

Astrofísica (Semestre 2 2025)

La escalera de distancias cósmicas (I)

Nina Hernitschek

Centro de Astronomía CITEVA
Universidad de Antofagasta

Septiembre 22, 2025

Introduction

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

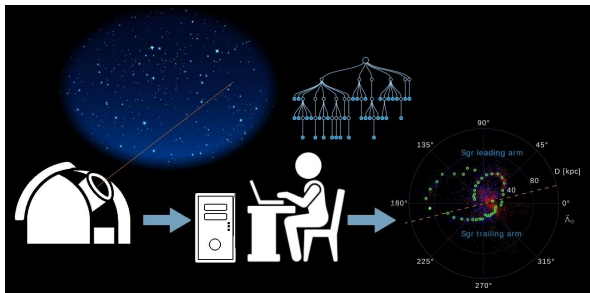
Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Mi nombre es Nina Hernitschek.

Soy profesora asistente de astronomía. Mi línea de investigación es la **astroinformática**.

La mayor parte de mi investigación se centra en grandes estudios astronómicos (inglés: *large astronomical surveys*), astrofísica estelar, la Vía Láctea y métodos computacionales (incluido el aprendizaje automático) para aprovechar esos datos.



Clase

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Esta clase conmigo se impartirá los siguientes días:

- Lunes 22 de septiembre
- Viernes 26 de septiembre
- Lunes 29 de septiembre
- Viernes 3 de octubre

Tendremos un **examen** el 10 de octubre de 2025.

Tendrá una duración de 1,5 horas.

Durante el examen, se permite el uso de calculadoras.

Todas las diapositivas se pueden encontrar en:

https://github.com/ninahernitschek/astrofisica_2_2025

Motivación

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

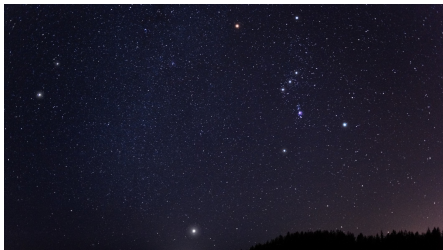
Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Nuestra vista del cielo nocturno parece mayormente bidimensional.

Aunque en realidad estos objetos están distribuidos en tres dimensiones, nuestra perspectiva limitada y las **inmensas distancias** que hay entre ellos hacen que parezcan proyectados sobre una superficie plana.



Orión se encuentra en el ecuador celeste y puede verse en todo el mundo.

Las estrellas de una constelación pueden estar a distancias muy diferentes de nosotros.

Motivación

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

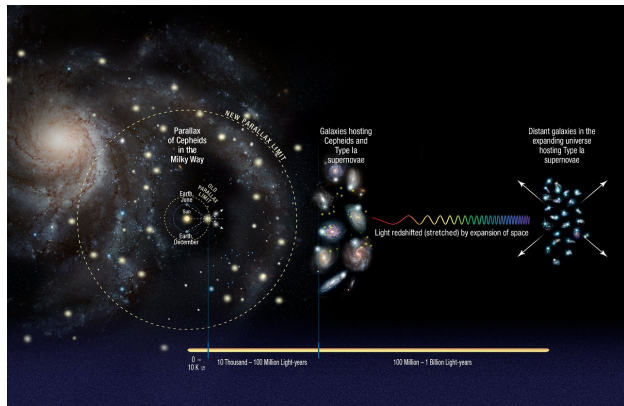
Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

En general: La medición de distancias en el universo se realiza mediante métodos para diferentes distancias, que se complementan entre sí.

Las mediciones en nuestra propia Vía Láctea son el primer paso en esta **escalera de distancias cósmicas** (*cosmic distance ladder*).



Observaciones históricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

El cielo nocturno cambia a lo largo del año:

- apariencia de la luna (forma, posición)

Observaciones históricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

El cielo nocturno cambia a lo largo del año:

- apariencia de la luna (forma, posición)
- planetas (posición, fases de Venus)

Observaciones históricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

El cielo nocturno cambia a lo largo del año:

- apariencia de la luna (forma, posición)
- planetas (posición, fases de Venus)
- estrellas (cambios estacionales: la esfera parece girar con las estaciones)

Observaciones históricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

El cielo nocturno cambia a lo largo del año:



La Vía Láctea, vista desde el hemisferio sur en verano (izquierda) y en invierno (derecha). La diferencia es evidente.

