

# MEDIR DISTANCIAS EN EL UNIVERSO

Julián Salas Camarero

*A pesar de que no hemos llegado ni a la estrella más cercana a nuestro sol, y de que probablemente nunca podamos salir de nuestra galaxia, los humanos, desde nuestro humilde planeta, hemos logrado tener una idea bastante precisa de las distancias a las que se encuentran los objetos que pueblan el universo.*

## Introducción

En astronomía casi todas las cifras son asombrosas. En nuestra galaxia hay doscientos mil millones de estrellas y en el universo cien mil millones de galaxias. Las estrellas producen ingentes cantidades de energía, su masa se mide en trillones de toneladas. En esa línea están las distancias. Los planetas se encuentran a cientos de millones de kilómetros, las estrellas más próximas a billones de kilómetros y las galaxias a cifras casi innumerales. No sorprende por tanto que las distancias astronómicas escapen a la intuición.

## Una primera pregunta

¿Por qué queremos conocer la distancia a la que se encuentran los planetas, las estrellas, las galaxias, los cúmulos de galaxias y los cúasares? Saber la distancia a la que están los cuerpos celestes es esencial para conocer su luminosidad, masa y tamaño. Se necesita para poder entender cómo es y cómo funciona el universo porque la distancia interviene en las leyes básicas del universo. Aparece en la ley de la gravitación universal, que rige la mecánica celeste. La necesitamos para saber cuál será el destino del universo porque según la densidad de materia que posea así evolucio-

nará (abierto o cerrado), y la densidad de materia depende del volumen, que a su vez lo hace del radio (la distancia). Conocer con precisión las distancias es también crucial para determinar el valor preciso de la tasa de expansión del universo (la llamada constante de Hubble,  $H_0$ ), dato necesario para estimar el tamaño y la edad del universo.

## Unidades de medida

Medir es comparar, pero comparar con qué; con la unidad de medida elegida. En astronomía las unidades más utilizadas para medir distancias son la unidad astronómica, el año-luz y el pársec (ver recuadro *Unidades de medida*).

### Unidades de medida

Metro = distancia arbitraria elegida como patrón.

Kilómetro = 1000 metros.

Unidad astronómica (distancia al Sol) = 149.597.892 Km.

**Año-luz (distancia que recorre la luz en un año) = 9.454.256.280.000 Km.**

Parsec (distancia a la cual el radio de la órbita de la Tierra subtende un ángulo de un segundo de arco) = 3,26 años-luz =  $3 \times 10^{13}$  Km.

## Principales métodos de medición de distancias y su clasificación

Una vez que hemos elegido las unidades de medida, la pregunta es: ¿cómo medir?, ¿cómo saber cuántas de esas unidades de medida hay hasta un objeto dado?, ¿cómo saber

que si elegimos el metro como unidad, hasta la Luna hay 380 millones de esas unidades? O que si elegimos el año-luz, hasta la galaxia de Andrómeda hay 2,8 millones de ellos. La respuesta son los métodos de medida. De los más de veinte que se conocen se van a explicar los nueve más relevantes. Estos métodos se clasifican en galácticos y extragalácticos. Y a su vez, dentro de los extragalácticos (los que nos sirven para medir distancias más allá de nuestra galaxia), subdividirlos entre primarios y secundarios.

## Métodos galácticos

Son los utilizados para medir distancias dentro de nuestra galaxia, cosmológicamente hablando distancias muy cortas.

-*Método del paralaje.*

-*Movimiento propio en cúmulos.*

-*Espectroscopia estelar.*

## Métodos extragalácticos

### Primarios

Son los métodos que pueden calibrarse a partir de observaciones en nuestra galaxia o a partir de consideraciones teóricas.

-*Estrellas cefeidas*

-*Supernovas*

-*Lentes gravitacionales*

### Secundarios

Son métodos cuya calibración se hace a partir de galaxias del grupo Local y otros grupos cercanos, cuyas distancias se han conocido a partir de los métodos primarios.

