



www.astrosociety.org/uitc

No. 57 - Spring 2002

© 2002, Astronomical Society of the Pacific, 390 Ashton Avenue, San Francisco, CA 94112.

Un Toque de Astronomía Verdadera, Ejercicios de Astronomía del OES/SEA

Traducido por Jorge Vargas Rivas

Hoy en día, es imposible que un solo grupo de investigación o una sola universidad pueda asumir proyectos científicos grandes; los gastos que éstos implican exigen mantener colaboraciones y crear sociedades como un pilar indispensable para la puesta en marcha y desarrollo de tales proyectos. El telescopio espacial Hubble es administrado en conjunto por la Agencia Espacial Europea y la NASA. El telescopio óptico infrarrojo más grande del mundo, también conocido como el "Gran Telescopio" o GT, está localizado en Chile y se encuentra bajo la administración de una organización intergubernamental para la investigación, denominada OES, "Observatorio Europeo del Sur". Para mayor información respecto a la contribución europea hacia el telescopio espacial Hubble, vea <http://hubble.esa.int>; para mayor información respecto al "G.T", vea <http://www.eso.org>



Este artículo de "El Universo en el Aula" es una contribución de los astrónomos pertenecientes al Departamento de Educación y Relaciones Públicas del Observatorio Europeo del Sur. Si desea más información sobre sus proyectos educativos, puede mandar un correo electrónico a info@astroex.org, o visitar su sitio web, www.astroex.org. Para más información respecto a los productos educativos americanos, visite la Academia de Estudios Avanzados de Hubble (Hubble Deep Field Academy) en <http://amazing-space.stsci.edu/hdf-top-level.html>

Un Toque de Astronomía Verdadera, Ejercicios de Astronomía del OES/SEA

por Arntraud Bacher y Lars Lindberg Christensen

[La Astronomía: su Importancia para la Educación](#)
[En las Huellas de los Científicos](#)
[Atención de los Temas Básicos](#)
[Seis Guías de Ejercicios](#)

La Astronomía: su Importancia en la Educación

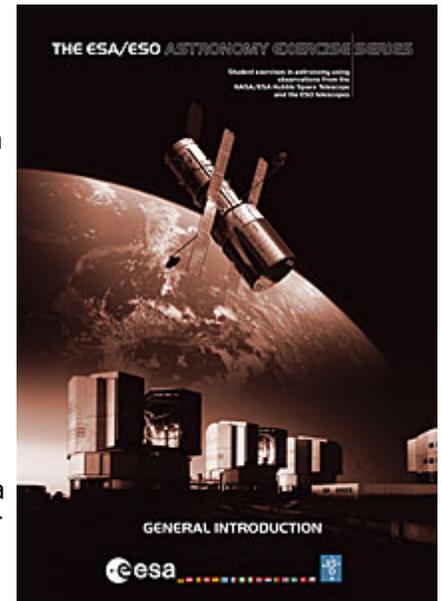
La astronomía es una ciencia accesible y visual, características que la convierten en ideal para propósitos educativos. Durante los últimos años, el Telescopio Espacial Hubble de la NASA¹/AEE², y los telescopios del OES³, localizados en Chile en los observatorios de la Silla y Paranal, han presentado imágenes cada vez más profundas y espectaculares del Universo. Sin embargo, el Hubble y los telescopios del OES no sólo han

entregado deslumbrantes nuevas imágenes, sino que también son herramientas invaluable para los astrónomos. Estos telescopios poseen una excelente resolución espacial/angular (nitidez de imagen), característica que permite a los astrónomos escudriñar el universo a distancias increíblemente lejanas, distancias que habrían sido imposibles de alcanzar tiempo atrás y, a la vez, les permiten a los científicos responder preguntas no resueltas.

El análisis de tales observaciones, a menudo con detalles altamente sofisticadas, resulta a veces tan simple en sus principios que los estudiantes de nivel secundario pueden optar a repetirlos ellos mismos.

En las Huellas de los Científicos

La Serie de Ejercicios de Astronomía de la ESA/OES acaba de ser publicada en libros e Internet; dichos ejercicios permiten a los estudiantes de 16-19 años ganar una enriquecedora experiencia al estar en contacto cercano con la astronomía, al realizar cálculos reales con información verídica, obtenida por algunos de los más importantes telescopios del mundo, el Hubble y el Gran Telescopio del OES. Los ejercicios de astronomía han sido preparados cuidadosamente por astrónomos y otros expertos en el área de la astronomía, y permiten a los estudiantes medir y calcular propiedades fundamentales, entre ellas las distancias y las edades de diferentes tipos de objetos astronómicos.



La aplicación de los métodos científicos sólo exige un conocimiento básico de geometría y física. Los estudiantes usan técnicas e ideas descritas en recientes trabajos científicos y son capaces de derivar resultados que se comparan positivamente con aquellos obtenidos en análisis mucho más sofisticados realizados por científicos.