En el hemisferio norte ocurre justo lo contrario y vemos más de la Vía Láctea en verano.

¿A qué distancia está la Luna?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

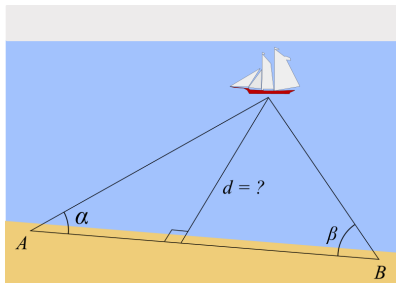
Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Hiparco (190-120 a. C.) fue un astrónomo, geógrafo y matemático griego. Hiparco determinó la distancia a la Luna (probablemente en el año 129 a. C.) utilizando la **triangulación**.

Idea: Si se conoce la línea de referencia d , la medición de los ángulos α y β proporciona la distancia a un objeto utilizando la ecuación:



$$d = \ell \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (1)$$

¿A qué distancia está la Luna?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

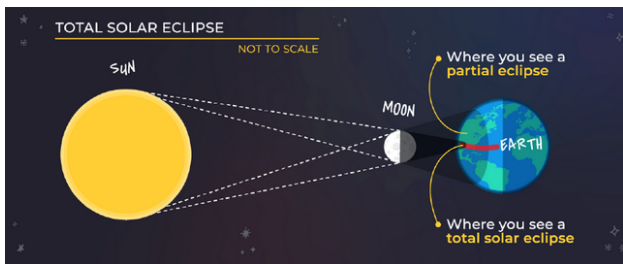
Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Para un **eclipse total de Sol**, tenemos la siguiente alineación (sin escala):



Debido a que el Sol está tan lejos: cuando se observa desde cualquier lugar de la Tierra, cubre prácticamente la misma porción del cielo, con una anchura angular de aproximadamente $0,5^\circ$.

¿A qué distancia está la Luna?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

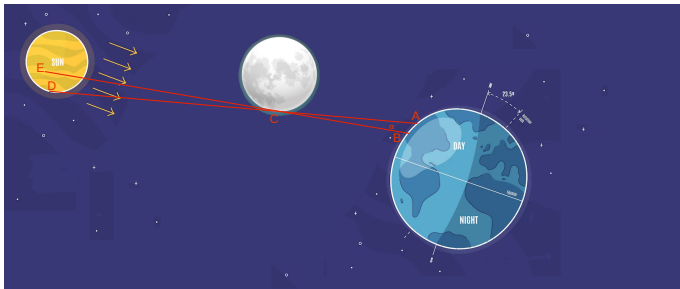
Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Hiparco utilizó observaciones del mismo eclipse desde dos puntos: Helesponto, donde fue eclipse total, y Alejandría, donde fue eclipse parcial. Hiparco se centró en el punto C, situado en el borde de la Luna, que durante la totalidad, visto desde el Helesponto (punto A), se superponía al punto D, situado en el borde del Sol.



Desde Alejandría (punto B), el punto C solo se superponía al punto E en el Sol, a una fracción de diámetros solares del borde, por lo que el eclipse allí no fue total.

¿A qué distancia está la Luna?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

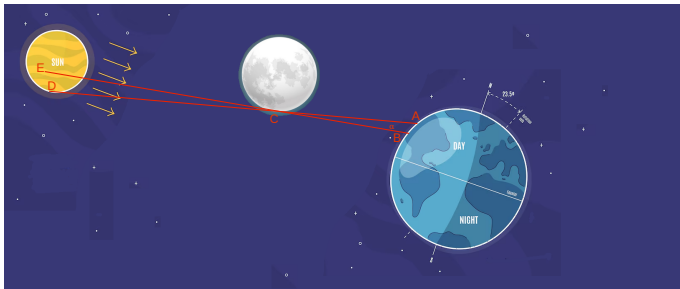
Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Hiparco utilizó observaciones del mismo eclipse desde dos puntos: Helesponto, donde fue eclipse total, y Alejandría, donde fue eclipse parcial. Hiparco se centró en el punto C, situado en el borde de la Luna, que durante la totalidad, visto desde el Helesponto (punto A), se superponía al punto D, situado en el borde del Sol.



