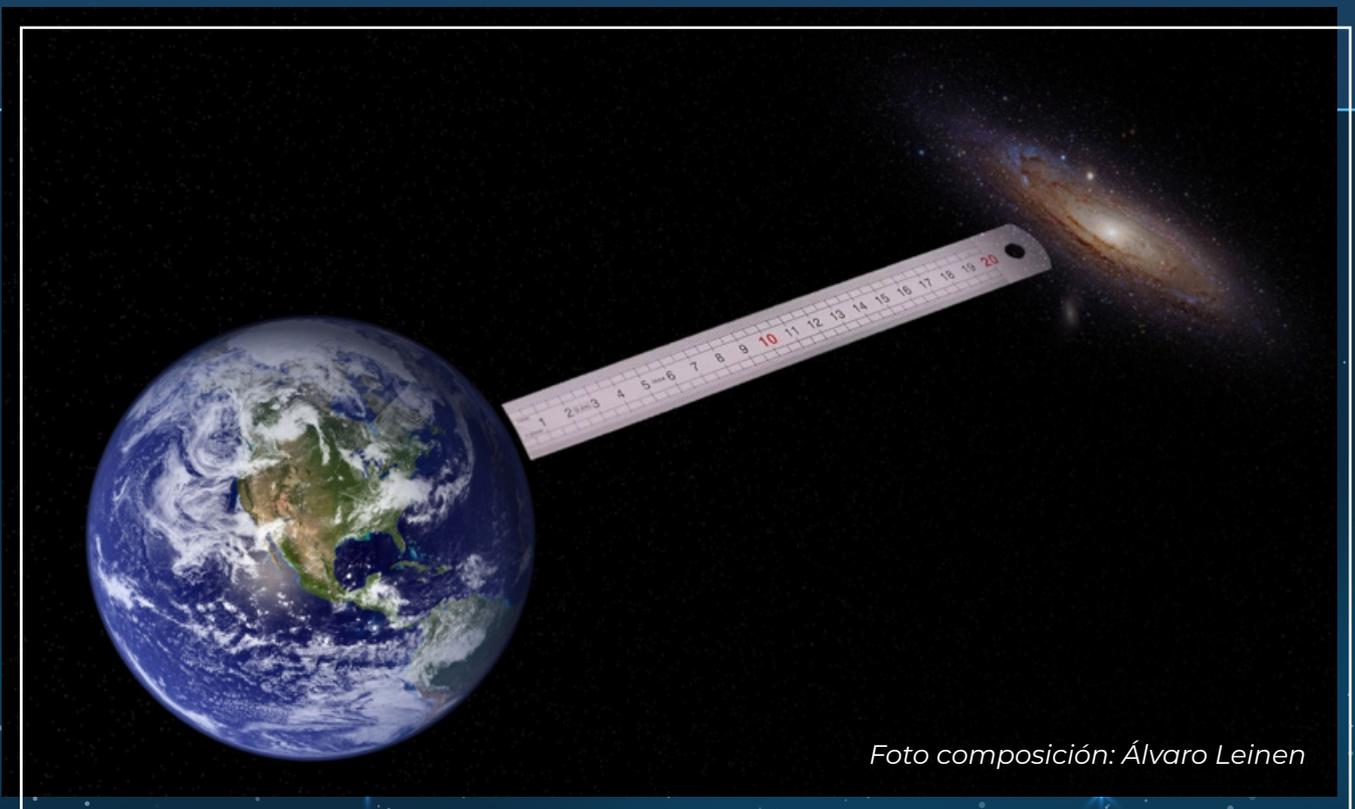


# REGLAS PARA MEDIR EL UNIVERSO



*Foto composición: Álvaro Leinen*

## RESUMEN

Las cefeidas son unas estrellas variables cuyo brillo varía de forma periódica. A finales del S. XIX la astrónoma Henrietta Leavitt descubrió que había una relación entre el periodo y la luminosidad y esto permitió medir distancias a objetos muy alejados. Basándonos en este método vamos a calcular la distancia a la estrella Delta Cephei y extendiendo estos cálculos a cefeidas de otras galaxias, incluso a calcular la edad del Universo.

