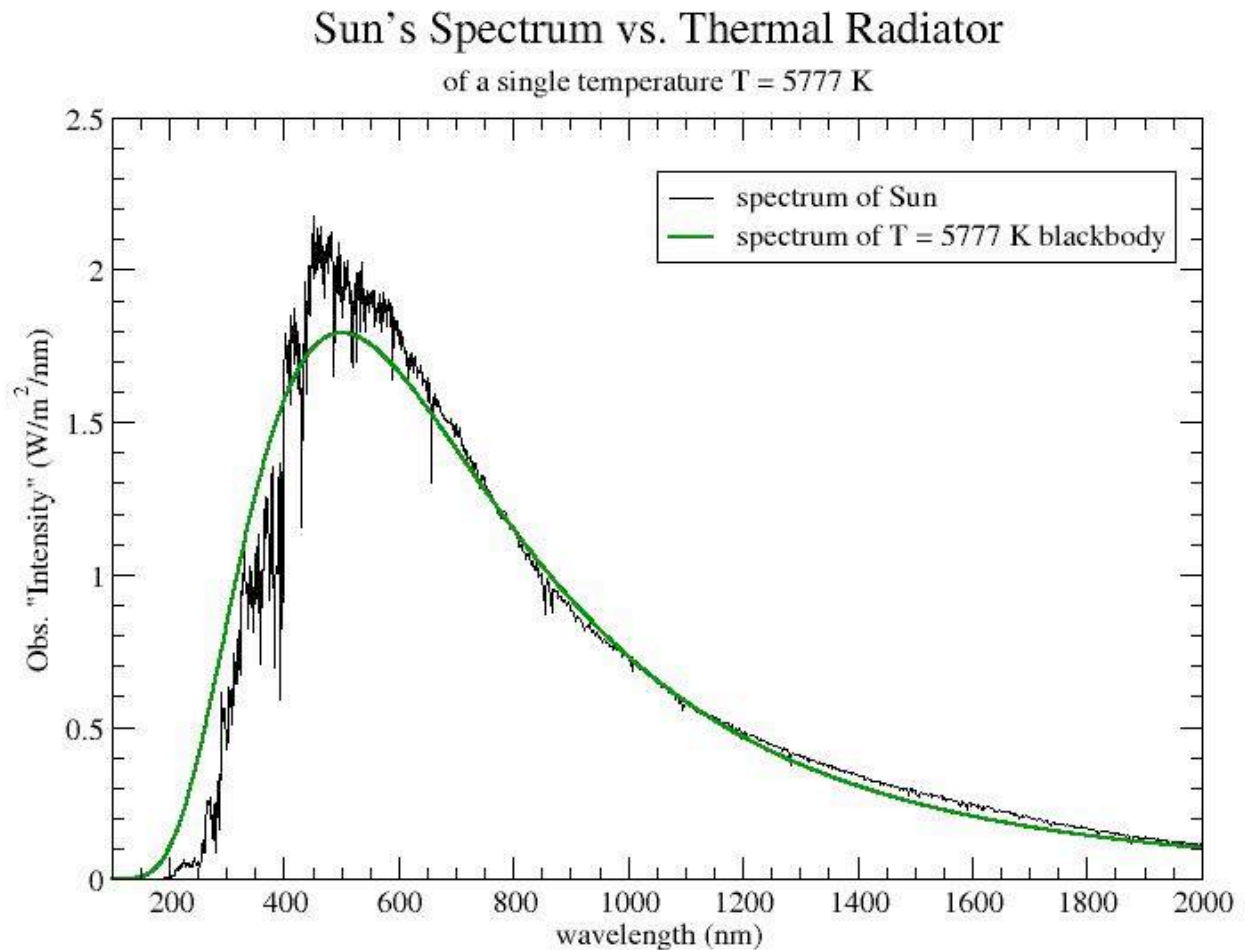
Propiedades de la emisión:

- T más alta:
  - Emite más energía por superficie (proporcional a  $T^4$ )
  - Maximo de la emisión se mueve hacia longitudes de ondas cortas
- La emisión no depende del material, sino solamente de la temperatura