Al realizar los cálculos completos, se obtiene una distancia entre la Luna y la Tierra de 90 radios terrestres, lo que supone una sobreestimación de aproximadamente el 50 %.

¿A qué distancia está la Luna?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

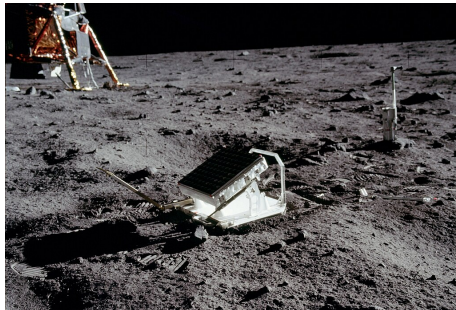
Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Hoy conocemos la distancia a la Luna gracias al **telémetro láser lunar**.

El telémetro láser (*laser ranging*) es una técnica en la que se disparan pulsos láser hacia retroreflectores colocados en la superficie lunar por las misiones Apollo. Se mide con precisión el tiempo que tarda la luz en regresar. Esto, combinado con la velocidad conocida de la luz, permite calcular la distancia con extrema precisión.



La **distancia media** Luna-Tierra que obtenemos de esto es de 384399 km.

¿A qué distancia está la Luna?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

La **distancia media** Luna-Tierra que obtenemos de esto es de 384399 km.



La distancia a la Luna no es constante.

Cambios en la distancia durante su **órbita**:

La órbita de la Luna es elíptica, con la Tierra en uno de los focos.

Esto significa que la distancia entre la Tierra y la Luna no es constante y cambia a lo largo de su órbita mensual. Cuando la Luna está más lejos, se encuentra a 405 696 km de distancia. Cuando está más cerca, la Luna se encuentra a 363 105,021 km de distancia.

Estos cambios en la distancia pueden hacer que la Luna parezca ligeramente diferente en tamaño e iluminación dependiendo de su posición en su órbita.

¿A qué distancia está la Luna?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Cambios **a largo plazo** en la distancia:

La Luna se está **alejando** lentamente de la Tierra.

Las mediciones muestran que la Luna se aleja de la Tierra
aproximadamente 3,8 cm por año.

¿A qué distancia está la Luna?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Cambios **a largo plazo** en la distancia:

La Luna se está **alejando** lentamente de la Tierra.

Las mediciones muestran que la Luna se aleja de la Tierra aproximadamente 3,8 cm por año.

Este aumento gradual de la distancia es el resultado de las interacciones de la Luna y las mareas entre la Tierra, un proceso que continuará durante miles de millones de años.

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

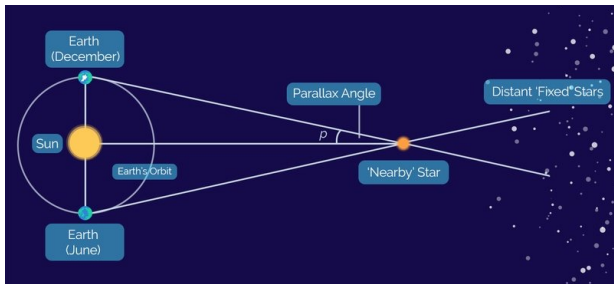
Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

La aplicación del método de paralaje requiere una **medición precisa de los ángulos**.

Bessel (1837): A medida que la Tierra gira alrededor del Sol, la dirección en la que vemos una estrella cercana varía con respecto a las estrellas distantes como efecto del cambio de punto de vista, lo que da lugar a un movimiento aparente de la estrella.



A partir de esto, obtenemos la unidad para las distancias cosmológicas:

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Definimos el paralaje como la mitad del cambio total en la dirección.

$$d = 1/p$$

con paralaje p en segundos de arco, distancia d en parsecs.

$$1 \text{ parsec} = 3.086 \times 10^{16} \text{ m} = 3.26156 \text{ light years}$$

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

**Observaciones
modernas**

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Un ejemplo: la distancia a Próxima Centauri, la estrella más cercana a la Tierra.