## CONTENIDOS

- Estrellas cefeidas
- Conceptos previos: parsec y magnitudes
- Cálculo de la distancia a Delta Cephei
- Cálculo de la distancia a la galaxia M100
- Cálculo de la edad del Universo

## NIVEL

4º ESO

Bachillerato

## AUTORA

Blanca Troughton Luque (*Sociedad Malagueña de Astronomía*)

## REFERENCIAS

European Southern Observatory, Educational Material: Programas de ejercicios de astronomía basados en observaciones del telescopio Espacial Hubble de la NASA y la ESA y de los telescopios del ESO:

[https://sci.esa.int/documents/34439/36575/1567254328223-3-exercise1Es\\_high.pdf](https://sci.esa.int/documents/34439/36575/1567254328223-3-exercise1Es_high.pdf)



Federación de Asociaciones  
Astronómicas de España

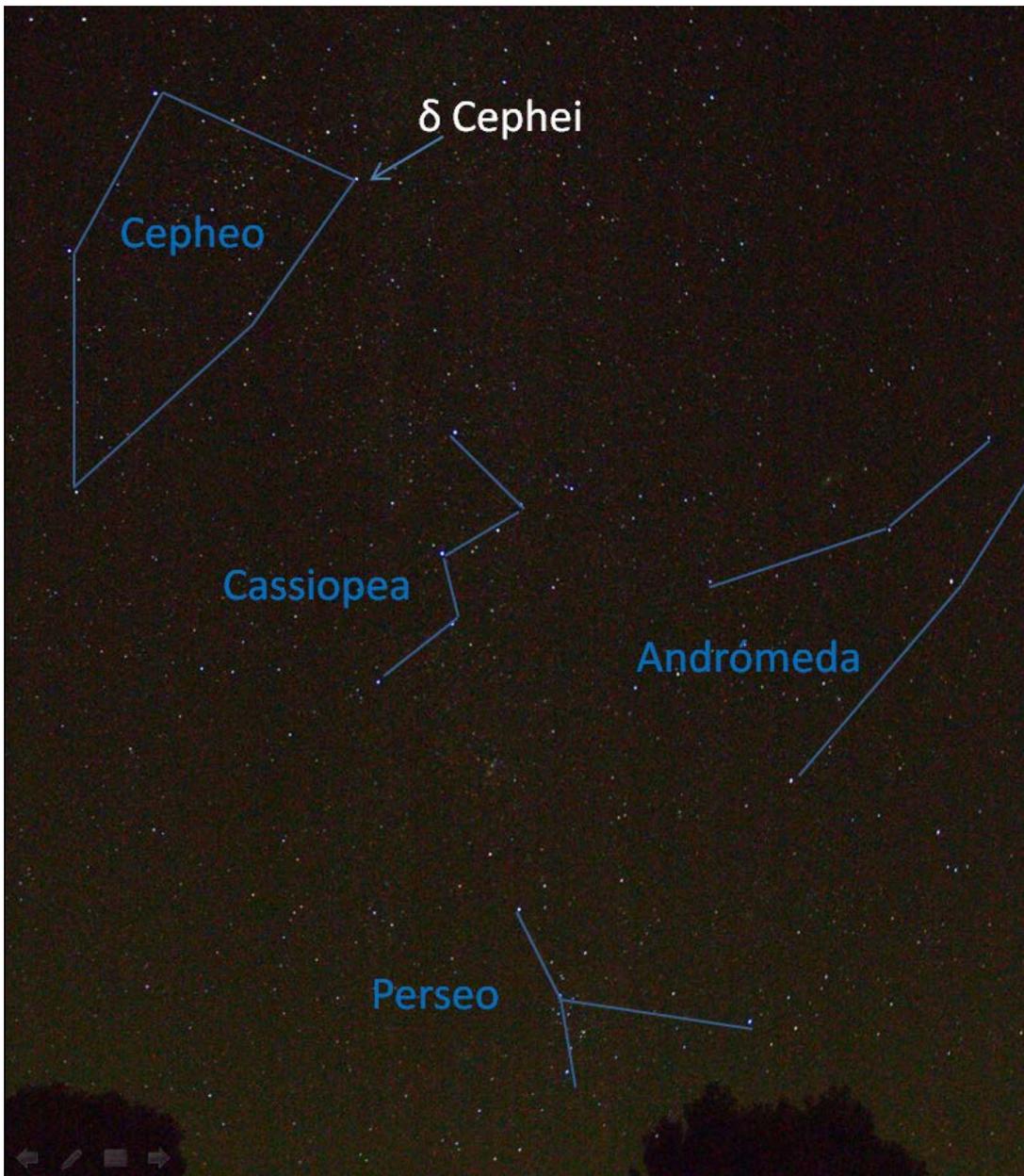


# Reglas para medir el Universo

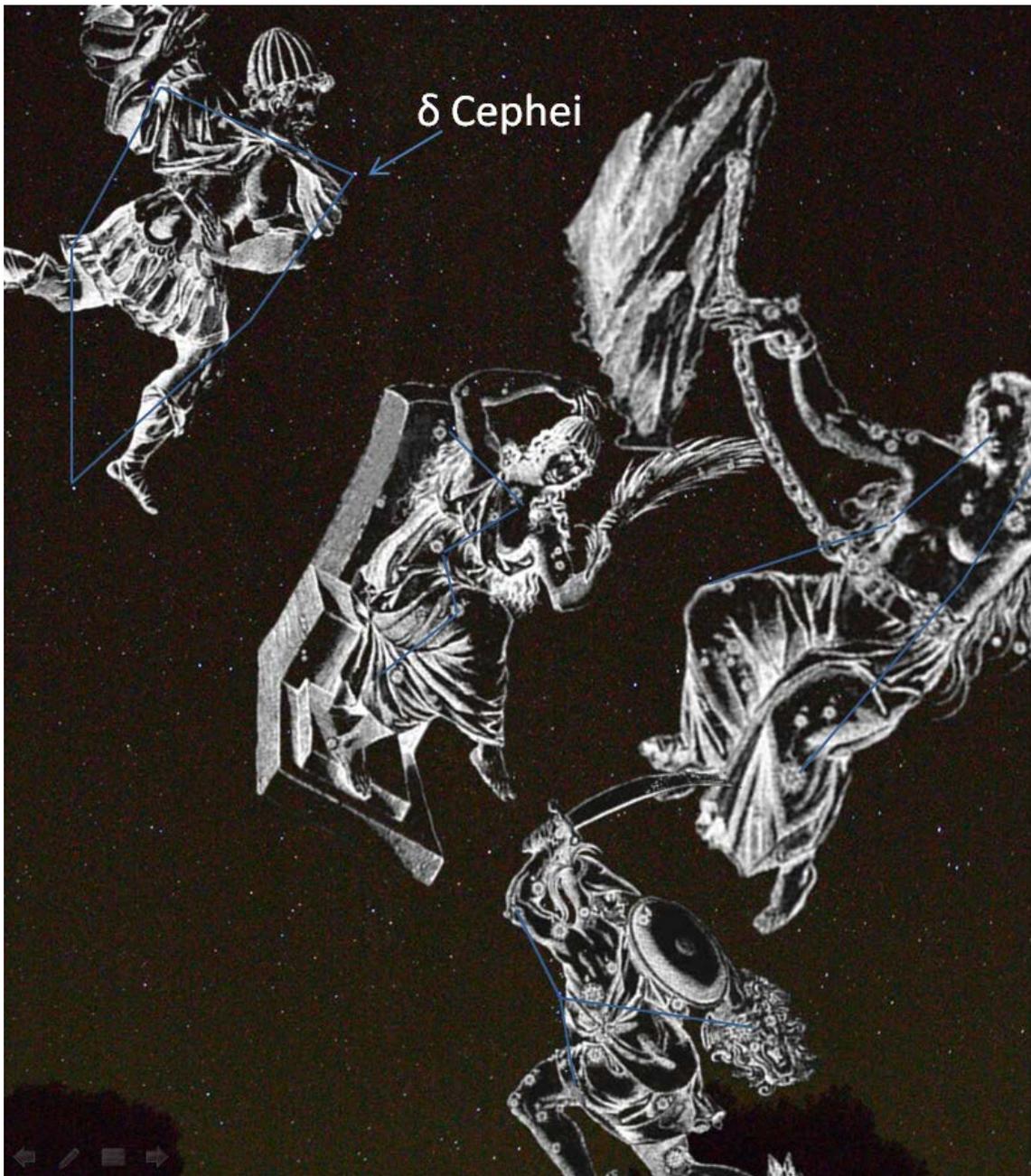
## Estrellas cefeidas

Las cefeidas son un tipo de estrellas variables pulsantes radiales de alta luminosidad con periodos que van desde 1 a 135 días y cuyas magnitudes varían entre centésimas hasta 2 unidades.

La estrella Delta Cephei,  $\delta$ -Cep, se encuentra en la constelación de Cepheo, que junto a las constelaciones de Cassiopea, Andrómeda y Perseo forman un conjunto mitológico muy antiguo.



