

Astrofísica (Semestre 2 2025)

La escalera de distancias cósmicas (III)

Nina Hernitschek

Centro de Astronomía CITEVA
Universidad de Antofagasta

Septiembre 29, 2025

Revisión

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

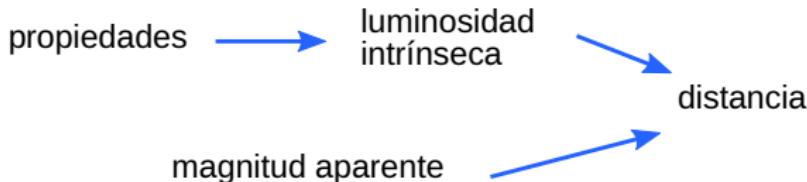
El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Revisión: ¿Por qué es difícil medir las distancias a las estrellas?

Supongamos que todas las estrellas tuvieran la misma luminosidad, las más distantes siempre parecerían más tenues, lo que permitiría inferir la distancia a partir de la magnitud aparente.

Sin embargo, las **luminosidades intrínsecas** no se conocen y pueden diferir.



Revisión

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

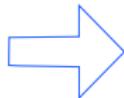
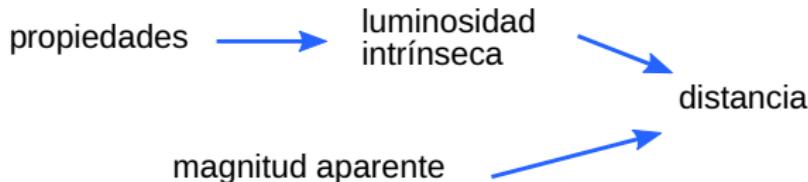
El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Revisión: ¿Por qué es difícil medir las distancias a las estrellas?

Supongamos que todas las estrellas tuvieran la misma luminosidad, las más distantes siempre parecerían más tenues, lo que permitiría inferir la distancia a partir de la magnitud aparente.

Sin embargo, las **luminosidades intrínsecas** no se conocen y pueden diferir.



Es necesario medir alguna propiedad relacionada con la luminosidad intrínseca.

La relación período-luminosidad(-metallicidad)

La escalera de distancias cósmicas (III)

Revisión

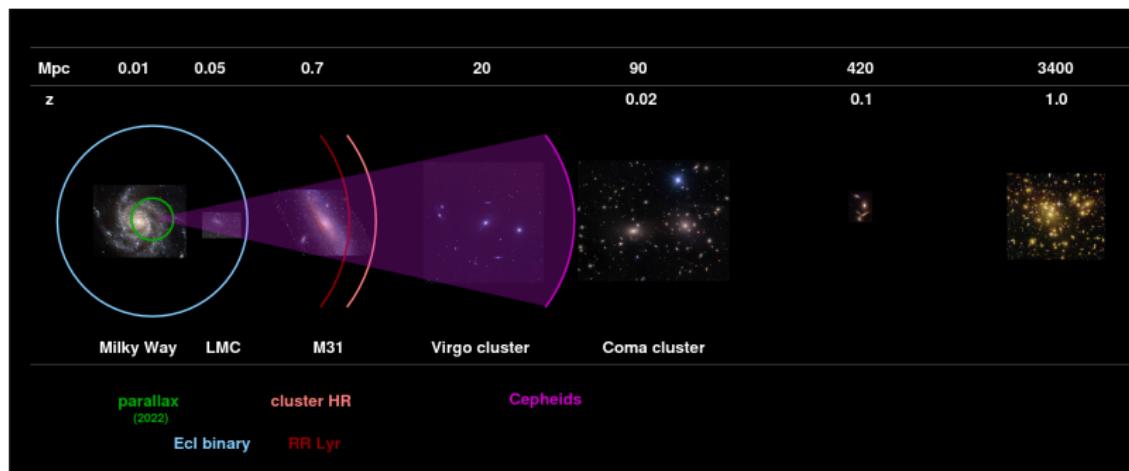
Relación período-luminosidad

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas

Como las cefeidas son más luminosas que las RR Lyrae, podemos utilizarlas para medir distancias más lejanas en las profundidades del espacio.

En particular, las cefeidas permiten medir la distancia al cúmulo de galaxias más cercano, el cúmulo de Virgo.



La relación período-luminosidad(-metalicidad)

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

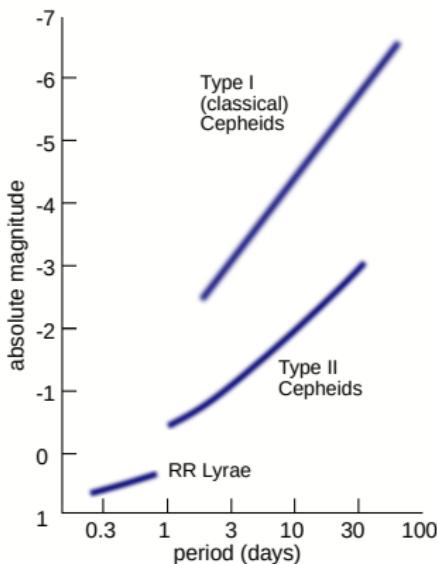
Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Se conocen las relaciones entre el período y la luminosidad de varios tipos de estrellas variables pulsantes: cefeidas de tipo I, cefeidas de tipo II, variables RR Lyrae, variables Mira y otras estrellas variables de largo período.



Las estrellas pulsantes como estimadores de distancia

La escalera de distancias cósmicas (III)

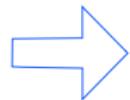
Revisión

Relación período-luminosidad

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas

La relación más conocida entre el período y la magnitud absoluta es la ley de proporcionalidad directa para las **variables Cefeidas clásicas** (Henrietta Swan Leavitt, 1908).



Fundamento para escalar **distancias galácticas y extragalácticas**.

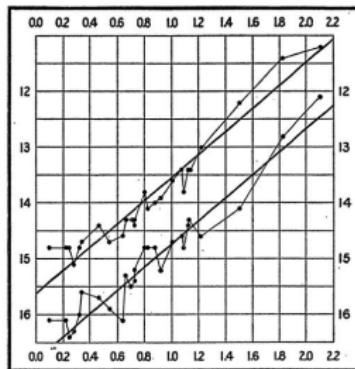


FIG. 2.

Gráfico del artículo de Leavitt de 1912. El eje horizontal es el logaritmo del período de la Cefeida, y el eje vertical es su magnitud aparente.