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Un ejemplo: la distancia a Próxima Centauri, la estrella más cercana a la Tierra.

Cómo hacerlo:

- Observa desde una posición: Un astrónomo observa una estrella cercana contra un fondo muy lejano de estrellas "fijas".

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Un ejemplo: la distancia a Próxima Centauri, la estrella más cercana a la Tierra.

Cómo hacerlo:

- Observa desde una posición: Un astrónomo observa una estrella cercana contra un fondo muy lejano de estrellas "fijas".
- Espera seis meses: La Tierra se desplaza al lado opuesto de su órbita alrededor del Sol.

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Un ejemplo: la distancia a Próxima Centauri, la estrella más cercana a la Tierra.

Cómo hacerlo:

- Observa desde una posición: Un astrónomo observa una estrella cercana contra un fondo muy lejano de estrellas "fijas".
- Espera seis meses: La Tierra se desplaza al lado opuesto de su órbita alrededor del Sol.
- Observa de nuevo: El astrónomo observa de nuevo la misma estrella desde esta nueva posición.

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Un ejemplo: la distancia a Próxima Centauri, la estrella más cercana a la Tierra.

Cómo hacerlo:

- **Observa desde una posición:** Un astrónomo observa una estrella cercana contra un fondo muy lejano de estrellas "fijas".
- **Espera seis meses:** La Tierra se desplaza al lado opuesto de su órbita alrededor del Sol.
- **Observa de nuevo:** El astrónomo observa de nuevo la misma estrella desde esta nueva posición.
- **Mida el desplazamiento:** la estrella cercana parece haberse desplazado ligeramente frente al fondo de las estrellas distantes. Este desplazamiento aparente es el paralaje estelar.

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Un ejemplo: la distancia a Próxima Centauri, la estrella más cercana a la Tierra.

Cómo hacerlo:

- **Observa desde una posición:** Un astrónomo observa una estrella cercana contra un fondo muy lejano de estrellas "fijas".
- **Espera seis meses:** La Tierra se desplaza al lado opuesto de su órbita alrededor del Sol.
- **Observa de nuevo:** El astrónomo observa de nuevo la misma estrella desde esta nueva posición.
- **Mida el desplazamiento:** la estrella cercana parece haberse desplazado ligeramente frente al fondo de las estrellas distantes. Este desplazamiento aparente es el paralaje estelar.
- **Calcule la distancia:** el ángulo de paralaje se define como la mitad de este desplazamiento total observado. Utilizando este ángulo, junto con la distancia conocida de la órbita de la Tierra (la línea de base), se puede calcular la distancia a la estrella.

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

**Observaciones
modernas**

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Un ejemplo: la distancia a Próxima Centauri, la estrella más cercana a la Tierra.

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Un ejemplo: la distancia a Próxima Centauri, la estrella más cercana a la Tierra.

Solucion:

Para Próxima Centauri, medimos un ángulo de paralaje de aproximadamente 0,77 segundos de arco. Este pequeño ángulo es el desplazamiento aparente que se observa cuando la Tierra se mueve de un lado a otro de su órbita (una línea de base de 2 unidades astronómicas), lo que permite a los astrónomos calcular la distancia de la estrella utilizando la fórmula del paralaje:

Ángulo de paralaje: $\sim 0,77$ segundos de arco.

Cálculo de la distancia: Distancia (parsecs) = $1 / \text{ángulo de paralaje}$ (segundos de arco).

La elección de la unidad ya tiene en cuenta la base.

Distancia a Próxima Centauri: $1 / 0,77 = 1,30$ parsecs, lo que equivale aproximadamente a 4,24 años luz.

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Algunos ejemplos para que los pruebes:



- a) Una estrella tiene un ángulo de paralaje p de 0,723 segundos de arco. ¿Cuál es la distancia a la estrella?
- b) Sirio, una estrella binaria de nuestra galaxia, se encuentra a una distancia de 2,64 parsecs de nosotros. ¿Cuál sería el ángulo de paralaje en segundos de arco para esta estrella binaria?
- c) La estrella A tiene un ángulo de paralaje de 0,82 segundos de arco y la estrella B tiene un ángulo de paralaje de 0,45 segundos de arco. ¿Qué estrella está más cerca de la Tierra y por cuánto?