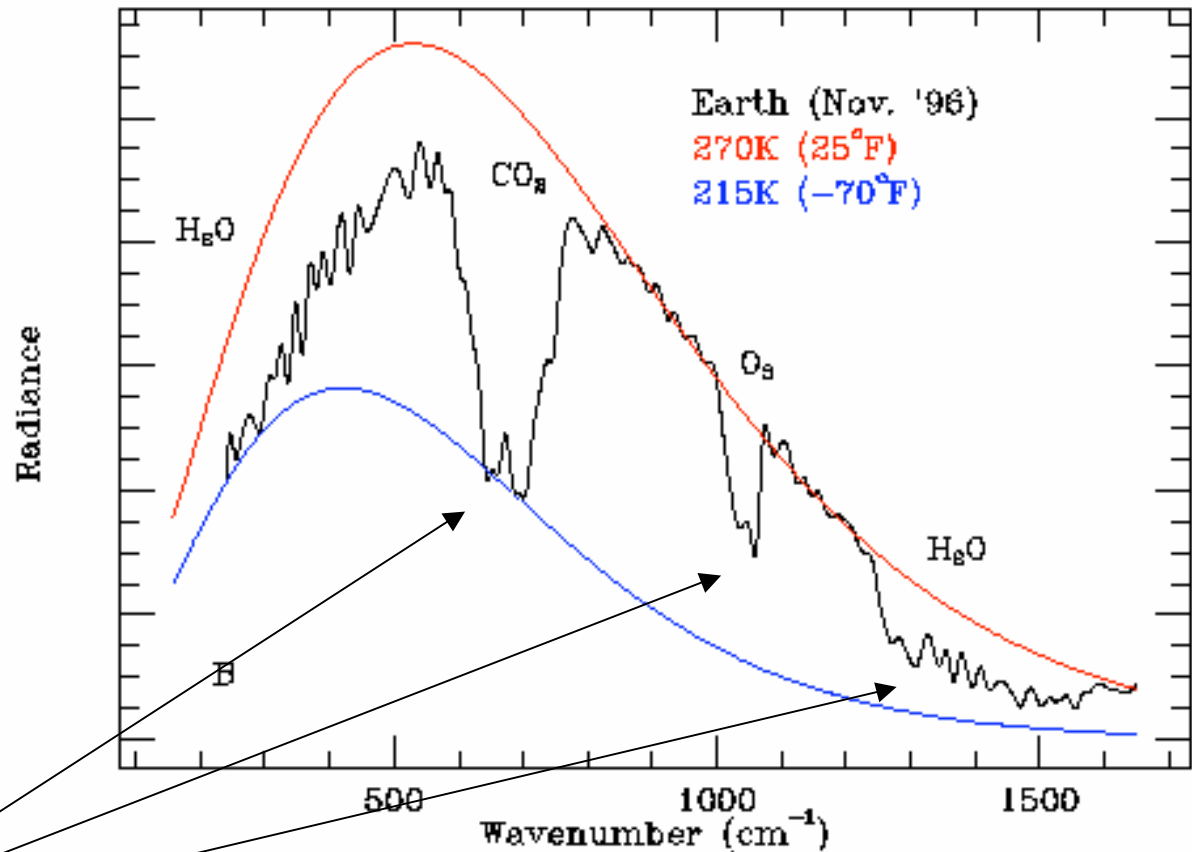
# El sol como cuerpo negro

El sol está en una buena (aunque no perfecta) aproximación un cuerpo negro. La radiación que entraría en la superficie, la absorbería.



# La tierra como un cuerpo negro

No se un cuerpo negro perfecto, pero se puede aproximar relativamente bien



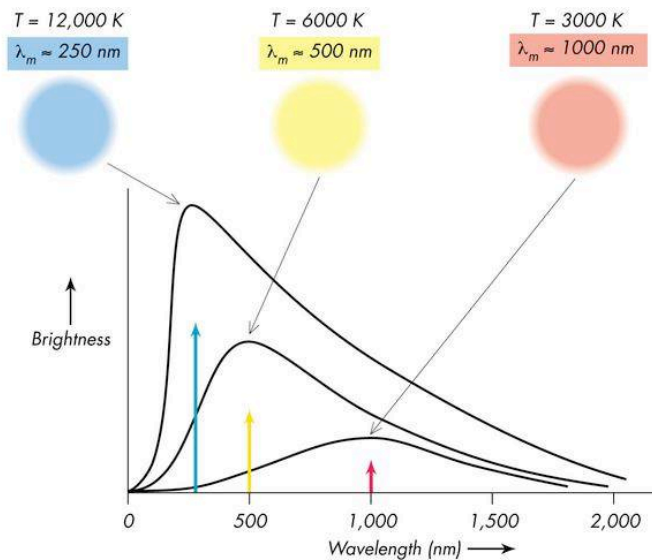
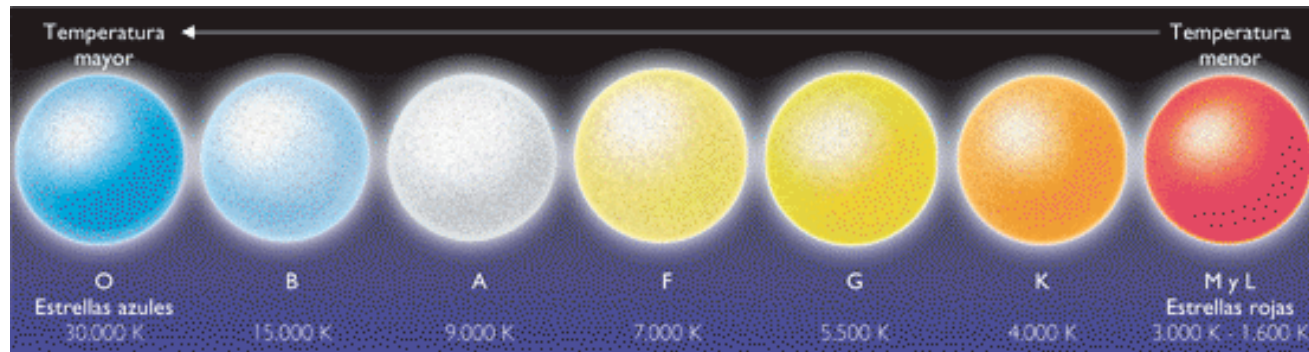
Bandas de absorción

# Otros cuerpos como cuerpos negro

- Cualquier cuerpo que es suficientemente opaco (absorbente) es en "buena" aproximacion de un cuerpo negro.