Las estrellas pulsantes como estimadores de distancia

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

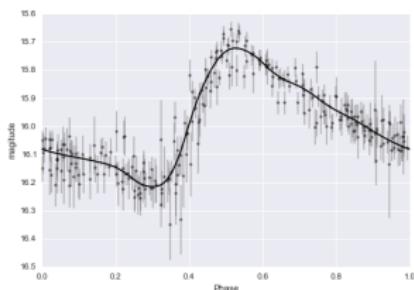
Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Receta básica para utilizar estrellas variables para estimar distancias:



- medida de la magnitud media aparente m
- medir el período P

Las estrellas pulsantes como estimadores de distancia

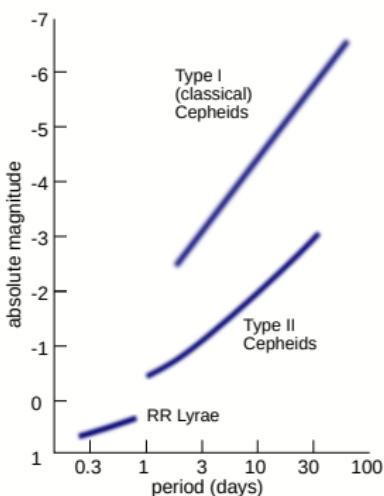
La escalera de distancias cósmicas (III)

Revisión

Relación período-luminosidad

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas



Receta básica para utilizar estrellas variables para estimar distancias:

- medida de la magnitud media aparente m
- medir el período P
- utilizando la relación período-luminosidad, se obtiene la magnitud absoluta M
- resuelve la distancia utilizando la ecuación:
$$d = 10^{(m-M+5)/5} \text{ parsec}$$

1 parsec = $3,086 \times 10^{16}$ m = 3,26156 año luz

Las estrellas pulsantes como estimadores de distancia

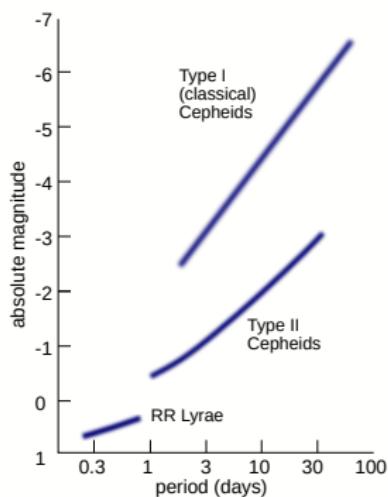
La escalera de distancias cósmicas (III)

Revisión

Relación período-luminosidad

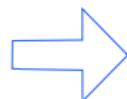
El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas



- medida de la magnitud media aparente m
- medir el período P
- utilizando la relación período-luminosidad, se obtiene la magnitud absoluta M
- resuelve la distancia utilizando la ecuación:
$$d = 10^{(m-M+5)/5} \text{ parsec}$$

1 parsec = $3,086 \times 10^{16}$ m = 3.26156 año luz



Creación de **mapas 3D** de estructuras en nuestra Vía Láctea.

Cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

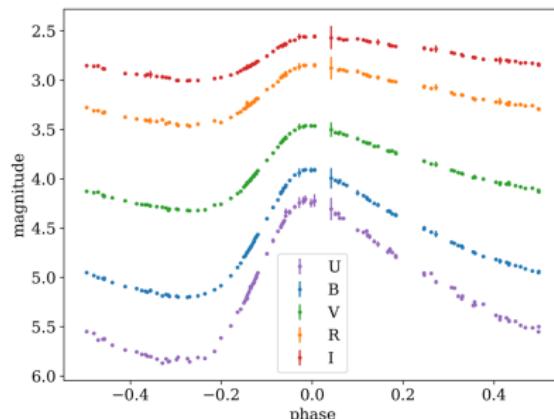
El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Delta Cephei (δ Cep), el prototipo:

Delta Cephei es una estrella de la constelación de Cefeo. Su variabilidad fue descubierta en 1784 por el joven astrónomo inglés John Goodricke.

La estrella alcanza su máxima luminosidad con bastante rapidez y luego desciende más lentamente hasta su mínima luminosidad, tardando un total de 5,4 días en completar un ciclo.



Curvas de luz UVRI plegadas por fase de Delta Cephei que muestran la magnitud frente a la fase de pulsación. (Engle et al. 2014)

Cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Se conocen varios cientos de cefeidas en nuestra galaxia.

periodos: 3 - 50 días

luminosidades: 1000 - 10000 L_{\odot}

$\delta L/L: \sim 10^{-2} - \sim 10$

Causa de la variabilidad: pulsaciones regulares en las capas externas de la estrella.

Cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Polaris (α Ursae Minoris), la Estrella Polar, es la cefeida más cercana.

Su variabilidad está cambiando:

Durante mucho tiempo, varió aproximadamente un 10% en luminosidad visual con un período de poco menos de 4 días. Mediciones recientes: δL está disminuyendo; en algún momento en el futuro, esta estrella dejará de ser una variable pulsante.

Cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

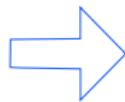
El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Polaris (α Ursae Minoris), la Estrella Polar, es la cefeida más cercana.

Su variabilidad está cambiando:

Durante mucho tiempo, varió aproximadamente un 10% en luminosidad visual con un período de poco menos de 4 días. Mediciones recientes: δL está disminuyendo; en algún momento en el futuro, esta estrella dejará de ser una variable pulsante.



Una prueba más de que **las estrellas evolucionan** y cambian de manera fundamental a medida que envejecen, las Cefeidas son una etapa en la vida de una estrella.

Relación período-luminosidad para las cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

La relación entre el período y la luminosidad fue descubierta en 1908 por Henrietta Leavitt (Observatorio del Harvard College).

Mientras estudiaba fotografías de las Nubes de Magallanes, encontró más de 1700 estrellas variables, entre ellas 20 cefeidas. Como todas se encuentran aproximadamente a la misma distancia, pudo comparar sus luminosidades y períodos, descubriendo una relación fundamental entre estas características que condujo a una forma mucho mejor de estimar las distancias cósmicas.



Henrietta Leavitt (1868-1921)



La Gran Nube de Magallanes es una pequeña galaxia de forma irregular situada cerca de nuestra Vía Láctea.

Relación período-luminosidad para las cefeidas

La escalera de distancias cósmicas (III)

Revisión

Relación período-luminosidad

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas

El hallazgo de Leavitt: las cefeidas que parecen más brillantes siempre tienen períodos más largos de variación de luz.

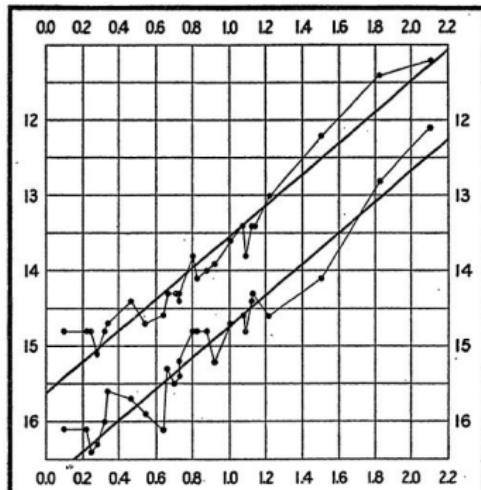


FIG. 2.