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Algunos ejemplos para que los pruebes:



- a) Una estrella tiene un ángulo de paralaje p de 0,723 segundos de arco. ¿Cuál es la distancia a la estrella?
- b) Sirio, una estrella binaria de nuestra galaxia, se encuentra a una distancia de 2,64 parsecs de nosotros. ¿Cuál sería el ángulo de paralaje en segundos de arco para esta estrella binaria?
- c) La estrella A tiene un ángulo de paralaje de 0,82 segundos de arco y la estrella B tiene un ángulo de paralaje de 0,45 segundos de arco. ¿Qué estrella está más cerca de la Tierra y por cuánto?

Soluciones:

- a) $1/0.723 = 1.38$ parsecs
- b) $1/2.64 = 0.34$ segundos de arco
- c) La estrella A es la más cercana a la Tierra.

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

La medición de distancias de esta manera depende de nuestra capacidad para medir diferencias angulares.

Limitaciones de la medición de distancias mediante el paralaje estelar:

Los ángulos de paralaje inferiores a 0,01 segundos de arco son muy difíciles de medir desde la Tierra debido a los efectos de la atmósfera terrestre.

Esto limita los telescopios terrestres a medir las distancias a estrellas situadas a aproximadamente $1/0,01$ o 100 parsecs de distancia.

Los telescopios espaciales pueden alcanzar una precisión de 0,001, lo que ha aumentado el número de estrellas cuya distancia se puede medir con este método. Sin embargo, la mayoría de las estrellas, incluso en nuestra propia galaxia, están mucho más lejos que 1000 parsecs, ya que la Vía Láctea tiene unos 30 000 parsecs de diámetro.

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

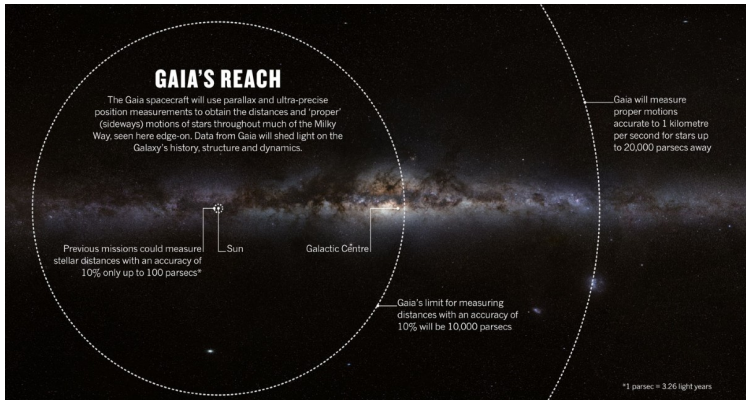
Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas



credit: Powell (2013)

Observaciones fotométricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Otros métodos para determinar distancias utilizan la **medición de luminosidades**.

idea: los objetos más lejanos **parecen más tenues**



Observaciones fotométricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Otros métodos para determinar distancias utilizan la **medición de luminosidades**.

idea: los objetos más lejanos **parecen más tenues**



pero: esto necesita calibración

(similar a: para saber a qué distancia aproximada se encuentra un coche, una casa... desde donde vemos la luz, necesitamos conocer su "verdadero" brillo)

Observaciones fotométricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Con una luminosidad conocida L de un objeto, la medición de la densidad de flujo I nos da directamente la distancia de brillo D_I : una esfera con un radio en el que se distribuye el flujo:

$$D_I^2 = L/4\pi I.$$

Observaciones fotométricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Con una luminosidad conocida L de un objeto, la medición de la densidad de flujo I nos da directamente la distancia de brillo D_I : una esfera con un radio en el que se distribuye el flujo:

$$D_I^2 = L/4\pi I.$$

A continuación, definimos el **magnitud aparente** m de la siguiente manera: Un magnitud aparente 100 veces más intenso significa que la magnitud disminuye en $\Delta m = 4 \text{ mag}$.