# Aplicación: Clasificación de estrellas



Las estrellas tienen diferentes colores (ejemplo Beteigeuze y Rigel en la constelación Orion).

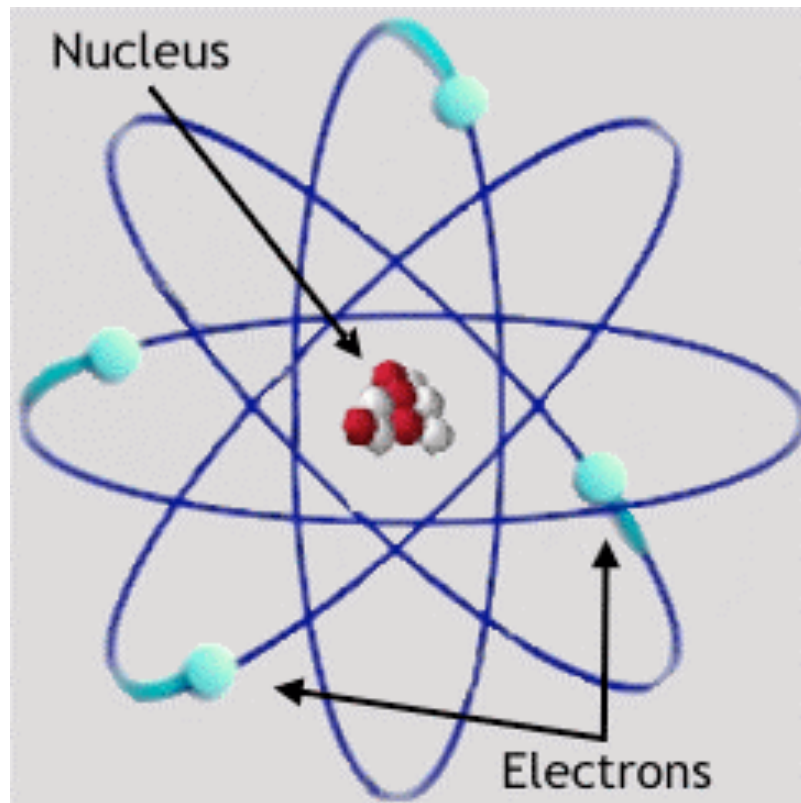
¿Que hay que medir para determinar la temperatura de una estrella? ¿Es suficiente medir una longitud de onda?

# Emisión de líneas

## Modelo de un átomo.

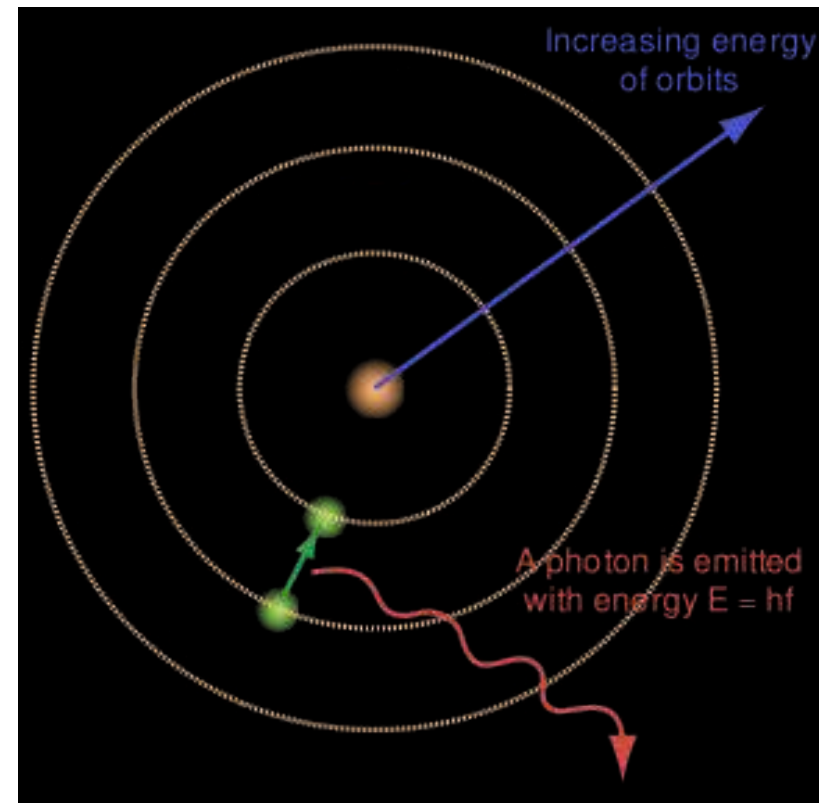
El átomo consiste de:

- Núcleo (protones y neutrones)
- Envoltura de electrones



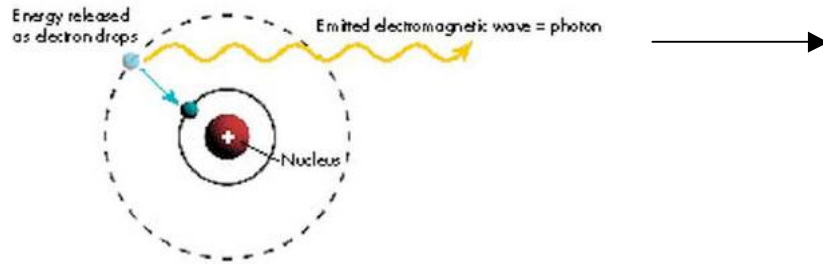
## Emisión de líneas:

El electrón pasa de un nivel superior a un nivel inferior

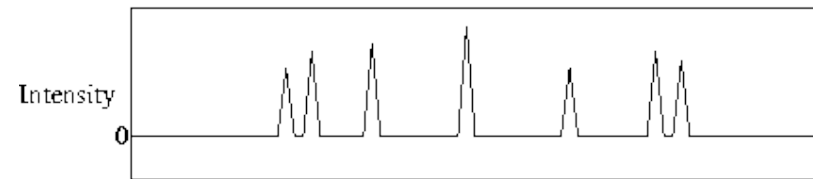
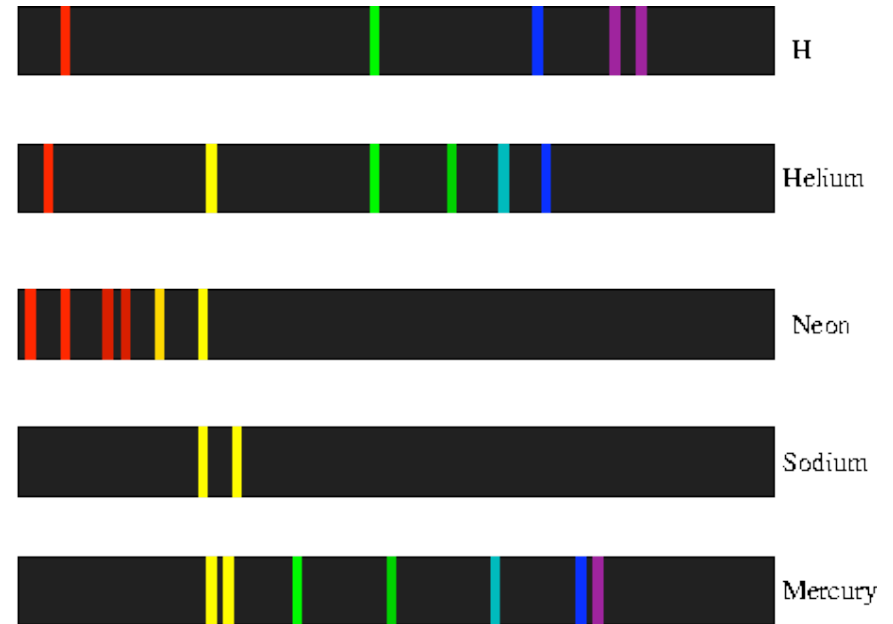




## Emisión de una línea espectral

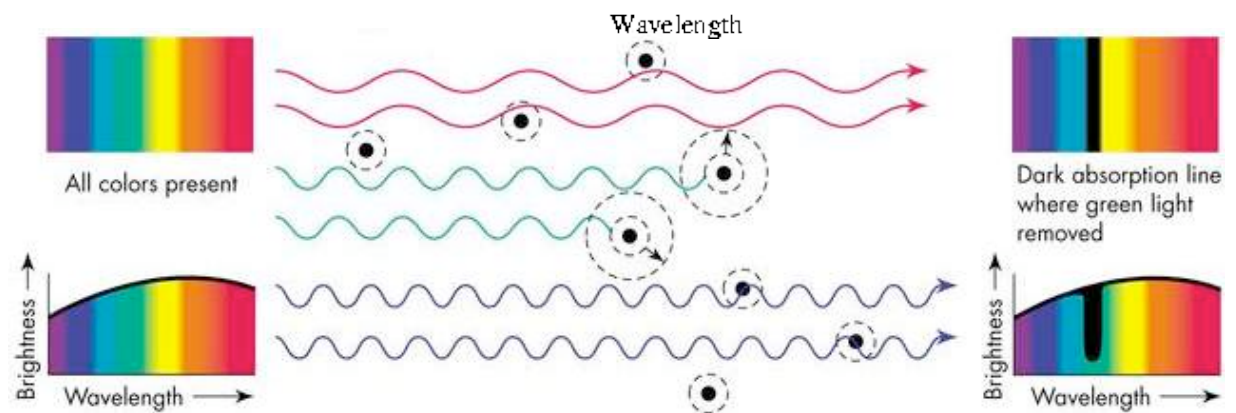


El patrón de las líneas nos dice que elemento lo ha emitido.  
(¿Porqué no es suficiente medir la frecuencia de una línea?)