Relación período-luminosidad para las cefeidas

La escalera de distancias cósmicas (III)

Revisión

Relación período-luminosidad

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas

El hallazgo de Leavitt: las cefeidas que parecen más brillantes siempre tienen períodos más largos de variación de luz.

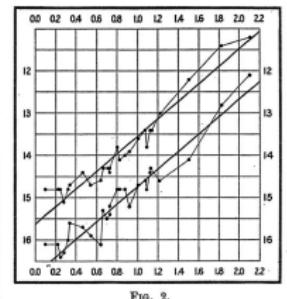
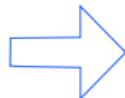


FIG. 2.



conclusión: el período debe estar relacionado con la luminosidad

problema: distancia a las Nubes de Magallanes desconocida, por lo que solo $L \propto p$

calibración: medir las distancias reales a algunas cefeidas cercanas de otra manera

(logrado mediante la búsqueda de cefeidas asociadas en cúmulos con otras estrellas cuyas distancias podían estimarse a partir de sus espectros)

Relación período-luminosidad para las cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

El potencial del método queda inmediatamente claro:
¡distancias a las partes más lejas de la Vía Láctea!

Relación período-luminosidad para las cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

El potencial del método queda inmediatamente claro:
¡distancias a las partes más lejas de la Vía Láctea!

Los astrónomos, entre ellos Ejnar Hertzsprung y Harlow Shapley, de Harvard, vieron inmediatamente el potencial de la nueva técnica. Ellos y muchos otros comenzaron a utilizar las cefeidas como velas estándar para calcular distancias mayores.

Relación período-luminosidad para las cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

El potencial del método queda inmediatamente claro:
¡distancias a las partes más lejas de la Vía Láctea!

Los astrónomos, entre ellos Ejnar Hertzsprung y Harlow Shapley, de Harvard, vieron inmediatamente el potencial de la nueva técnica. Ellos y muchos otros comenzaron a utilizar las cefeidas como velas estándar para calcular distancias mayores.

En la década de 1920, Edwin Hubble realizó uno de los descubrimientos astronómicos más importantes de todos los tiempos utilizando las cefeidas: las observó en galaxias cercanas y descubrió la **expansión del universo**.

Relación período-luminosidad para las cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

El potencial del método queda inmediatamente claro:
¡distancias a las partes más lejas de la Vía Láctea!

Los astrónomos, entre ellos Ejnar Hertzsprung y Harlow Shapley, de Harvard, vieron inmediatamente el potencial de la nueva técnica. Ellos y muchos otros comenzaron a utilizar las cefeidas como velas estándar para calcular distancias mayores.

En la década de 1920, Edwin Hubble realizó uno de los descubrimientos astronómicos más importantes de todos los tiempos utilizando las cefeidas: las observó en galaxias cercanas y descubrió la **expansión del universo**.

Las estrellas variables más lejanas que se conocen son todas cefeidas. Algunas de ellas se encuentran a unos 60 millones de años luz de distancia.

Relación período-luminosidad para las cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Cefeidas de Población I:

Las cefeidas de población I (cefeidas clásicas) son estrellas con una metalicidad relativamente alta (como nuestro Sol) y, por lo tanto, son estrellas de "segunda generación". Se encuentran en el disco de nuestra galaxia. Sufren pulsaciones con períodos muy regulares, del orden de días a meses.

La siguiente relación entre el período P de una Cefeida de Población I y su magnitud absoluta media M_v se estableció a partir de las paralajes trigonométricas del Telescopio Espacial Hubble para 10 Cefeidas cercanas (Thomas et al. 2007, Benedict et al. 2002):

$$M_v = (-2.43 \pm 0.12) (\log_{10} P - 1) - (4.05 \pm 0.02)$$

Relación período-luminosidad para las cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Cefeidas de Población II:

Las cefeidas de población II son estrellas que se encuentran en cúmulos globulares y que son estrellas de "primera generación" con baja metalicidad. Las cefeidas de tipo II son más tenues que sus homólogas cefeidas clásicas en un periodo determinado en aproximadamente 1,6 magnitudes (unas 4 veces menos luminosas).

Relaciones período-luminosidad de las cefeidas de población II (McNamara 1995):

$$P < 10 \text{ días: } M_v = -1,61 \log_{10} P - 0,05,$$

$$P > 10 \text{ días: } M_v = -4,17 \log_{10} P + 3,06$$

La pronunciada pendiente para estrellas con $P > 10$ días puede deberse a un aumento de la masa con el período de pulsación.

Relación período-luminosidad(-metallicidad) para estrellas RR Lyrae

La escalera de distancias cósmicas (III)

Revisión

Relación período-luminosidad

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas

Estrellas RR Lyrae:

La relación PLZ se expresa como (por ejemplo, Catelan et al. 2004, Sollima et al. 2006):

$$M_\lambda = \alpha_\lambda \log_{10}(P/P_{\text{ref}}) + \beta_\lambda ([\text{Fe}/\text{H}] - [\text{Fe}/\text{H}]_{\text{ref}}) + M_{\text{ref},\lambda} + \epsilon$$

donde λ denota el paso de banda, P es el período de pulsación, M_{ref} es la magnitud absoluta en un período y metalicidad de referencia, y α , β describen la dependencia de la magnitud absoluta con respecto al período y la metalicidad.

La variable ϵ es una variable aleatoria normal estándar que permite modelar la dispersión intrínseca de la magnitud absoluta convolucionada con incertidumbres de medición no contabilizadas.

La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Tratar de comprender la forma de la colección de estrellas que llamamos nuestra Galaxia es como tratar de **trazar un mapa de un bosque desde su interior.**

La Vía Láctea se conoce desde la antigüedad.

Se veía como una banda difusa de luz que cruzaba el cielo nocturno, pero se desconocía su naturaleza.



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Muchas culturas aborígenes australianas hablan del Emú en el cielo: una de las pocas astronomías que se centraba en los **espacios oscuros** en lugar de en las estrellas brillantes.