- Método de Tully-Fisher
- Luminosidad de los cúmulos globulares
- Nebulosas planetarias

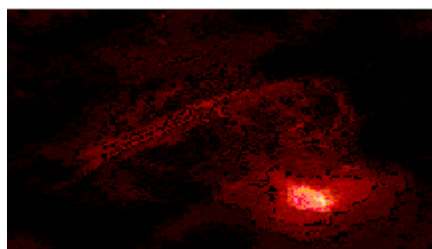
---

### Distancias de referencia

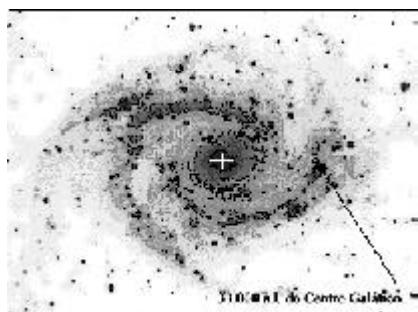
Próxima Centauri: a 4,3 años-luz



Centro de la galaxia: a 30.000 años-luz



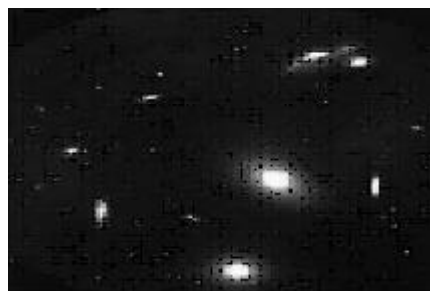
Tamaño Vía Láctea: 100.000 años-luz



Andrómeda: a 2,8 millones de años-luz



Cúmulo de Virgo: a 50 millones de años-luz



Confines del universo: a 14.000 millones de años-luz




---

### Métodos Galácticos

#### MÉTODO DEL PARALAJE

La paralaje es el desplazamiento observado en la posición de un cuerpo cuando el observador lo mira desde dos puntos diferentes. Es el fenómeno que se produce si estiramos nuestro brazo y cerramos alternativamente los ojos. Observaremos cómo cambia la posición del dedo respecto al fondo al observarlo primero con un ojo cerrado y luego con el otro. Aplicado a la astronomía, la paralaje es el desplazamiento observado en la posición de una estrella cuando se observa desde dos puntos diferentes de la órbita de la Tierra. Enfocando una misma estrella, con seis meses de intervalo, se puede notar un débil desplazamiento respecto al fondo de las estrellas lejanas. Y gracias a ello se puede obtener la distancia a la estrella dividiendo la distancia Tierra-Sol por

el paralaje en radianes ( $360^\circ$  son  $2\pi$  radianes).

Las distancias a las que están las estrellas son tan enormes que Próxima Centauri, la más cercana a nuestro sol, tiene una paralaje de  $0,76''$  (el espesor de un pelo a un kilómetro de distancia), lo que da una distancia de 4,3 años-luz. A pesar de que los ángulos que de paralaje son ínfimos, con esta técnica se han logrado medir distancias de hasta 500 años-luz gracias al satélite Hipparcos (**H**igh **P**recision **P**arallax **C**ollecting **S**atellite), lanzado en 1995 por la ESA (Agencia Espacial Europea) y que midió la paralaje de un millón de estrellas con una resolución de 0,001 arcosegundo (¡1 milisegundo de arco es lo que crece el pelo de una persona situada a un metro de distancia en un segundo!)

### Hipparcos



*Nacido en el siglo II antes de Cristo, fue matemático, filósofo y astrónomo. Usando el único instrumento astronómico disponible que tenía (¡sus ojos!), midió la posición de las estrellas y planetas que pasaban cada noche sobre una cabeza. Realizó un catálogo de 1.080 estrellas. En su honor, el satélite de la ESA que ha medido la paralaje de más de un millón de estrellas, lleva su nombre.*

El método del paralaje es el ideal, pero sólo es aplicable a las estrellas cercanas. El resto están demasiado lejos para poder apreciar variación en el ángulo de desplaza-

miento. Para conocer a qué distancia están se han desarrollado otros métodos.

MOVIMIENTO PROPIO EN CÚMULO

Las estrellas de los cúmulos parecen desplazarse juntas. En los cercanos, como el de las Hyades, es posible percibir ese cambio aparente, muy débil pero continuo, de la posición relativa de las estrellas en la bóveda celeste. Si a ese desplazamiento angular añadimos que es posible conocer, gracias a la espectroscopia (por efecto Doppler), la velocidad radial del movimiento de cualquier estrella del cúmulo, tenemos un nuevo método para medir distancias. La velocidad tangencial es la angular por la distancia, y también la radial por la tangente del ángulo de convergencia (hacia el lugar al que parecen dirigirse las estrellas del cúmulo es su viaje por el espacio). Con este método, comprobado por el de paralaje, se alcanzan distancias de hasta 650 años-luz.

ESPECTROSCOPIA ESTELAR.