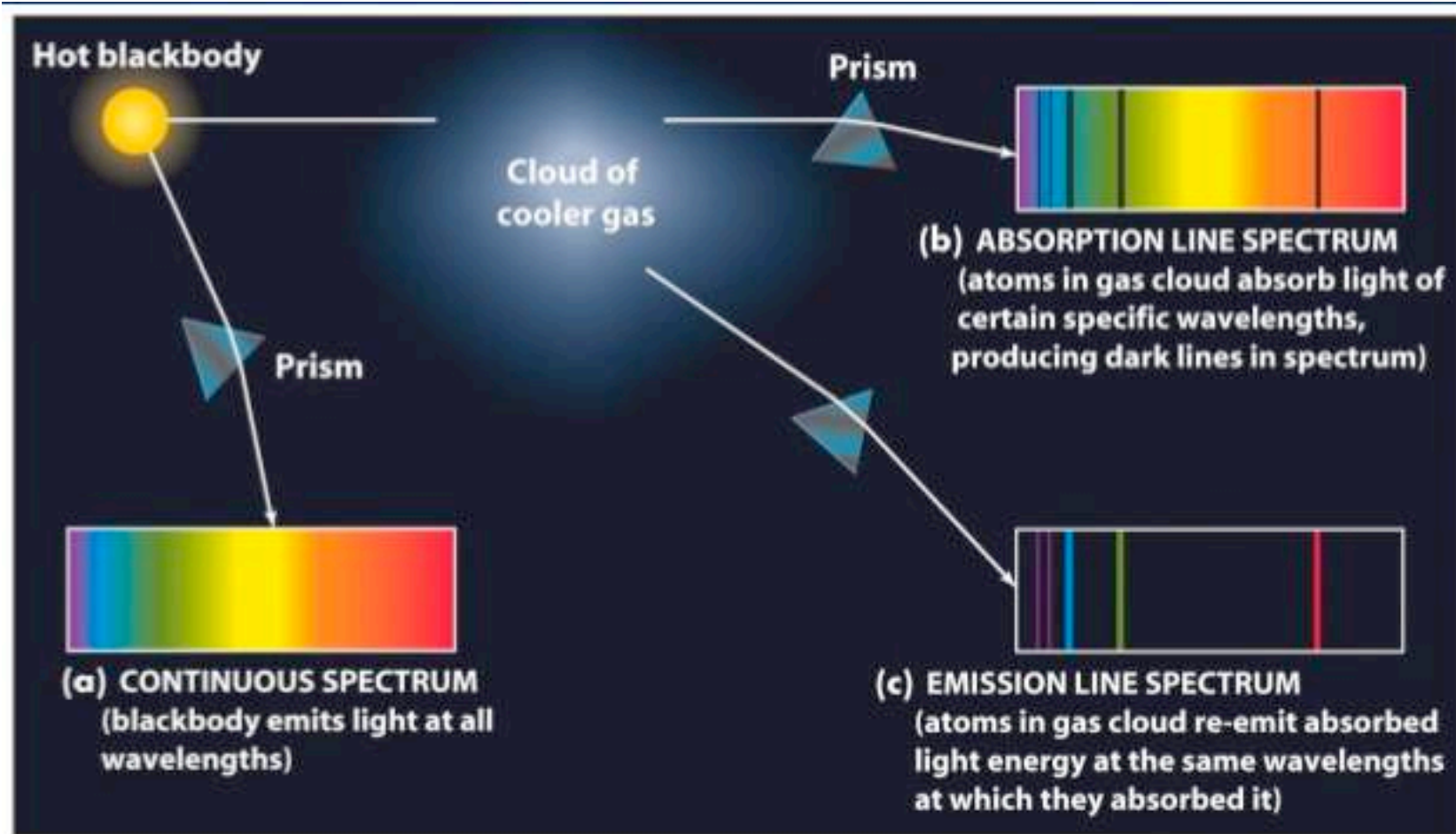


## Absorción de una línea:

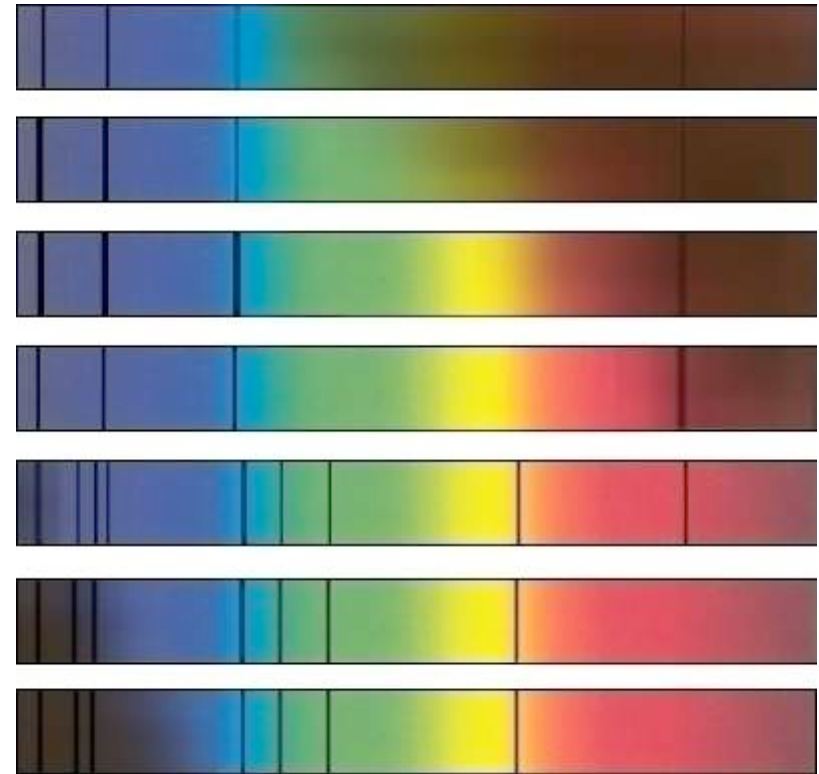