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

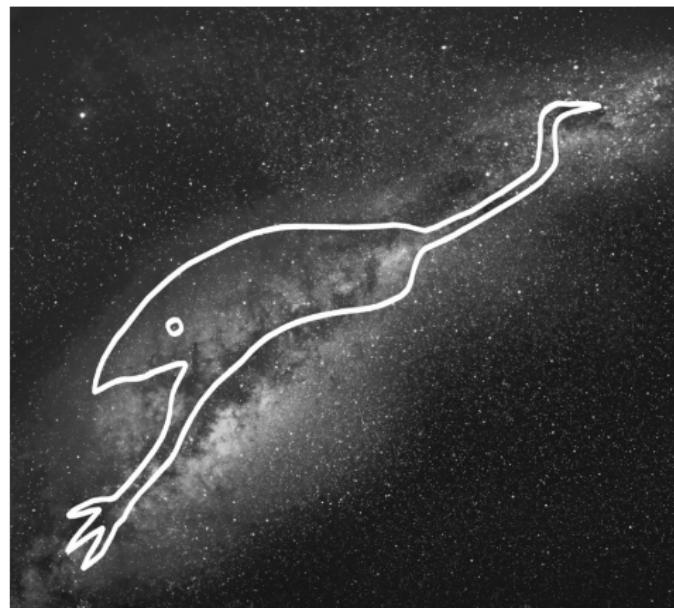
Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Muchas culturas aborígenes australianas hablan del Emú en el cielo: una de las pocas astronomías que se centraba en los **espacios oscuros** en lugar de en las estrellas brillantes.



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

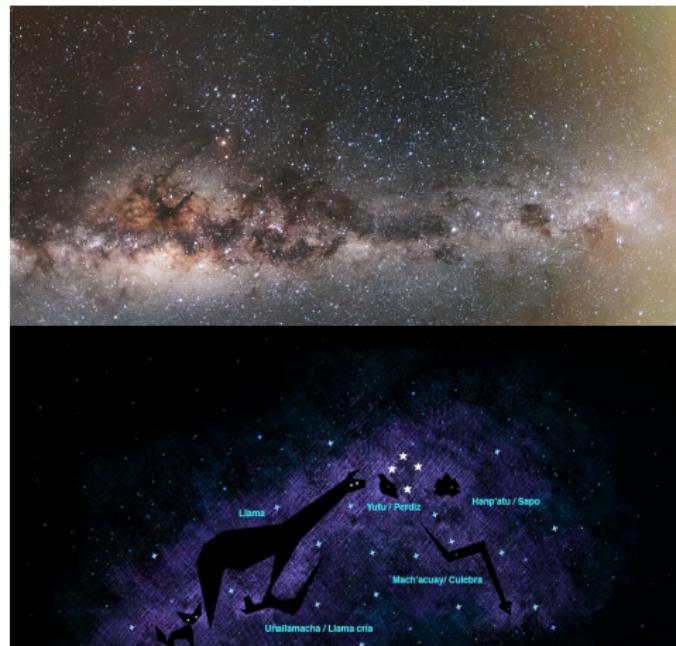
Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

La Yakan o Llama Celestial es una constelación oscura en la astronomía andina quechua y aymara.
La constelación oscura representa a una llama con su cría.



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Galileo fue la primera persona en demostrar que la **Vía Láctea estaba formada por estrellas.**

Sin embargo, Galileo no **hizo ningún comentario** sobre otro aspecto importante que podemos observar en la Vía Láctea: que solo ocupa una estrecha franja del cielo.

La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

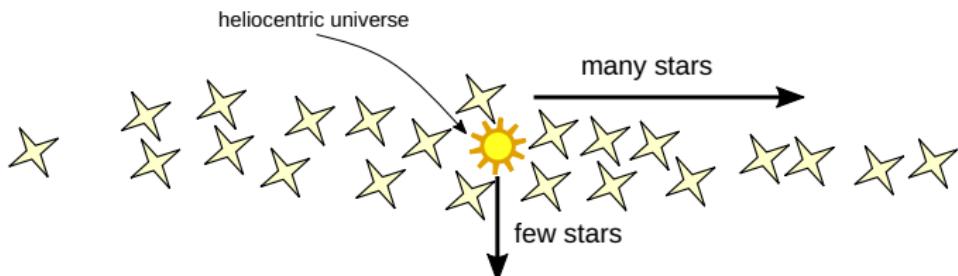
Relación
periódico-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Galileo no hizo ningún comentario sobre otra cosa importante que podemos observar acerca de la Vía Láctea: que solo ocupa una estrecha franja en el cielo.

Si el universo fuera esférico, habría numerosas estrellas en todas las direcciones. El hecho de que veamos muchas estrellas solo en algunas direcciones significa que el universo es **anisotrópico**, es decir, diferente en diferentes direcciones.



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

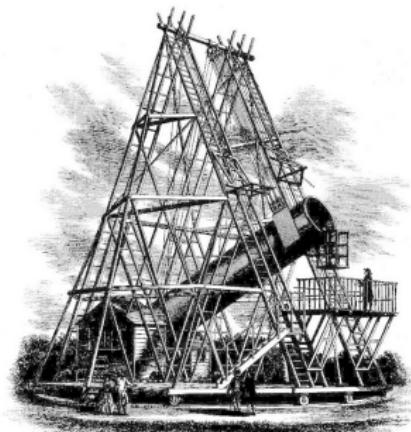
El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

En 1785, William y Caroline Herschel utilizaron el recuento de estrellas para **determinar la forma de la Vía Láctea**.

Contaron el número de estrellas en 683 direcciones en el cielo: entre 1 y 588 estrellas en el campo de visión de 15 minutos de arco de su gran telescopio de cuarenta pies.

A continuación, asumió que las estrellas llenaban la Galaxia de manera uniforme hasta algún límite, fuera del cual había vacío. Contando el número de estrellas en cada dirección, pudo calcular la distancia hasta ese límite.



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

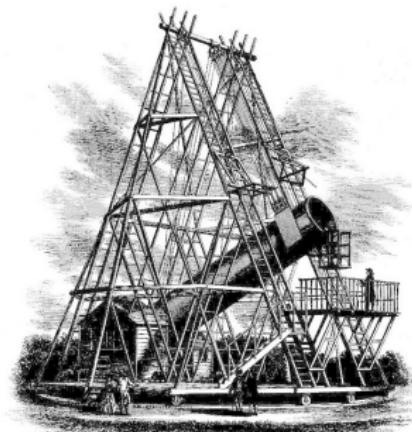
El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

En 1785, William y Caroline Herschel utilizaron el recuento de estrellas para **determinar la forma de la Vía Láctea**.

Contaron el número de estrellas en 683 direcciones en el cielo: entre 1 y 588 estrellas en el campo de visión de 15 minutos de arco de su gran telescopio de cuarenta pies.

A continuación, asumió que las estrellas llenaban la Galaxia de manera uniforme hasta algún límite, fuera del cual había vacío. Contando el número de estrellas en cada dirección, pudo calcular la distancia hasta ese límite.



Deduyó que la Vía Láctea es un **disco grueso aplanado**, con el Sol casi en el centro.

La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

En 1915, el joven astrónomo Harlow Shapley estaba estudiando los cúmulos globulares. Descubrió que los **cúmulos globulares no están distribuidos uniformemente en el cielo.**

Desde el hemisferio norte, se observan muy pocos cúmulos globulares en el cielo de verano, pero muchos en el cielo de invierno, hacia Escorpio y Sagitario.