Cada estrella tiene un color debido a su temperatura superficial. A cada color de estrella (temperatura) corresponde un brillo intrínseco determinado dependiendo del tipo de estrella de que se trate, algo que podemos conocer gracias a la espectroscopia. Una vez que sabemos, gracias a la paralaje, lo que debería de brillar ese tipo de estrella (magnitud absoluta) y lo que realmente brilla (magnitud aparente), es fácil saber a qué distancia está, ya que el brillo disminuye con la inversa de la distancia al cuadrado. (Dos bombillas, una de 100 vatios y otras de 25 vatios, parecen brillar lo mismo si la de 100 vatios está el doble de lejos que la de 25.)

Las magnitudes absolutas correspondientes a cada tipo espectral han sido determinadas por el método del paralaje. Una vez calibrado, este método es aplicable hasta las nubes de Magallanes, que están a unos 170.000 años-luz.

(métodos que vamos a ver a continuación). Este método es aplicable a galaxias cercanas (hasta el cúmulo de Virgo), especialmente en las elípticas, galaxias con poco polvo y en las que por tanto pueden verse fácilmente las nebulosas.

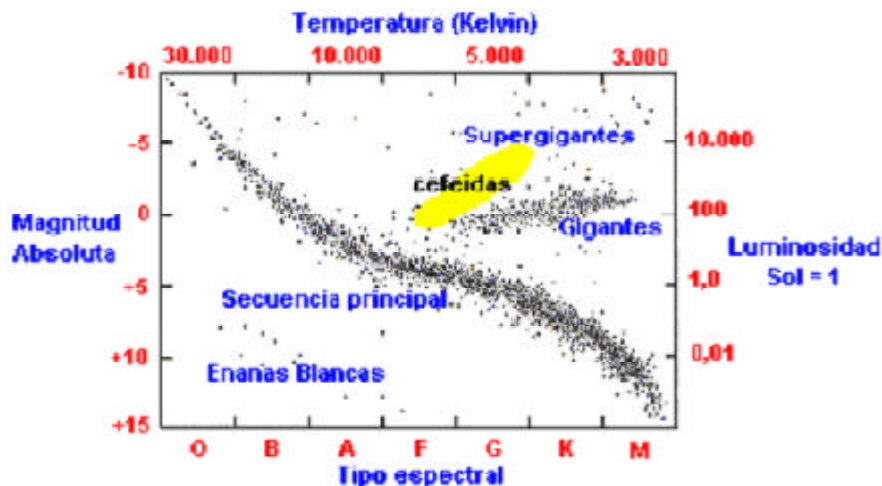


Figura 1.- Diagrama H-R. Una vez que conozcamos la temperatura superficial de la estrella y su tipo espectral, en este gráfico podemos saber la magnitud absoluta que debe de tener. Observando la que tiene podemos deducir la distancia a la que está.

Métodos Extragalácticos

NEBULOSAS PLANETARIAS

Las nebulosas planetarias se forman cuando estrellas similares al sol mueren. Lo sorprendente ha sido descubrir que todas las nebulosas planetarias tienen aproximadamente el mismo brillo intrínseco. Por tanto, si sabemos lo que debe de brillar y vemos lo que brilla, podemos, como en el método anterior, saber a qué distancia está la nebulosa ya que el brillo aparente disminuye con la inversa de la distancia al cuadrado. Que todas las nebulosas planetarias tiene aproximadamente el mismo brillo se ha comprobado gracias a las estrellas variables cefeidas y al de Tully-Fisher

ESTRELLAS CEFÉIDAS

Este método primario de medir distancias lo encontró Henrietta Leavitt en 1914. Esta astrónoma se dio cuenta de que había unas estrellas variables que seguían una regla: a mayor velocidad de variación del brillo, menor magnitud absoluta de la estrella. La estrella más famosa de este tipo está en la constelación de Cefeo (la estrella de cuarta magnitud  $\delta$ ) y por eso el método recibe ese nombre.

Las cefeidas son estrellas jóvenes, hasta 10.000 veces más brillantes que el Sol, que se contraen y dilatan de forma regular, lo que hace que su luminosidad varíe a lo largo del tiempo, ya que el brillo de la estrella es proporcional a su área superficial. Es un método muy fiable porque el comportamiento teórico de ese tipo de estrellas variables se conoce muy bien.

De nuevo, en cuanto conozcamos la magnitud absoluta que debe

de tener la estrella, podemos saber a qué distancia está al observar la magnitud aparente.