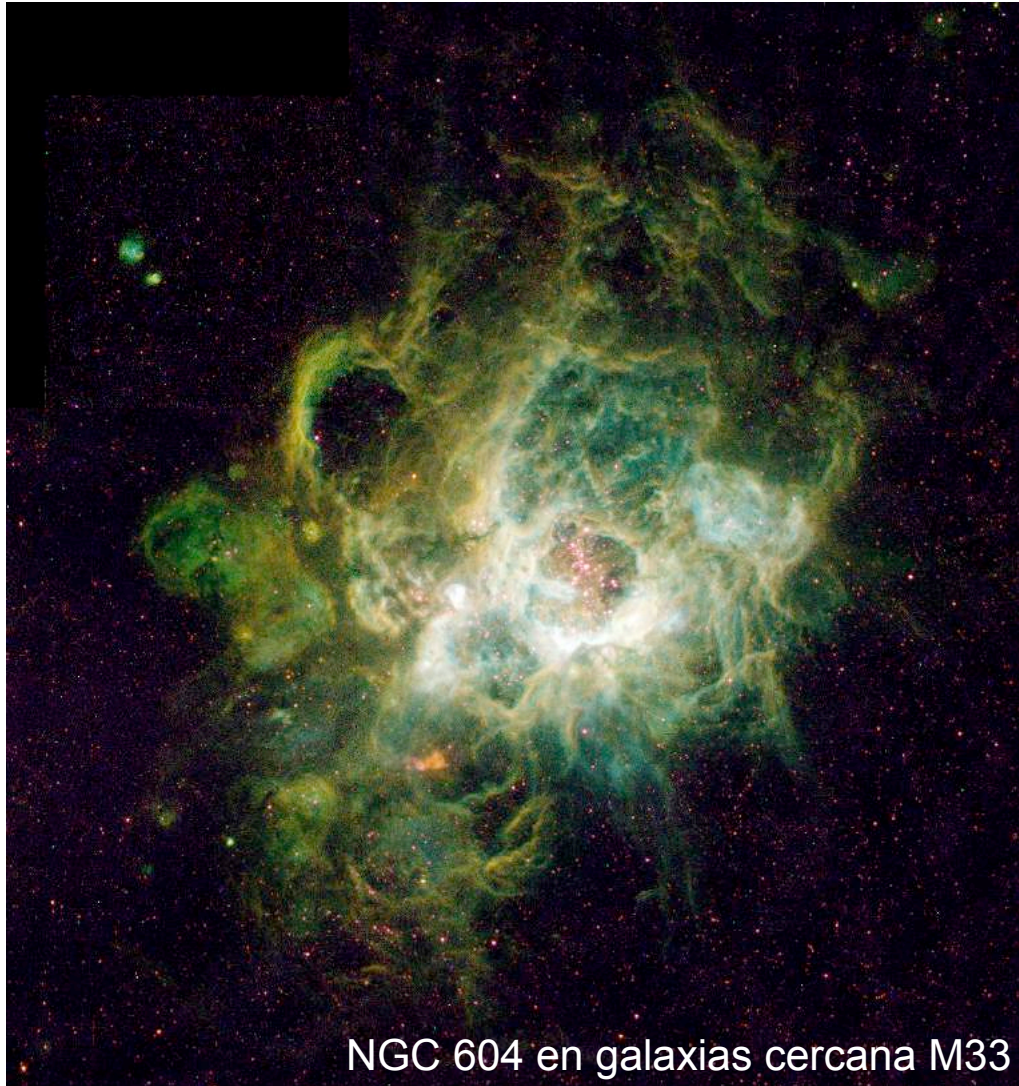
La luz verde tiene justo la longitud de onda para elevar un electrón del nivel 0 al nivel 1 → se absorbe.