Los cúmulos globulares son agrupaciones de estrellas que contienen entre 10 000 y un millón de estrellas. Suelen tener un tamaño de unos pocos parsecs y son más densos en el centro, donde puede haber hasta 1 000 000 de estrellas por parsec cúbico.



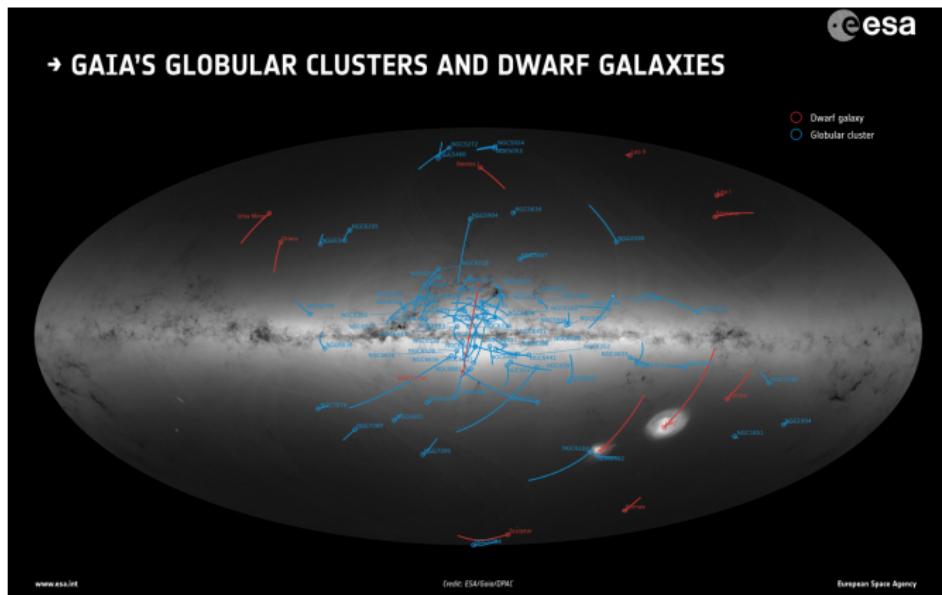
El cúmulo globular ω Centauri, uno de los más grandes de la Galaxia.

La Vía Láctea

La escalera de distancias cósmicas (III)

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas



Una vista completa del cielo con 75 cúmulos globulares (azul) y 12 galaxias enanas (rojo) tal y como las ve el satélite Gaia. Se indica el movimiento propio.

La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

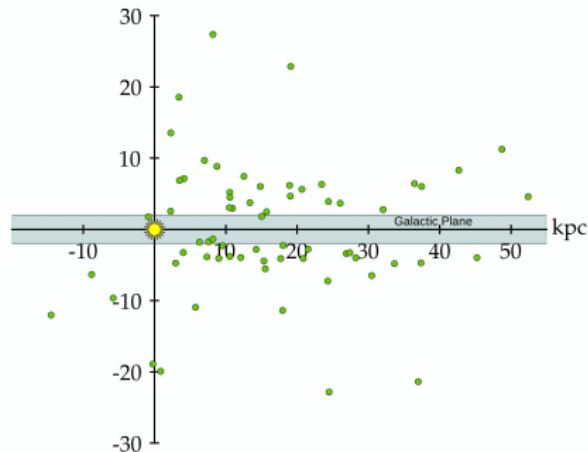
El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

¿A qué distancia se encuentran los cúmulos globulares?

Después de que Henrietta Leavitt publicara su relación entre el período y la luminosidad de las variables Cefeidas, Shapley calibró la relación utilizando variables cercanas, para poder utilizarlas como **candelas estándar**.

Cuando Shapley trazó las posiciones tridimensionales de los cúmulos globulares, descubrió que estaban centrados alrededor de un punto situado a unos 16 000 parsec de distancia en Sagitario.



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

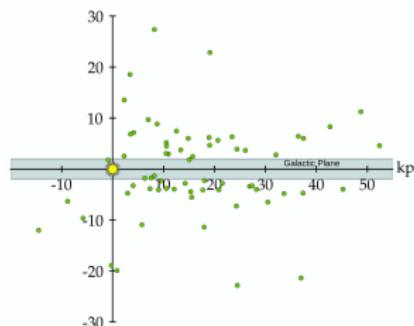
El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

¿A qué distancia se encuentran los cúmulos globulares?

Después de que Henrietta Leavitt publicara su relación entre el período y la luminosidad de las variables Cefeidas, Shapley calibró la relación utilizando variables cercanas, para poder utilizarlas como **candelas estándar**.

Cuando Shapley trazó las posiciones tridimensionales de los cúmulos globulares, descubrió que estaban centrados alrededor de un punto situado a unos 16 000 parsec de distancia en Sagitario.



A partir de la distribución asimétrica de los cúmulos globulares, Shapley **concluyó**: vivimos en el borde de la Vía Láctea.

La Vía Láctea

La escalera de distancias cósmicas (III)

Revisión

Relación período-luminosidad

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas

Shapley acertó en lo esencial: el Sol no está en el centro de la Vía Láctea. Sin embargo, Shapley **sobreestimó** el tamaño de la Vía Láctea.

En 1930, Robert Trumpler finalmente ideó el experimento crucial. En el Observatorio Lick, calculó la distancia de unos 100 cúmulos estelares abiertos de dos maneras: una utilizando su brillo y otra utilizando su tamaño.

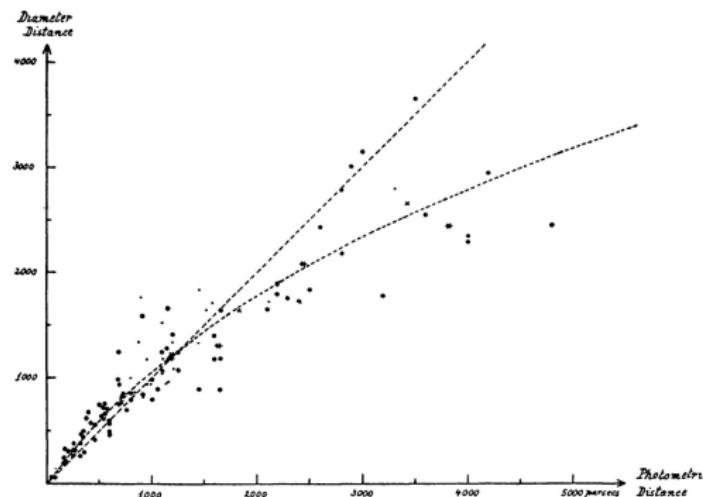


Gráfico de Trumpler (1930): el eje x indica la distancia fotométrica a cada cúmulo, el eje y indica la distancia diametral. Si la luz viajara libremente por el espacio, sin verse afectada por ningún material, las dos estimaciones de distancia diferentes deberían dar el mismo resultado, y todos los puntos deberían estar situados en una línea recta con una pendiente de 1.