Así tenemos: $m_1 - m_2 = 2.5 \log_{10} I_2/I_1$.

Observaciones fotométricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Con una luminosidad conocida L de un objeto, la medición de la densidad de flujo I nos da directamente la distancia de brillo D_I : una esfera con un radio en el que se distribuye el flujo:

$$D_I^2 = L/4\pi I.$$

A continuación, definimos el **magnitud aparente** m de la siguiente manera: Un magnitud aparente 100 veces más intenso significa que la magnitud disminuye en $\Delta m = 4 \text{ mag}$.

Así tenemos: $m_1 - m_2 = 2.5 \log_{10} I_2/I_1$.

Originalmente, $m = 0$ se definía para la estrella más brillante visible, pero ahora se define como $I_{(m=0)} = 2.52 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$.

El **manitud absoluto** M es igual al brillo aparente que tendría un objeto si estuviera a una distancia de 10 pc:

$$M = m + 5 - 5 \log_{10} D. \quad (2)$$

El término $m - M$ se conoce como **módulo de distancia** (*distance modulus*) y es una medida directa de la distancia.

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Un ejemplo: Hay una estrella llamada 70 Herculis, que es prácticamente un clon del Sol. Tiene una magnitud aparente de 6,39. ¿A qué distancia está?

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Un ejemplo: Hay una estrella llamada 70 Herculis, que es prácticamente un clon del Sol. Tiene una magnitud aparente de 6,39. ¿A qué distancia está?

Solucion:

La magnitud absoluta del Sol = +4,85. Por lo tanto, el módulo de distancia $m - M = 6,39 - 4,85 = 1,54$ magnitudes. La distancia:

$$\begin{aligned} M &= m + 5 - 5 \log_{10} D \\ \Rightarrow d &= 10^{((m-M)/5+1)} \\ &= 10^{(1.54/5+1)} = 10^{1.308} = 20.3 \text{ parsec} \end{aligned}$$

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Algunos ejemplos para que los pruebes:



a) Supongamos que estuvieras observando el Sol desde un planeta que orbita alrededor de otra estrella a 40 pc de distancia. ¿Cuál sería la magnitud aparente del Sol?

(El Sol tiene una magnitud absoluta $M = +4,8$).

b) Un estrella tiene una magnitud absoluta de 0,0 y una magnitud aparente de +14,0. ¿Cuál es la distancia a la estrella ?

¿A qué distancia están las estrellas?

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Algunos ejemplos para que los pruebes:



a) Supongamos que estuvieras observando el Sol desde un planeta que orbita alrededor de otra estrella a 40 pc de distancia. ¿Cuál sería la magnitud aparente del Sol?

(El Sol tiene una magnitud absoluta $M = +4,8$).

b) Un estrella tiene una magnitud absoluta de 0,0 y una magnitud aparente de +14,0. ¿Cuál es la distancia a la estrella ?

Soluciones:

a) La magnitud aparente del Sol sería +7,8.

b) 6310 parsec (o 6,3 kpc)

Observaciones fotométricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

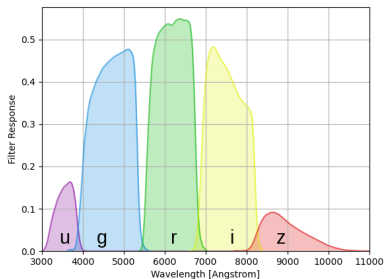
Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

La medición del magnitud aparente depende de la **sensibilidad espectral** del instrumento utilizado.



Aquí vemos las **curvas de rendimiento** del filtro del SDSS.

Las magnitudes se indican por filtro, es decir, m_g es la magnitud en la banda g .

El término **índice de color** (*color index*, *color*) se refiere a la diferencia entre diferentes filtros, es decir, $g - r = m_g - m_r$.

Observaciones fotométricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

La materia interestelar provoca la absorción de la luz. Por este motivo, el módulo de distancia debe corregirse mediante la **extinción** A :

$$m - M = 5 \log D - 5 + A \quad (3)$$

La absorción se produce en diferentes regiones del espectro, por lo que también cambia el color: **enrojecimiento** (*reddening*).