Grupo de los asterismos de las constelaciones de Cepheo, Cassiopea, Andrómeda y Perseo. Foto Blanca Troughton.



Representaciones mitológicas de las constelaciones de Cepheo, Cassiopea, Andr6meda y Perseo. Foto composici6n Blanca Troughton.

La estrella  $\delta$ - Cep fue catalogada por el astr6nomo, matem6tico y ge6grafo griego Hiparco de Nicea (190 a.n.e. – 120 a.n.e). En 1784 el astr6nomo aficionado John Goodricke, determin6 su variabilidad en 5,4 d6as.

A finales del S. XIX la astr6noma Henrietta Leavitt descubri6 que hab6a una relaci6n entre el periodo y la luminosidad y esto permiti6 medir distancias a objetos muy alejados. Bas6ndonos en este m6todo vamos a calcular la distancia a la estrella Delta Cephei.

Hay dos tipos de cefeidas

- Las cefeidas típicas, cuya estrella tipo es Delta Cephei. Son estrellas de la llamada Población I, supergigantes, entre 3 y 30 masas solares, con luminosidad entre 500 y 30.000 veces la solar, con temperatura superficial de unos 10.000 K. Son estrellas jóvenes con una edad de unos 100 millones de años. Se localizan en los brazos espirales y en los cúmulos abiertos.

- Las cefeidas de tipo W Virginis, son estrellas de la Población II, más viejas. Se encuentran en el núcleo y en el halo de nuestra galaxia, especialmente en el interior de los cúmulos globulares. Presentan también una relación directa entre su periodo de variación y su luminosidad, como las cefeidas clásicas, pero la relación es diferente.

### **Conceptos previos: Parsec y magnitudes**

El parsec, simbolizado por pc, es una unidad de longitud usada en astronomía equivalente a 3,2616 años luz o 206.265 UA (Unidades Astronómicas). Se define como la distancia a la que la Unidad Astronómica, que es la distancia entre la Tierra y el Sol, subtiende un ángulo de un segundo de arco (1").

En astronomía se llama magnitud aparente de un objeto celeste, y se denomina con  $m$ , al número que indica la medida de su brillo observado desde la Tierra y la cantidad de luz (energía) que se recibe del objeto.

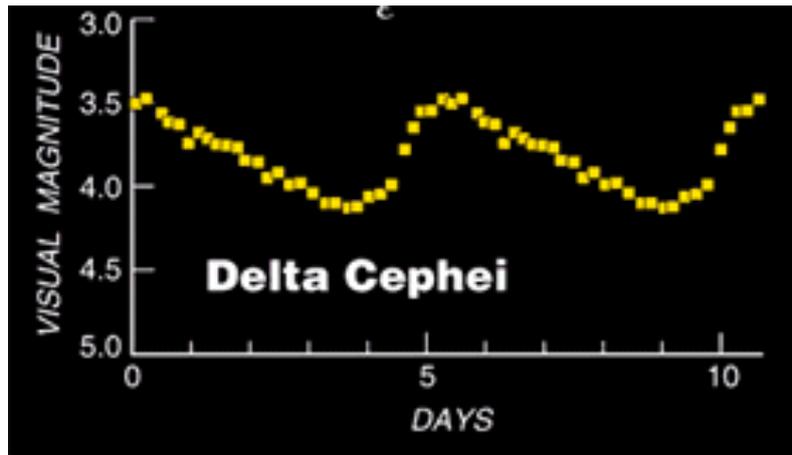
Y se llama magnitud absoluta, y se denomina con  $M$ , a la magnitud aparente que tiene un objeto que estuviera a una distancia de 10 parsec (32,616 años luz) de la Tierra en un espacio completamente vacío y sin absorción interestelar.

Tener el dato de la magnitud absoluta ofrece gran ventaja, pues sirve para comparar luminosidades entre diferentes cuerpos, pues no influye la distancia.