# Líneas de emisión, de absorción y emisión continua



# Ejemplos

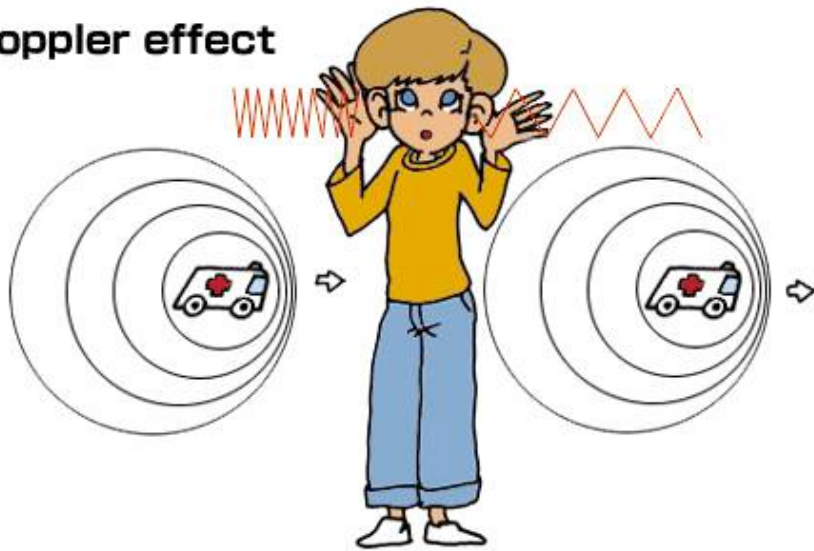


Clasificación de estrellas

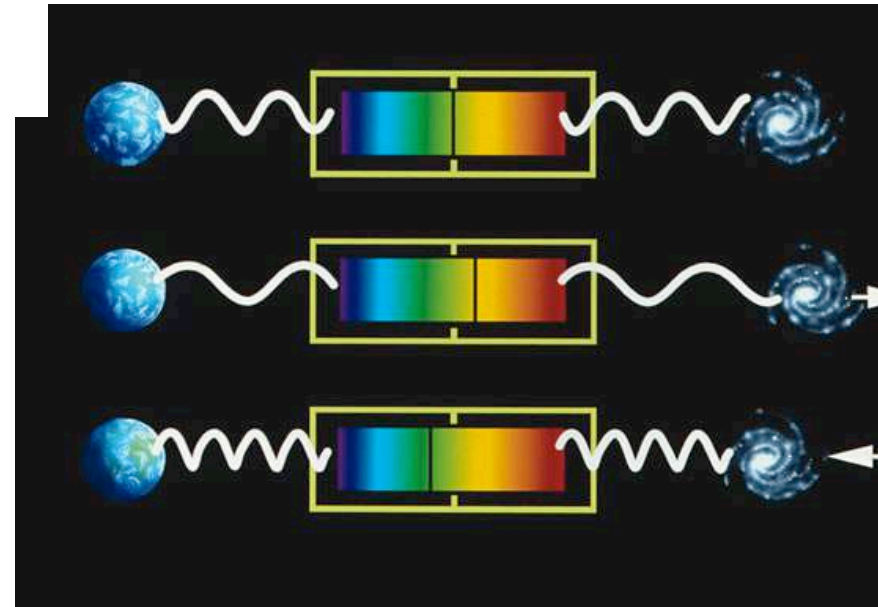
Estudio de region de gas ionizado  
alrededor de estrella masivas (regiones  
HII)

# Efecto Doppler

Doppler effect



- La observación de una Líneas permite determinar la velocidad del objeto!!



# Información que nos dan las líneas

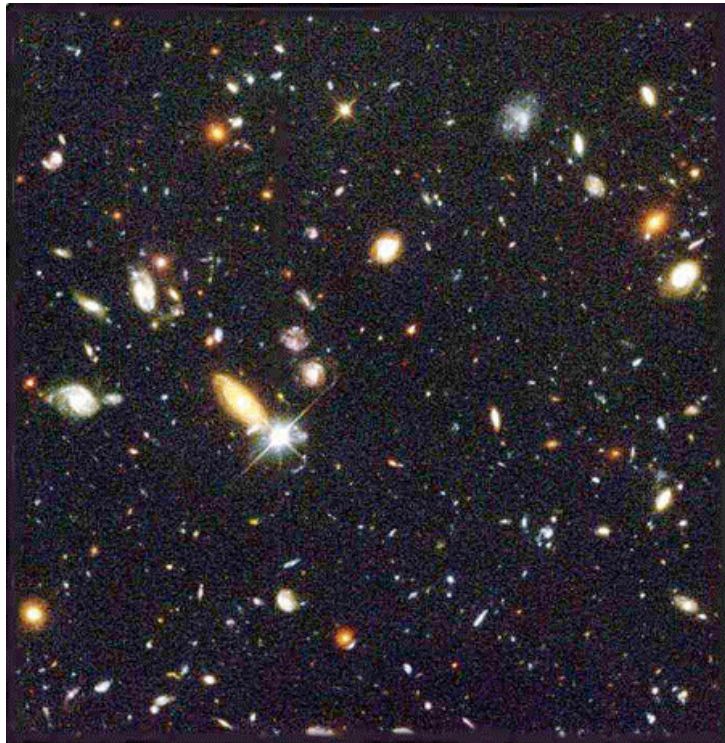
- Frecuencia/patrón de líneas: Qué átomos/moléculas hay
- Frecuencia observada de una línea conocida: con el efecto Doppler nos da información sobre la velocidad de la fuente. Eso nos da, por ejemplo, información sobre:
  - Expansión del universo, distancia de galaxias
  - Rotación de una galaxia, "masa dinámica"
  - Movimiento de objetos dentro de las galaxias
  - Temperatura del gas → movimiento del gas aleatorio → desanchamiento de la línea
  - .....

# Aplicaciones

- Un meteorito se acerca a la tierra y tu eres el jefe de equipo rescate.
  - ¿Que observaciones propones?
  - ¿Qué parámetros hay que medir y cómo se pueden medir?