Observaciones fotométricas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

un caso extremo de extinción:

La **nebulosa oscura** Caldwell 99, Saco de Carbón (*Coalsack nebula*)



Caldwell 99 es un objeto muy notable en el cielo nocturno del hemisferio sur. En una noche clara, se puede observar fácilmente a simple vista como una mancha oscura, sin estrellas, junto a la Cruz del Sur en la constelación Crux. Es más fácil de observar en el hemisferio sur durante el otoño.

Etapas evolutivas: el diagrama de Hertzsprung-Russell

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

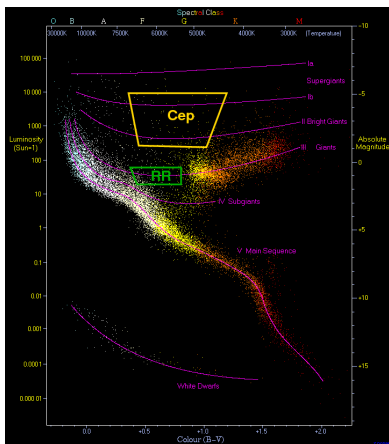
Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

A principios del siglo 20: E. Hertzsprung y H. N. Russell observaron que un diagrama de dispersión de una medida de la **luminosidad** estelar (magnitud absoluta) frente a una medida de la **temperatura** estelar (tipo espectral, color) muestra una estructura:



Un diagrama observacional de Hertzsprung-Russell con 22 000 estrellas del catálogo Hipparcos y 1000 del catálogo Gliese de estrellas cercanas.

Etapas evolutivas: el diagrama de Hertzsprung-Russell

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

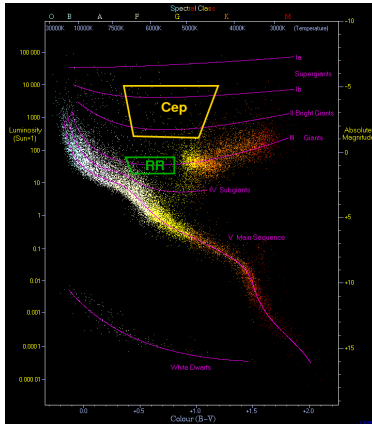
Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas



Secuencia principal: una banda que se extiende desde estrellas calientes y de alta luminosidad hasta estrellas frías y de baja luminosidad, que contiene la gran mayoría de las estrellas;
Fusión de hidrógeno (hidrógeno \rightarrow helio) en el núcleo; la etapa de evolución más larga.

Etapas evolutivas: el diagrama de Hertzsprung-Russell

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

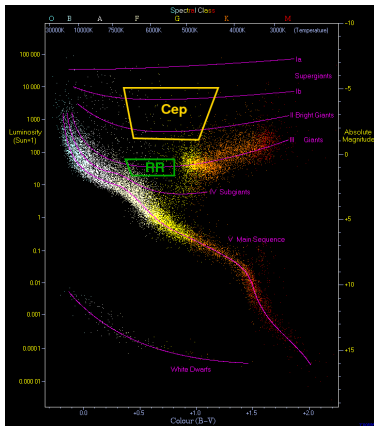
Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas



gigantes: Después de que aprox. el 10 % de la masa de una estrella $M < M_{\odot}$ se haya convertido de H a He, la estrella se expande: se convierte en una gigante roja con un núcleo de helio y una capa exterior que consuma hidrógeno. La estrella se calienta y se mueve a lo largo de la rama horizontal en el diagrama H-R, luego se enfría a medida que se detiene la combustión del núcleo. La estrella alcanza entonces una mayor luminosidad en la rama asintótica gigante (AGB). Finalmente, expulsa su envoltura y se convierte en una nebulosa planetaria que contiene una enana blanca ($M \leq 1,4M_{\odot}$, $R \sim R_{\text{earth}}$).

El diagrama de Hertzsprung-Russell

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

Podemos utilizar el diagrama de Hertzsprung-Russell para **medir distancias**:

Mida la magnitud aparente m y el espectro de una estrella. Obtenga su clase espectral. Ahora, utilizando el diagrama de Hertzsprung-Russell, lea la magnitud absoluta M de esa estrella.