Se calibra a partir del método del movimiento propio en cúmulos y es aplicable hasta 100 millones de años-luz (algo más allá del Grupo Local de galaxias). Aunque el margen de error es del 15%, es uno de los pilares de las distancias en astronomía.

de cada luminosidad parece independiente de la galaxia.

Al ser muy luminosos son fáciles de reconocer en otras galaxias. De nuevo nos encontramos en la situación de saber lo que debería de brillar un objeto y lo que en realidad brilla. No hay más que aplicar la fórmula del inverso al cuadrado para obtener la distancia.

Calibrado gracias al método de las cefeidas, permite llegar a distancias de hasta 160 millones de

es poco a escala cosmológica (14.000 millones de años-luz). Los dos próximos métodos son los que nos permitirán “estirar la mano” para llegar hasta los confines.

### SUPERNOVAS

La estrellas enanas blancas en sistemas binarios “roban” materia de la compañera y aumenta su masa hasta una cantidad en la que la estrella explota como supernova de tipo Ia (léase: uno a). Estas supernovas tienen un espectro similar y siempre alcanzan la misma magnitud absoluta en el máximo de brillo (-18,8), por lo que son luces estándar perfectas. Esa luminosidad rivaliza con la de la galaxia donde está, por lo que puede verse a grandes distancias Aunque la muerte de una estrella como supernova es un fenómeno poco frecuente (unas cinco por siglo en una galaxia masiva), hay tantas galaxias, que se detecta, en promedio, una supernova cada semana. Aunque no es un método muy preciso permite llegar a distancias de hasta 5.000 millones de años

### LENTES GRAVITACIONALES

Si un punto brillante lejano es observado cuando una gran masa (por ejemplo, una galaxia) se interpone entre éste y el observador, la desviación de los rayos de luz genera un efecto lente. El resultado es que, justo como ocurre con una lente óptica, la luz se enfoca y el objeto se ve más brillante. También pueden aparecer imágenes múltiples del mismo objeto. Cuando se produce ese fenómeno, se puede determinar la distancia a la que está el objeto que sufre el fenómeno si se conoce la del objeto que hace de lente, a partir de la diferencia en el

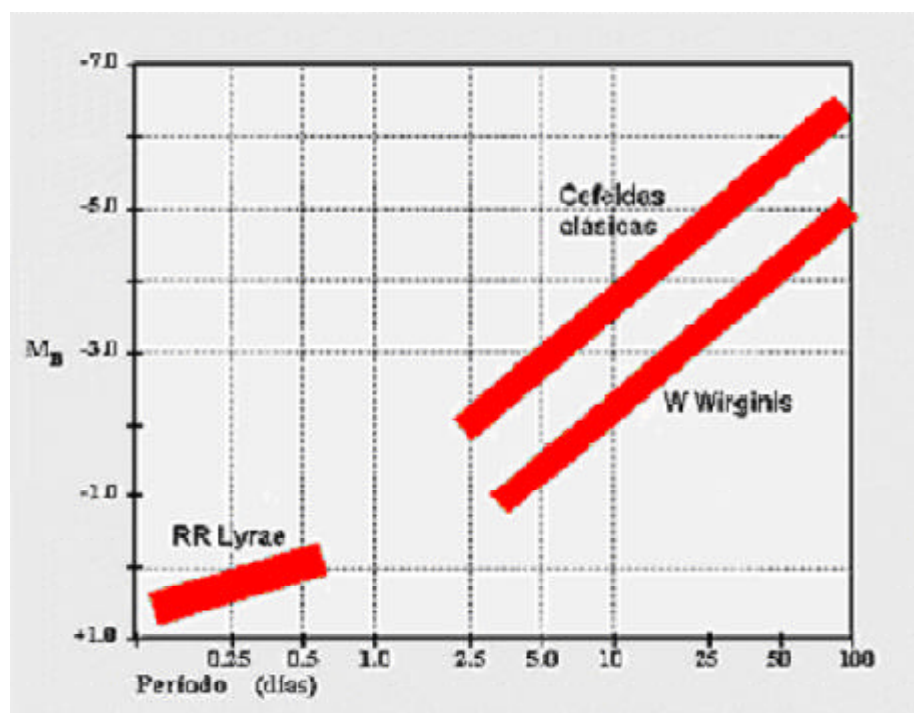


Figura 2.- Conocido el tipo de cefeida y su periodo de variación obtenemos la magnitud absoluta.

años-luz.