El idioma que se utiliza en la Serie de Ejercicios de Astronomía del OES/AEE es el inglés. Hay variadas razones para esta elección, la más importante se debe a que este idioma es el más usado entre los científicos. Un buen conocimiento y experiencia práctica en el uso de este idioma constituyen una valiosa ventaja para todos los estudiantes, particularmente para textos levemente técnicos como lo es éste. En la educación moderna, se ha reconocido que es importante romper las barreras entre las diferentes disciplinas y unir las por medio de actividades interdisciplinarias que desarrollan y fortalecen diferentes tipos de habilidades.

De este modo, los textos en inglés de esta serie puedan también servir de ejercicio en el uso práctico del idioma inglés. Estamos haciendo grandes esfuerzos para proveer versiones de estos textos en algunos de los idiomas miembros de la AEE/OES.

Todos los ejercicios se construyeron con un texto de antecedentes, seguidos por una serie de preguntas, mediciones y cálculos. Los ejercicios pueden usarse como textos tradicionales en las clases en salas o, debido a su característica auto explicatoria, pueden distribuirse en grupos más pequeños como parte de un "proyecto de trabajo". Los ejercicios tienen la intención de ser independientes de cada uno. Sin embargo, recomendamos que las partes relevantes de este set de herramientas se revisen conjuntamente con los estudiantes, previo a la asignación de los ejercicios, a menos que el contenido ya sea familiar para ellos.

Atención de los Temas Básicos

Los primeros cuatro ejercicios se concentran en las medidas de las distancias en el Universo, uno de los problemas más básicos en la astrofísica moderna.

Los estudiantes aplican diferentes métodos para determinar la distancia de objetos astronómicos tales como la supernova SN 1987A, la galaxia en espiral Messier 100, la nebulosa planetaria Ojo de Gato y el grupo globular Messier 12. Con estos resultados es posible hacer estimaciones precisas acerca de la edad del Universo y su velocidad de expansión. Todo esto se logra sin usar computadores o software sofisticado.

Los estudiantes pueden también realizar fotometrías sin instrumental, por medio de la medición del brillo de las estrellas, a través de dos imágenes obtenidas por el "Gran Telescopio" (tomadas respectivamente a través de filtros ópticos azul y verde). Luego pueden construir la relación básica de Luminosidad/Temperatura (el "Diagrama Hertzsprung-Russell"), dando como resultado una espléndida forma de obtener conocimientos relacionados a la física estelar.

Notes

1. Administración Nacional Aeronáutica y del Espacio
2. Agencia Espacial Europea
3. Observatorio Europeo del Sur



Un Toque de Astronomía Verdadera, Ejercicios de Astronomía del OES/SEA

Seis Guías de Ejercicios

Los ejercicios se encuentran ahora disponibles en Internet y en seis guías de ejercicios (100 paginas en total) tituladas:

- "Introducción General" (resumen general de la serie de ejercicios).
- "Set de herramientas" (explicación de las técnicas básicas astronómicas y matemáticas)
- "Ejercicio 1: Medición de la distancia hacia la Supernova 1987 A"
- "Ejercicio 2: "La Distancia hacia Messier 100 de acuerdo a lo determinado por estrellas variables cefoides".
- "Ejercicio 3: "Medición de la distancia hacia la nebulosa Ojo de Gato"
- "Ejercicio 4: "Medición de una Estrella Globular, distancia y edad del grupo".

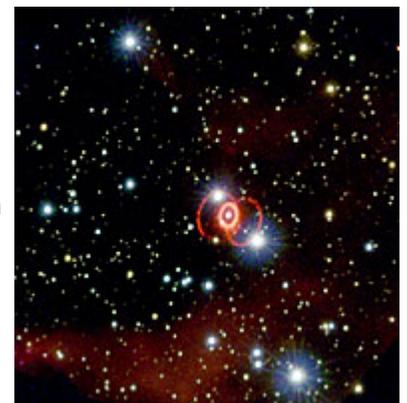
Las guías de ejercicio se envían sin cobro a los profesores de colegios bajo pedido y, a la vez, pueden bajarse en el sitio en Internet como archivos PDF. En un futuro cercano, se publicarán más ejercicios. Para contactarse con nosotros, favor escribir a : info@astroex.org, www.astroex.org

Para contactarse con nosotros, favor escribir a : info@astroex.org, www.astroex.org

Ejercicio 1: Medición de la distancia hacia la Supernova 1987 A

Breve resumen

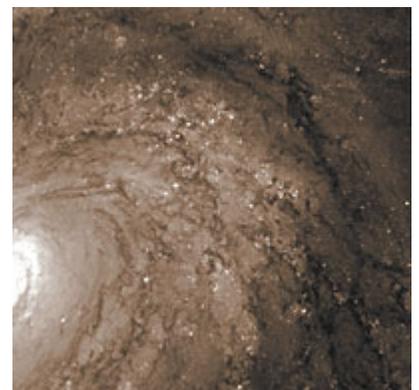
Se presenta la geometría del anillo más cercano de la supernova 1987A (SN1987A). Definimos luego la escala de la imagen del Hubble de la Supernova de forma tal que se pueda encontrar el diámetro angular del anillo y también la inclinación del anillo relativo al plano del cielo. Observaciones hechas desde la tierra muestran como la luz desde la Supernova alcanzó las diferentes partes del anillo. A través de mediciones para calcular la intensidad y la velocidad de la luz, se pueden encontrar las dimensiones físicas del anillo. Una vez que el tamaño angular y físico del anillo se han determinado, podemos calcular la distancia hacia la Supernova 1987 A.