La Vía Láctea

La escalera de distancias cósmicas (III)

Revisión

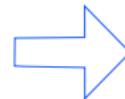
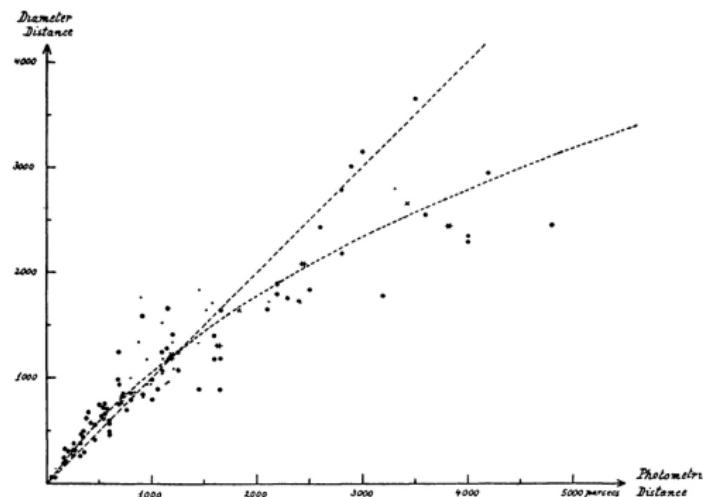
Relación período-luminosidad

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas

Shapley acertó en lo esencial: el Sol no está en el centro de la Vía Láctea. Sin embargo, Shapley **sobreestimó** el tamaño de la Vía Láctea.

En 1930, Robert Trumpler finalmente ideó el experimento crucial. En el Observatorio Lick, calculó la distancia de unos 100 cúmulos estelares abiertos de dos maneras: una utilizando su brillo y otra utilizando su tamaño.



Resultado: Los cúmulos más distantes parecían ser sistemáticamente más grandes que los cercanos, lo que debe significar que su luz se ve atenuada por el polvo y, por lo tanto, su distancia se sobreestima.

La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

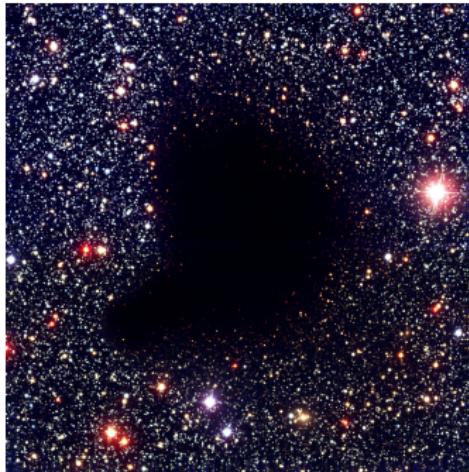
Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Trumpler concluyó que la luz de los cúmulos se ve **atenuada y enrojecida por el polvo** de la Galaxia.

Las franjas oscuras de la Vía Láctea se explican así como **nubes de polvo** que ocultan la luz de las estrellas que hay más allá. El polvo está compuesto por diminutas partículas (\sim unos pocos μm) de carbono y silicio.



La nube oscura Barnard 68, un probable futuro lugar de formación estelar.
Crédito: ESO.

La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Mientras se calculaba el tamaño de nuestra propia galaxia, se hizo evidente que las **nebulosas espirales**, conocidas desde hacía tiempo, eran en realidad otros universos insulares, es decir, galaxias por sí mismas.

The great spirals ... apparently lie outside our stellar system. (Las grandes espirales... aparentemente se encuentran fuera de nuestro sistema estelar.)

Edwin Hubble, 1917

La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

El **Gran Debate** (*Great Debate*) sobre la naturaleza de las nebulosas espirales, también conocido como el Debate Shapley-Curtis, tuvo lugar el 26 de abril de 1920 en el Museo Smithsonian de Historia Natural, entre los astrónomos Harlow Shapley y Heber Curtis.

Harlow Shapley

*Las nebulosas espirales
son objetos cercanos
dentro de la Vía Láctea.*



Heber Curtis

*Las nebulosas espirales
son sistemas estelares
distantes **fueras** de la Vía
Láctea.*



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

El **Gran Debate** (*Great Debate*) sobre la naturaleza de las nebulosas espirales, también conocido como el Debate Shapley-Curtis, tuvo lugar el 26 de abril de 1920 en el Museo Smithsonian de Historia Natural, entre los astrónomos Harlow Shapley y Heber Curtis.

Harlow Shapley

*Las nebulosas espirales
son objetos cercanos
dentro de la Vía Láctea.*



el ganador

Heber Curtis

*Las nebulosas espirales
son sistemas estelares
distantes **fuera** de la Vía
Láctea.*



La Vía Láctea

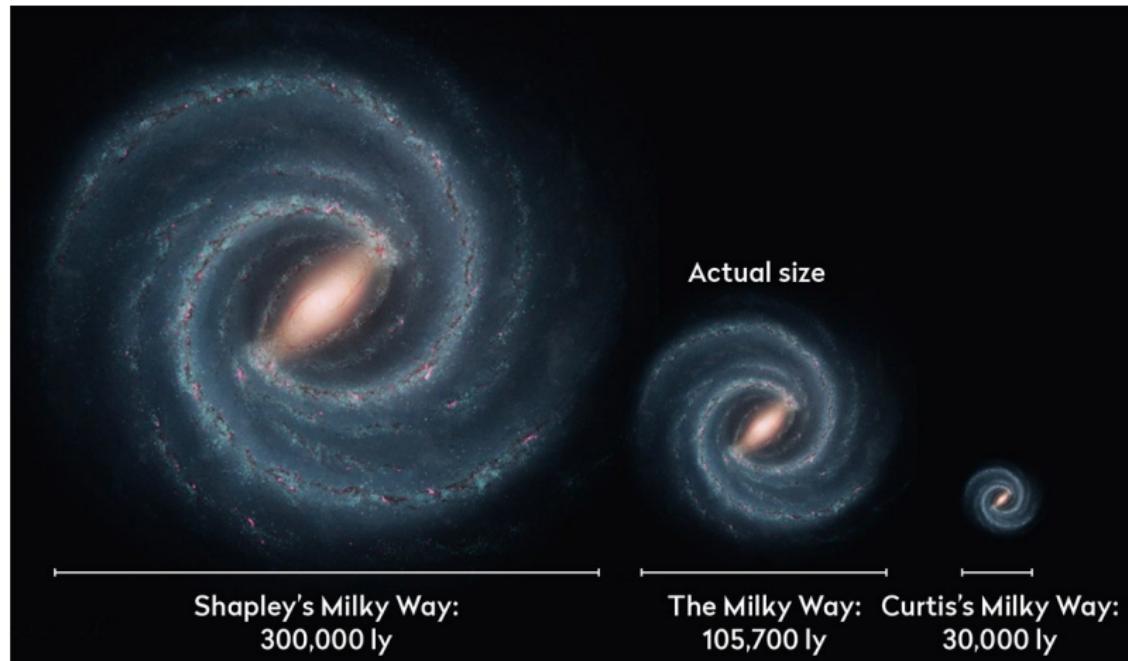
La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