### MÉTODO DE TULLY-FISHER

Es un método muy preciso a pesar de ser secundario. Se basa en que la velocidad de rotación de las galaxias espirales tiene relación con su luminosidad. A más velocidad de rotación de la galaxia más brillo tiene. Aunque no se sabe la razón de esa relación (se sospecha que será por la cantidad de masa), se sabe de su fiabilidad gracias a la calibración hecha a partir del método de las cefeidas. Puede aplicarse hasta 300 millones de años-luz (más allá del cúmulo de Coma). Pero aún así

### LUMINOSIDAD DE LOS CÚMULOS GLOBULARES.

Los cúmulos globulares son objetos muy antiguos, casi tanto como el universo, con edades que superan los diez mil millones de años. Gracias a ellos contamos con otro método de medir distancias si asumimos que los cúmulos globulares de galaxias distintas son iguales, lo cual parece razonable ya que se sabe que el número de cúmulos

tiempo de llegada de cada imagen (diferente camino). Los objetos que más sufren este efecto son los cuásares (muy distantes, brillantes y pequeños).

Aunque es un fenómeno predicho por la Teoría General de la Relatividad, la primera lente gravitacional no fue descubierta hasta 1987. Y la primera medida de distancia gracias a este método no se realizó hasta 1991, cuando se midió la del cuasar QSO 0957+561, que exhibía una diferencia de tiempo entre parpadeos de 1 año y medio.



Imagen del cúmulo de galaxias CL1358+62 tomada por el telescopio espacial Hubble. Muestra la imagen aumentada por un lente gravitacional de una galaxia más distante, situada mucho más allá del cúmulo. La imagen, aumentada por el lente gravitacional, aparece abajo a la derecha del centro.

La imagen de la galaxia está más brillante, aumentada, y deformada en un arco, por la influencia gravitatoria del cúmulo galáctico interpuesto, que actúa como una lente gigantesca.

La exacta medición de la distancia, a partir de observaciones espectroscópicas del Observatorio

W. M. Keck, en Hawaii, muestra que la galaxia aumentada es la más lejana jamás vista. Su luz nos llega ahora, desde una época en que el universo tenía solamente un 7% de su edad actual de aproximadamente 14.000 millones de años. Esto coloca a la joven galaxia tan lejos como 13.000 millones de años-luz. El cúmulo-lente en primer plano, está a 5.000 millones de años-luz de nosotros.

#### RESUMEN

Los métodos para medir distancias se apoyan unos en otros, por lo que los errores que se cometen se van propagando. Eso impide que conozcamos con precisión la distancia a la que se encuentran los objetos más distantes. A pesar de ello, si que tenemos una idea del orden de magnitud en el que nos movemos. Ese logro no ha de hacernos olvidar que es necesario inventar nuevas técnicas y refinar las que conocemos si queremos

mejorar la precisión actual y conocer la distancia a la que están los objetos más lejanos del universo.

#### BIBLIOGRAFÍA

THE COSMOLOGICAL DISTANCE LADDER. Michel Rowan-Robinson. Editorial W H Freeman & Co, 1985  
 GUÍA DE ASTRONOMÍA, David Baker. Ediciones Omega, 1980.  
 MEASURING THE UNIVERSE. Catherin Turon en Sky&Telescope, julio 1997, páginas 20-27  
 COSMOLOGY: FROM HIPPARCHUS TO HIPPARCOS. Joshua Roth y Joel R. Primack en Sky&Telescope, enero 1996, páginas 28-34

VELOCIDAD DE EXPANSIÓN Y TAMAÑO DEL UNIVERSO. Wendy L. Freedman en Investigación y Ciencia, enero 1993, páginas 12-19.

Otras fuentes documentales:

#### INTERNET

La ciencia es el misticismo de los hechos; la verdad es que nadie sabe nada.

**Leonid Nikoláievich Andréiev**

No hay que acusar a las buenas teorías de las malas prácticas.

**Concepción Arenal**

Cuatro cosas no pueden ser escondidas durante largo tiempo: la ciencia, la estupidez, la riqueza y la pobreza.

**Averroes**

La ciencia es la estética de la inteligencia.

**Gaston Bachelard**

La ciencia se corrompe con facilidad si dejamos que se estanque.

**Edmund Burke**

La ciencia que se aparta de la justicia, más que ciencia debe llamarse astucia.

**Cicerón, Marcus Tullius Cicero**

Las ciencias y las letras son el alimento para la juventud y el recreo de la vejez; ellas nos dan esplendor en la prosperidad y son un recurso y un consuelo en la desgracia.

**Cicerón, Marcus Tullius Cicero**