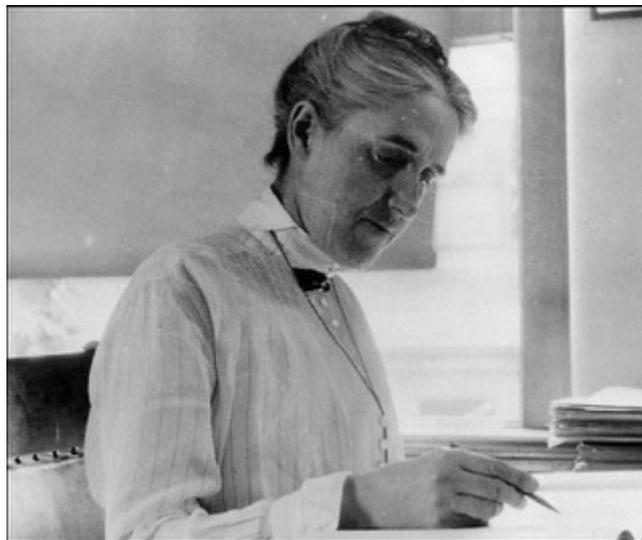
### **Cálculo de la distancia a Delta Cephei**

La variabilidad de una estrella en función de su luminosidad la podemos representar en una gráfica en la que el eje de las abscisas corresponda al tiempo, medido en días, y el eje de ordenadas corresponde a la luminosidad visual, medida en magnitudes estelares.

El gráfico muestra la variabilidad de la estrella  $\delta$ - Cep.

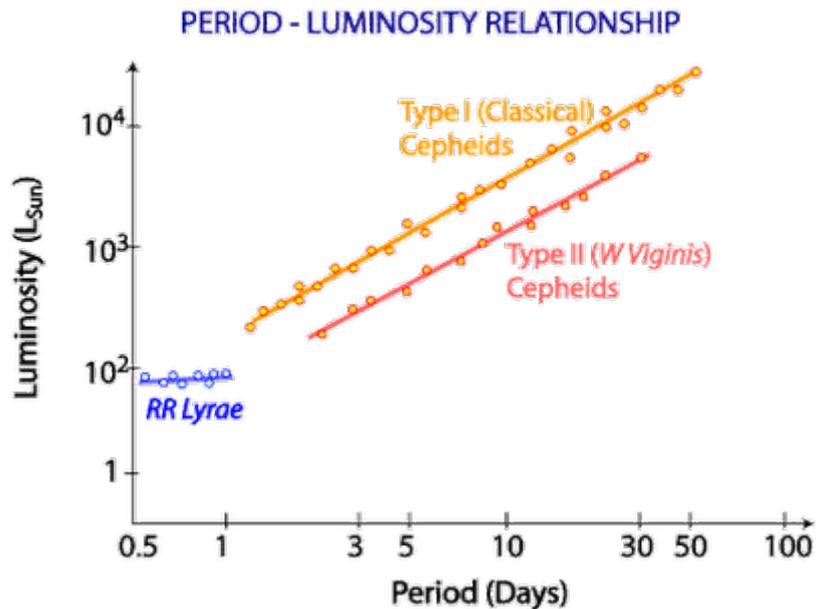


Observamos que es una función periódica, cuyo periodo es poco más de 5 días. Exactamente es de 5 días, 8 horas, 47 minutos y 32 segundos. Y su luminosidad varía exactamente entre 3,48 y 4,37 magnitudes (en astronomía mientras mayor sea la magnitud, menor es la luminosidad). El ojo humano ve estrellas hasta la magnitud 6 por término medio, aunque algunas personas con gran agudeza visual llegan a ver hasta la séptima magnitud. Eso quiere decir que el cambio de variabilidad de la estrella  $\delta$ - Cep es visible a simple vista. Existen cartas de la AAVSO, la American Association of Variable Star Observers, que permiten determinar el cambio de brillo por comparación con las estrellas cercanas.



Henrietta Leavitt, EEUU 1868-1921

Henrietta Leavitt trabajando en el Observatorio de Harvard determinó que había una relación lineal entre el periodo y la luminosidad de las estrellas cefeidas, siendo ésta diferente para cada tipo de estrellas cefeidas, las clásicas y las de tipo W Virginis.



Relación lineal entre el periodo y la luminosidad de los dos tipos de cefeidas.

Obteniendo la llamada Relación o Ley de Leavitt:

$$M = a \cdot \log P + b$$

Siendo,

M = valor medio de la magnitud absoluta

P = periodo en días

Hay una relación entre la magnitud absoluta y la aparente en función de la distancia, pues objetos cuya magnitud absoluta es alta, pero la aparente es débil indican que están a mayor distancia y viceversa:

$$M - m = 5 - 5 \cdot \log D$$

Siendo,

M = magnitud absoluta

m = magnitud aparente

D = distancia en parsec

Mediante la observación se determinan el periodo, P, y la magnitud aparente, m. Estos datos se pueden obtener de una gráfica o incluso experimentalmente haciendo observaciones con prismáticos por el método de Argelander

([https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo\\_de\\_Argelander](https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_Argelander))

Con P se determina M y con M y m se calcula la distancia en parsec.