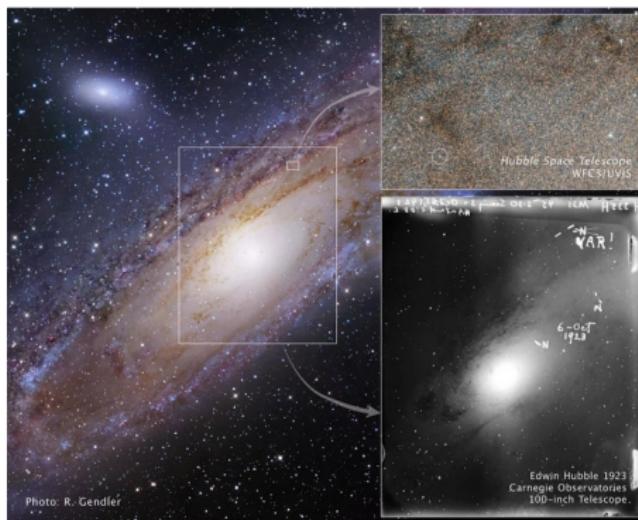
El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

evidencia observacional:

En 1923/1924, Edwin Hubble descubrió las cefeidas en Andrómeda.

A partir de ello, determinó que la distancia a la nebulosa de Andrómeda, que ahora llamamos **galaxia de Andrómeda**, era de unos pocos millones de años luz y demostró que se trata de un sistema estelar independiente fuera de la Vía Láctea.



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

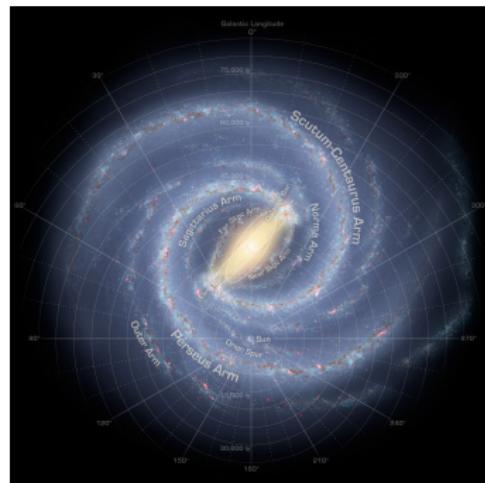
El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Hoy en día conocemos la estructura de nuestra galaxia:

- un bulbo de estrellas antiguas en el centro
- un disco de estrellas y gas
- un halo de cúmulos globulares

Visto desde arriba, se vería así:



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

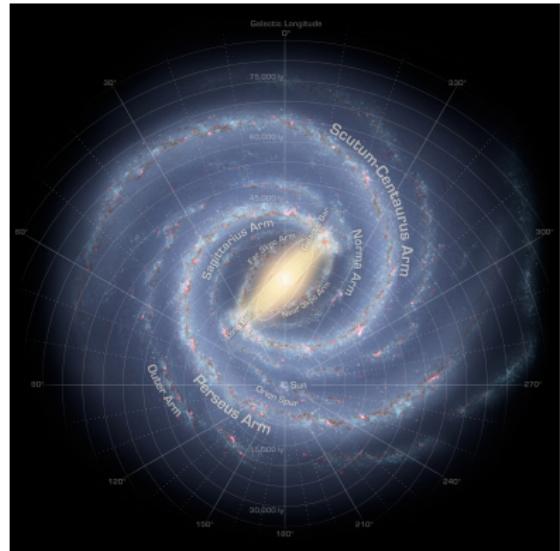
Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

La Vía Láctea tiene un radio de aproximadamente 25 kpc (75 000 años luz), y el Sol se encuentra a poco más de la mitad de distancia del centro.

Los **brazos spirales** están incrustados en el **disco**, que contiene estrellas, cúmulos estelares abiertos y casi todo el gas y polvo de la galaxia. Es el lugar donde se produce la mayor parte de la formación estelar en la Galaxia, por lo que el disco está iluminado por brillantes estrellas azules masivas.



La Vía Láctea

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

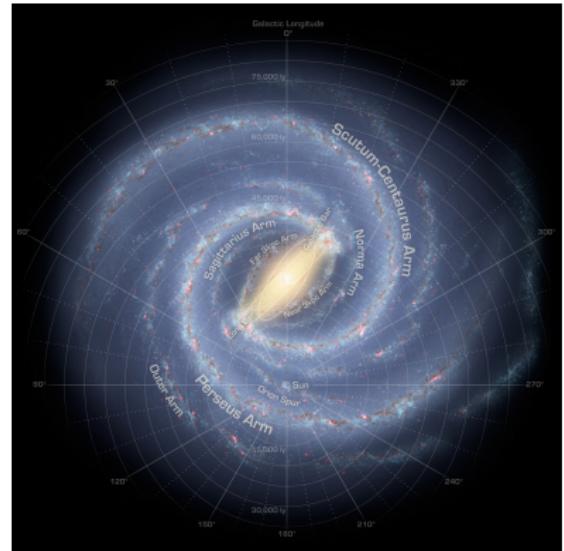
Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

El **bulbo** es la densa nube de estrellas que rodea el centro de la galaxia. Tiene un radio de aproximadamente 2 kpc y está ligeramente aplanado.

El bulbo contiene poco gas y polvo, por lo que hay poca formación estelar.



La Vía Láctea

La escalera de distancias cósmicas (III)

Revisión

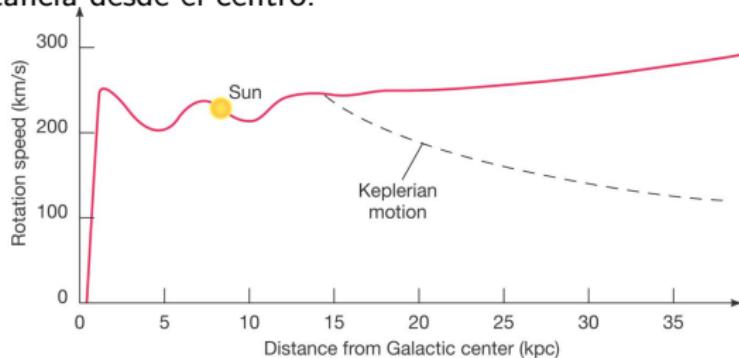
Relación período-luminosidad

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas

El número total de estrellas en la Galaxia es de aproximadamente 200 000 millones; la masa total es aproximadamente un billón de veces la masa del Sol (10^{12} masas solares).