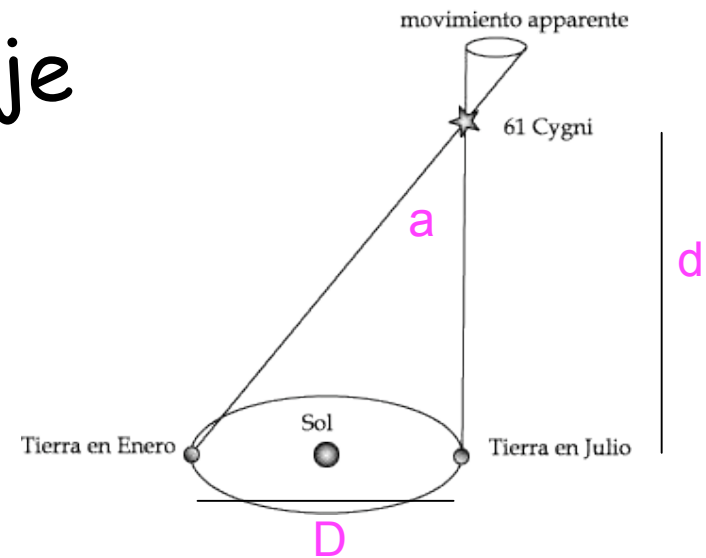
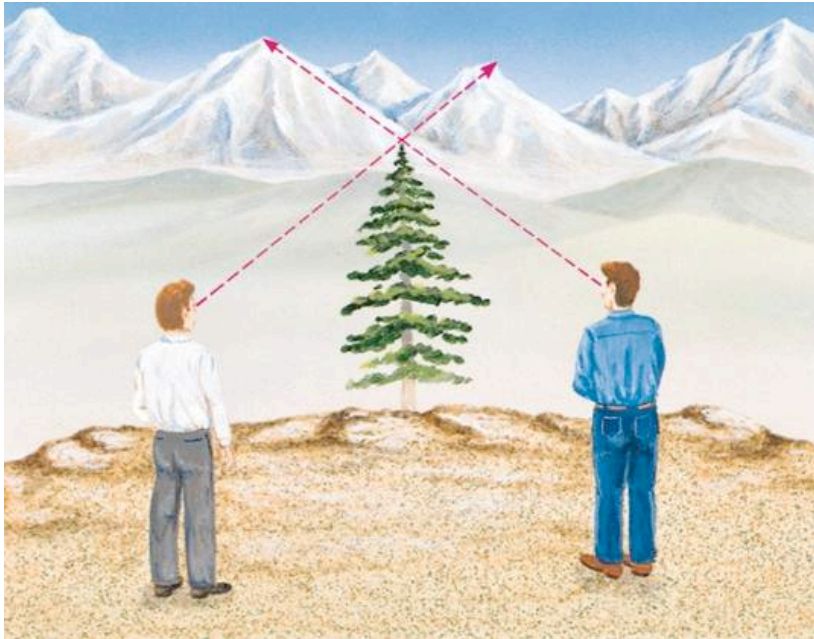
# ¿Cual es la distancia a un objeto?

- Difícil a determinar porque vemos solamente la proyección de los objetos a la esfera celeste
- Importante!! Sin la distancia no sabemos si un objeto es luminoso y distante o poco luminoso y cercano.



Como se pueden averiguar las distancias de los objetos del Hubble Deep Field?

# Primer metodo: Paralaje



- Se conoce la distancia,  $D$ , entre la posición de la Tierra en Julio y en Enero
- Se mide el ángulo,  $a$  (diferencia de posición), del objeto con respecto al fondo de las estrellas lejanas
- Se puede averiguar la distancia,  $d$ , del objeto

-Aplicable en la vecindad del sol ( $\sim 1\%$  del diámetro de la Vía Láctea)  
-Alrededor de 1900 se llevaron a cabo grandes muestreo para medir el paralaje de muchos (varios 10 000) estrellas. Eso fue importante para su clasificación y entender su funcionamiento



# Como se pueden medir distancias en otras galaxias?

1) Se intenta encontrar "candelas estándar" = objetos de las que conocemos la luminosidad.

- **Cepheides:** En 1912 Henrietta Leavitt encontró una relación entre el periodo de variación en la luminosidad de un tipo de estrellas (Cepheides) y su luminosidad absoluta.
  - Posibilita determinar las distancias a galaxias cercanas
  - Ha sido la base para el trabajo de Hubble para calibrar su ley de Hubble
- **Supernovas tipo I**
  - Relación entre máxima luminosidad y tiempo característico de desvanecimiento

2) Relación de **Tully-Fisher**

Correlación empírica entre anchura de la línea de HI y la luminosidad

3) **Ley de Hubble:** relación lineal entre la velocidad de recesión y la distancia

- La relación mas usada
- A pequeña escala: Hay que corregir por el movimiento propio
- A gran escala: la constante de Hubble ha variado con el tiempo?

# Las distancias astronómicas

Si podríamos viajar tan rápido como luz (300 000 km/s) llegaríamos.....

- ... a la **luna** en 1.3 segundos
- ... al **sol** en 8 minutos
- ... a la **próxima estrella** en 2 años
- ... al **centro de la Vía Láctea** en 26.000 años
- ... a las **Nubes de Magallanes** en 200.000 años
- ...a la **galaxia vecina de Andrómeda** en 3 millones de años
- ...a la **galaxia más lejana** que vemos en el cielo en 100.000 millones de años

# Indice

## Astronomía en diferentes longitudes de onda

1. Astronomía en el óptico, infrarrojo cercano y ultravioleto
2. Radioastronomía centimétrica
3. Radioastronomía milimétrica y infrarrojo lejano
4. Astronomía de rayos x y gamma

→ Historia, tecnología, ciencia en cada area

## Avances en la ciencia desde ~ 1930

- Sistema Solar
- Estrellas
- Galaxias
- El Universo (cosmología)