Para las cefeidas de tipo I, las constantes a y b de la relación lineal son:

$$a = -2,78$$

$$b = -1,35$$

Con esta información y datos, ya podemos calcular la distancia a  $\delta$  Cephei:

$$\text{Periodo} = 5\text{d } 8\text{h } 47\text{m } 32\text{s} = 5,367\text{d}$$

$$\text{Mag. aparente} = 3,48 - 4,37$$

$$\text{Mag. aparente media} = 3,925$$

1º) Calculamos la magnitud absoluta:

$$M = -2,78 \cdot \log P - 1,35$$

$$M = -2,78 \cdot \log 5,367 - 1,35 = -3,379$$

2º) Calculamos la distancia:

A partir de la fórmula

$$M - m = 5 - 5 \cdot \log D$$

Despejamos log D

$$\log D = (5 - M + m)/5$$

Sustituyendo los valores de M y m

$$\log D = \frac{5 + 3,379 + 3,925}{5} = 2,4608$$

Despejando D

$$D = 288,9 \text{ parsec} = 942 \text{ años luz}$$

La distancia obtenida por el telescopio espacial Hubble en el año 2000 era de 273 parsec, por lo que el error cometido es de 5,8 %.

Como las estrellas cefeidas son muy brillantes, se pueden observar en galaxias lejanas y este mismo procedimiento puede hacerse observando varias estrellas cefeidas en dicha galaxia para calcular la distancia a la que se encuentra.

En este sentido la Ley de Leavitt es una verdadera regla para medir distancias en el Universo.

## Cálculo de la distancia a la galaxia M100.

En el enlace [https://sci.esa.int/documents/34439/36575/1567254328223-3-exercise1\\_es\\_high.pdf](https://sci.esa.int/documents/34439/36575/1567254328223-3-exercise1_es_high.pdf), se muestra con detenimiento cómo calcular la distancia a M100 determinada por estrellas cefeidas. Veamos un resumen:

Antes del telescopio espacial Hubble, se detectaban cefeidas a 3,5 Mpc (11.400 a-l) lo que determinaba una edad del Universo entre 10.000 y 20.000 millones de años.