Ahora se puede obtener la distancia comparando la magnitud aparente m y el brillo absoluto M mediante el módulo de distancia $M = m + 5 - 5 \log_{10} D$.

Clases de luminosidad: distancias en los diagramas HR

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

El sistema de clasificación estelar más utilizado divide las estrellas de una clase espectral determinada en seis categorías denominadas "clases de luminosidad".

Ia: Las supergigantes más brillantes
(*Brightest supergiants*)

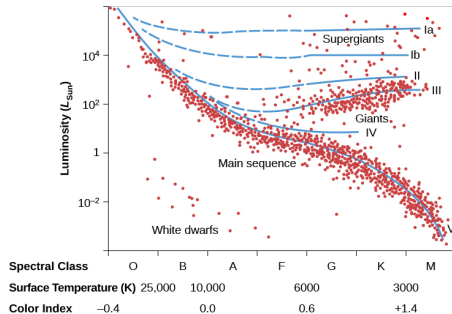
Ib: Supergigantes menos luminosas
(*Less luminous supergiants*)

II: Gigantes brillantes
(*Bright giants*)

III: Gigantes
(*Giants*)

IV: Subgigantes
(*Subgiants*)

V: Estrellas de la secuencia principal
(*Main-sequence stars*)



Clases de luminosidad: distancias en los diagramas HR

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

El sistema de clasificación estelar más utilizado divide las estrellas de una clase espectral determinada en seis categorías denominadas "clases de luminosidad".

Ia: Las supergigantes más brillantes
(*Brightest supergiants*)

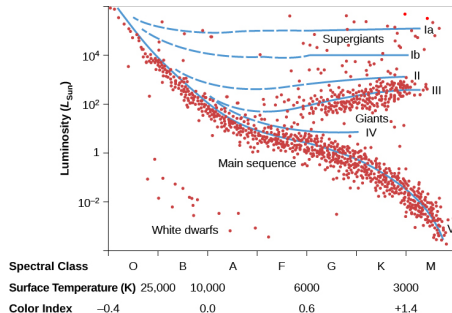
Ib: Supergigantes menos luminosas
(*Less luminous supergiants*)

II: Gigantes brillantes
(*Bright giants*)

III: Gigantes
(*Giants*)

IV: Subgigantes
(*Subgiants*)

V: Estrellas de la secuencia principal
(*Main-sequence stars*)



Determinadas las clases espectrales y de luminosidad de una estrella a partir de los espectros, ahora podemos leer la luminosidad de la estrella y, por lo tanto, determinar la distancia a partir del **módulo de distancia**.

Hertzprung-Russell Diagram

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

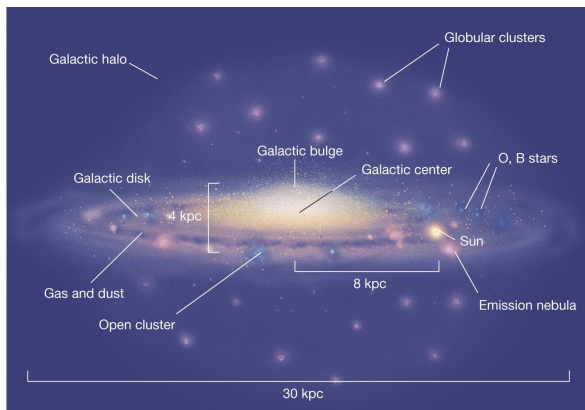
Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzprung-
Russell

Perspectivas

Con ese método, podemos obtener distancias de hasta 40 kpc. Esto es un poco más que el diámetro del disco de nuestra galaxia.



Perspectivas

La escalera de
distancias
cósmicas (I)

Logística de
clase

Motivación

Observaciones
históricas

Observaciones
modernas

Diagrama de
Hertzsprung-
Russell

Perspectivas

No todas las estrellas muestran un brillo constante.

De hecho, muchas estrellas tienen un **brillo variable** a lo largo del tiempo y, por lo tanto, se denominan estrellas variables.

En la próxima clase, profundizaremos en el universo utilizando estrellas variables.