Mediante la medición de las velocidades de las estrellas a diferentes distancias del centro galáctico, podemos obtener el perfil de masa de la Galaxia. En lugar de disminuir, la curva de rotación **aumenta** con la distancia desde el centro.



La Vía Láctea

La escalera de distancias cósmicas (III)

Revisión

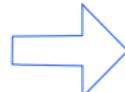
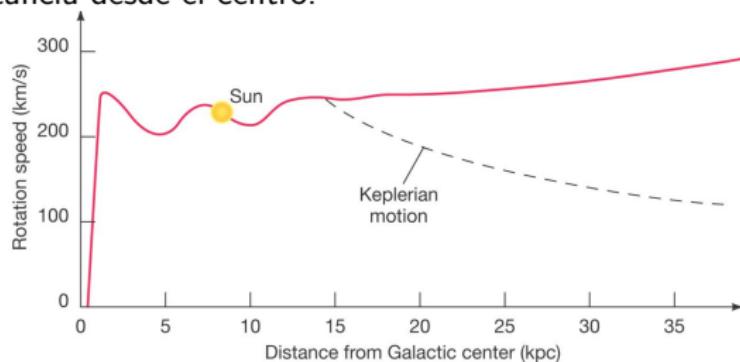
Relación período-luminosidad

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas

El número total de estrellas en la Galaxia es de aproximadamente 200 000 millones; la masa total es aproximadamente un billón de veces la masa del Sol (10^{12} masas solares).

Mediante la medición de las velocidades de las estrellas a diferentes distancias del centro galáctico, podemos obtener el perfil de masa de la Galaxia. En lugar de disminuir, la curva de rotación **aumenta** con la distancia desde el centro.



La masa de la galaxia aumenta con la distancia desde el centro, la masa total es varias veces mayor que la masa visible: **la materia oscura**.

Poblaciones de cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

En 1931, Edwin Hubble descubrió que, por alguna razón, los cúmulos globulares de Andrómeda eran más tenues que los cúmulos similares de la Vía Láctea.

Poblaciones de cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

En 1931, Edwin Hubble descubrió que, por alguna razón, los cúmulos globulares de Andrómeda eran más tenues que los cúmulos similares de la Vía Láctea.



O bien los cúmulos globulares de Andrómeda son fundamentalmente diferentes a los de nuestra propia Vía Láctea, o bien Andrómeda debe estar más lejos de lo que se había calculado inicialmente.

Poblaciones de cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

En 1931, Edwin Hubble descubrió que, por alguna razón, los cúmulos globulares de Andrómeda eran más tenues que los cúmulos similares de la Vía Láctea.



O bien los cúmulos globulares de Andrómeda son fundamentalmente diferentes a los de nuestra propia Vía Láctea, o bien Andrómeda debe estar más lejos de lo que se había calculado inicialmente.

Poblaciones de cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

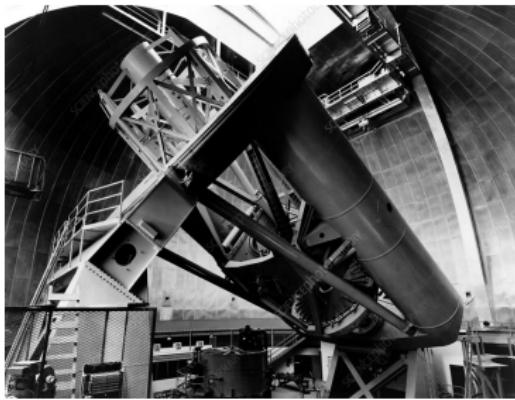
Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Utilizando placas fotográficas especiales sensibles al rojo, el Dr. Baade descubrió dos poblaciones de estrellas:

- estrellas variables más azules y brillantes, de "tipo I", situadas en cúmulos abiertos en el disco de Andrómeda (brazos espirales exteriores).
- estrellas más rojas y tenues, de "tipo II", en cúmulos globulares cercanos al centro de Andrómeda y en su halo periférico (como en la Vía Láctea)



El telescopio que confirmó la magnitud del cosmos: el telescopio Hale de 200 pulgadas del Monte Palomar se completó en 1949.
credit: Mt. Wilson-Palomar Observatories

Poblaciones de cefeidas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

A partir de ahí, se concluyó además que las cefeidas clásicas y las cefeidas de tipo II siguen relaciones período-luminosidad diferentes. En promedio, la luminosidad de las cefeidas de tipo II es inferior a la de las cefeidas clásicas en aproximadamente 1,5 magnitudes (pero sigue siendo más brillante que las estrellas RR Lyrae).

El descubrimiento de Baade condujo a un **doble aumento de la distancia a M31** y a la escala de distancias extragalácticas.

Las estrellas RR Lyrae, entonces conocidas como variables de cúmulo, se reconocieron bastante pronto como una clase separada de variables, debido a sus cortos períodos.

Relaciones período-luminosidad(-metallicidad) para las cefeidas y las RR Lyrae

La escalera de distancias cósmicas (III)

Revisión

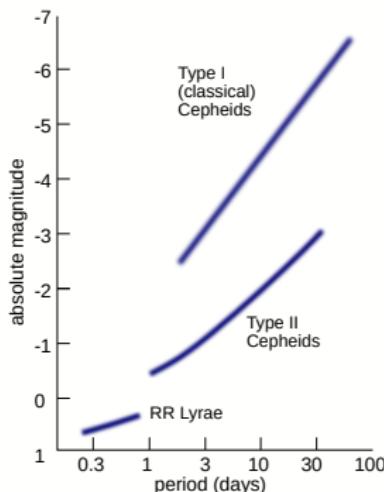
Relación período-luminosidad

El tamaño de la Vía Láctea

Perspectivas

Se conocen las relaciones período-luminosidad para varios tipos de estrellas variables pulsantes: cefeidas de tipo I, cefeidas de tipo II, variables RR Lyrae, variables Mira y otras estrellas variables de largo período.

Una clasificación fiable de las estrellas variables permite elegir la relación período-luminosidad correcta para una estrella.



Perspectivas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Las estrellas variables pulsantes nos permitieron resolver un misterio: ¿Qué es la Vía Láctea? ¿Qué tamaño tiene?
Encontramos **distancias galácticas**.

Tambien, nos permitieron hacernos una idea de las **distancias extragalácticas**.

Perspectivas

La escalera de
distancias
cósmicas (III)

Revisión

Relación
período-
luminosidad

El tamaño de
la Vía Láctea

Perspectivas

Las estrellas variables pulsantes nos permitieron resolver un misterio: ¿Qué es la Vía Láctea? ¿Qué tamaño tiene?
Encontramos **distancias galácticas**.

Tambien, nos permitieron hacernos una idea de las **distancias extragalácticas**.

Pero para observar más profundamente el universo, necesitamos fuentes mucho más brillantes: **las supernovas**.