Telescopio espacial Hubble , NASA, ESA

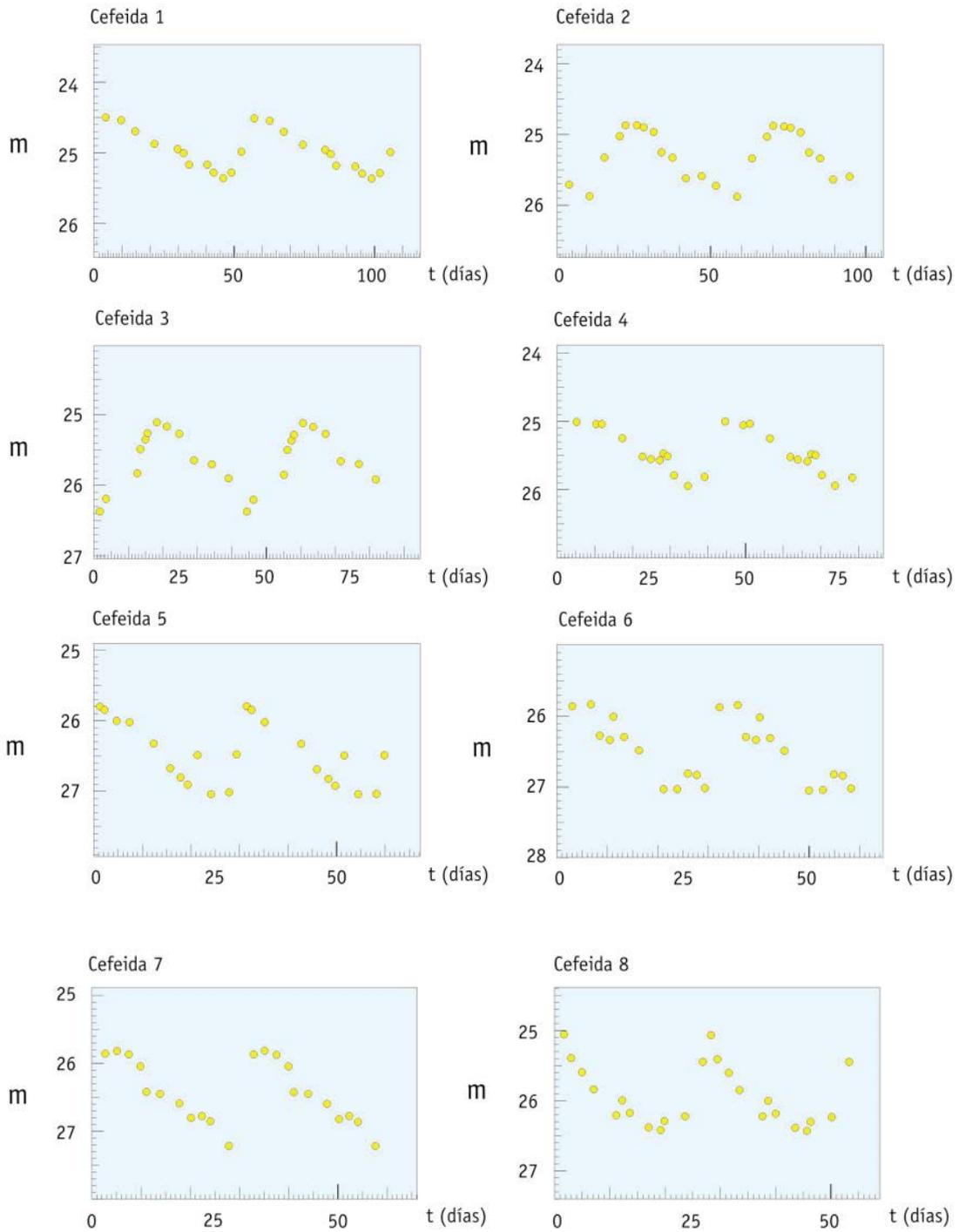
Con el Hubble, se detectan cefeidas a 20 Mpc (megaparsec), lo que da lugar a una estimación de entre 12.000 a 14.000 millones de años.

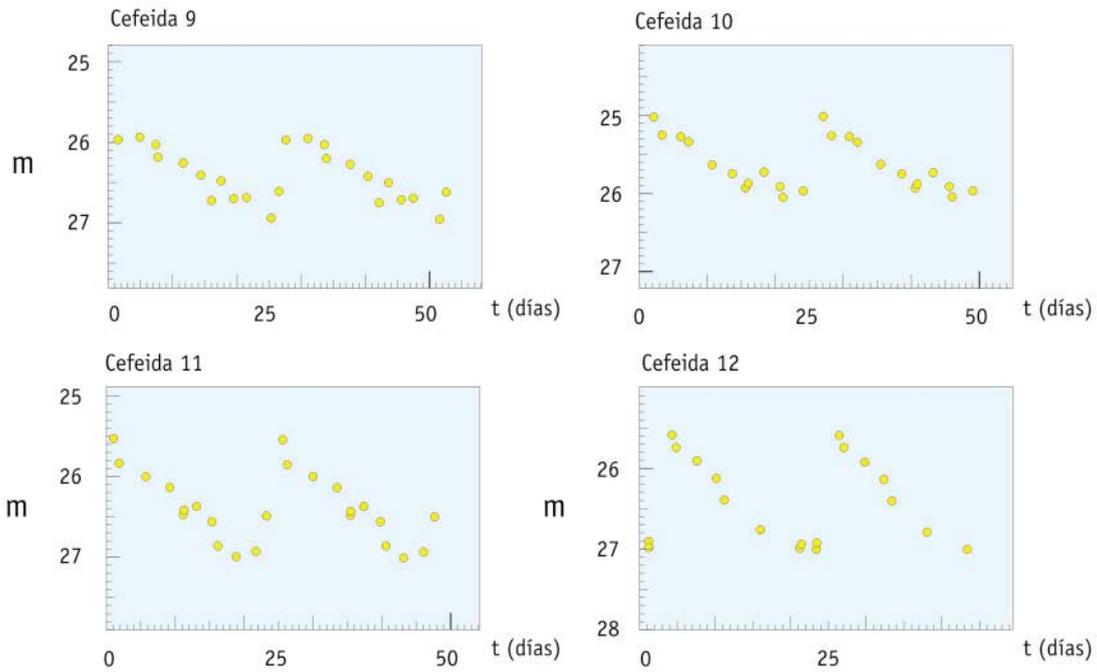
Según medidas realizadas con el telescopio espacial Hubble, la distancia a la galaxia espiral M100 es de  $17,1 \pm 1,8$  Mpc.



Galaxia espiral M100

En la galaxia M 100 se han detectado varias cefeidas, cuyos periodos y magnitudes vienen en los siguientes gráficos:





### Ejercicio 1:

A través de las gráficas de las cefeidas en M100 determina el periodo,  $P_i$ , y la magnitud aparente,  $m_i$ , de cada cefeida. A partir de ahí, según las fórmulas descritas anteriormente, calcula la magnitud absoluta,  $M_i$  y la distancia  $D_i$ . Realiza la media de todas las distancias  $D_i$  obtenidas y tendrás la distancia a la galaxia M 100.

### Cálculo de la edad del Universo

Además, la Ley de Hubble establece que mientras más alejada esté una galaxia, más rápidamente aparenta alejarse según la siguiente relación lineal:

$$v = H_0 \cdot D$$

Donde

$v$  = Velocidad de recesión de la galaxia (Km/s)

$D$  = Distancia (Mpc)

$H_0$  = Constante de Hubble.

El valor de la constante de Hubble, varía en función de las técnicas usadas para medirla, el último valor obtenido a partir del estudio de ondas gravitacionales en 2017 es de aproximadamente 70 (km/s)/ Mpc.

Por tanto,

$$\frac{D}{v} = \frac{1}{H_0} = t = \text{edad del Universo} \quad (1)$$

Ejercicio 2:

Sabiendo que la velocidad de recesión de la galaxia M 100 es de 1.400 Km/s. Con los datos obtenidos en el ejercicio 1 para la distancia D a M100, obtén la edad del Universo, aplicando la Ley de Hubble.

## Investiga

A Henrietta Leavitt y a otras muchas mujeres que trabajaron en el Observatorio Astronómico de Harvard, se las conocen como "*las computadoras de Harvard*". Averigua por qué se les llamaban así y las aportaciones que hicieron a la astronomía.

## Material adicional

Exposición AstrónomAs: <https://astronomas.org>

<http://henrietta.iaa.es/el-diario-secreto-de-henrietta-sleavitt>

<https://www.aavso.org/>

[https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo\\_de\\_Argelander](https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_Argelander)

Las soluciones a los ejercicios se encuentran en: Programas de ejercicios de astronomía basados en observaciones del telescopio Espacial Hubble de la NASA y la ESA y de los telescopios del ESO:

[https://sci.esa.int/documents/34439/36575/1567254328223-3-exercise1\\_es\\_high.pdf](https://sci.esa.int/documents/34439/36575/1567254328223-3-exercise1_es_high.pdf)



# ATRACCIÓN ESPACIAL



Una galaxia es un sistema de estrellas, gas, polvo, materia oscura y quizá energía oscura, en constante movimiento.

En la imagen la galaxia espiral Andrómeda, la más cercana a la Vía Láctea.



**EVA GREBEL**  
GRAN EXPERTA EN LAS GALAXIAS PEQUEÑAS

Primera profesora de astronomía de la Universidad de Heidelberg en 2007. Destacan sus trabajos sobre las galaxias enanas del Grupo Local.



**VERA RUBIN**  
LA MATERIA OSCURA

Descubrió la materia oscura en las galaxias a través del análisis de sus curvas de rotación y fue pionera en el estudio de la distribución de galaxias en el Universo. Por su contribución a la astronomía se ha bautizado el Gran Telescopio para Sondeos Sinópticos como telescopio Vera Rubin.



**MERCEDES PRIETO**  
PIONERA EN ASTROFÍSICA EXTRAGALÁCTICA

Destacada pionera en la Astrofísica Extragaláctica, fue la primera astrónoma del Instituto de Astrofísica de Canarias. Su tesis contribuyó al desarrollo de las instalaciones telescópicas infrarrojas del Observatorio del Teide y posteriormente del Observatorio del Roque de los Muchachos en La Palma.



**PARIS PISMIS**  
DE TURQUÍA A MÉXICO

Primera persona en ejercer la Astronomía profesional en México. Se doctoró en 1937 con una tesis sobre la rotación de la Vía Láctea en el Instituto Tecnológico de California.

Después realizó toda su actividad profesional en México como maestra de astrónomas y astrónomos.