Ejercicio 2 - La Distancia hacia Messier 100 de acuerdo a lo determinado por estrellas variables cefoides

Breve resumen (clicar [aquí](#) para obtener el ejercicio completo)

En este ejercicio medimos el periodo y las magnitudes aparentes de las variables cefoides en la galaxia M100. La magnitud absoluta se deriva por medio del uso de la relación Periodo/Luminosidad por lo que la distancia se puede determinar por medio del uso de la relación de distancia. Finalmente calculamos un valor para la constante del Hubble (por medio del uso de un valor para la velocidad de retroceso de M100, observada por otros científicos) y estimar la edad del Universo.



Ejercicio 3: Medición de la Distancia hacia la Nebulosa Ojo de Gato

Breve resumen

Medimos la velocidad de expansión angular de la nebulosa Ojo de Gato por medio de una exhaustiva investigación en base a dos imágenes tomadas en los años 1994 y 1997. Con la ayuda de mediciones de la velocidad tangencial de trabajos científicos previos, es posible determinar la distancia a la nebulosa. También derivamos la distancia al revisar la magnitud de los cambios que se acusan en los perfiles de intensidad radiales de los rasgos prominentes en las dos imágenes tomadas entre los años 1994 y 1997.



Ejercicio 4: Medición de una Estrella Globular, Distancia y Edad del Grupo

Breve resumen

Medimos las magnitudes azul (m_B) y verde (visual, m_V) de estrellas seleccionadas en las regiones exteriores de un grupo globular mostradas en imágenes obtenidas por el "Gran Telescopio", convertimos los valores ($m_B - m_V$) a temperaturas de la superficie estelar (T) y tracemos un plano con los valores de m_V como una función de los valores de T en un diagrama Hertzsprung-Russell. La Secuencia Principal del grupo, según el diagrama trazado, se compara con la secuencia principal estándar distancia-calibrada de la cercanía al grupo Hyades. La distancia al grupo se determina por el ajuste de la Secuencia Principal y el uso de los módulos de distancia. La edad del grupo, la cual propone un límite más bajo respecto a la edad del Universo, se puede estimar a partir de la posición del punto de desvío sobre la Secuencia Principal.





Un Toque de Astronomía Verdadera, Ejercicios de Astronomía del OES/SEA

Serie N°2 de Ejercicios de Astronomía de la AEE/OES

La Distancia hacia Messier 100 de acuerdo a lo determinado por las estrellas variables cefeidas

Escrito por Arntraud Bacher y Lars Lindberg Christensen

Breve Resumen

En este ejercicio medimos el periodo y magnitudes aparentes de las variables cefeidas en la galaxia M100. La magnitud absoluta se deriva por medio de la relación Periodo/Luminosidad por lo que la distancia hacia M100 puede determinarse usando la relación de distancia. Finalmente calculamos un valor para la constante del Hubble (usando un valor para la velocidad de retroceso de M100, observada por otros científicos) y luego, estimar la edad del Universo.

Medición de Distancias con Cuerpos Cefeidos

La medición de la distancia hacia un objeto astronómico es una tarea difícil y, a la vez, uno de los más grandes desafíos que reta a los científicos. Durante los últimos años, se ha encontrado diferentes estimadores de distancia. Uno de ellos es una clase especial de estrellas llamadas "variables cefeidas".

Los cuerpos cefeoides son estrellas muy luminosas y escasas, que poseen una luminosidad que varía de un modo altamente regular. Obtienen su nombre a partir de la estrella δ -Cephei ubicada en la constelación de Cefeo, la cual fue el primer ejemplo conocido de este tipo particular de estrella variable y constituye un objeto fácil de observar a simple vista.

En el año 1912, la astrónoma Henrietta Leavitt (ver [Fig. 1](#)) observó 20 estrellas variables cefeoides en la Pequeña Nube de Magallanes (PNM). Las pequeñas variaciones en la distancia hacia las estrellas variables individuales en la nube son insignificantes si se comparan con la distancia mucho mayor hacia la PNM. Las estrellas más brillantes dentro de este grupo son de hecho intrínsecamente más brillantes, y no sólo aparentan ser más brillantes, debido a que están más cerca. Henrietta Leavitt descubrió una relación entre el brillo intrínscico y el periodo de pulsación de las estrellas variables cefeidas y mostró que los cefeoides intrínscicamente más brillantes tienen periodos más prolongados. Por medio de la observación del periodo de cualquier Cefeido, es posible deducir su brillo intrínscico y, por lo tanto, por medio de la observación de su brillo aparente, calcular su distancia. De esta forma, las estrellas variables Cefeidas pueden usarse como una de las "velas estándar" que actúan en el universo como indicadores de distancia o pueden usarse para calibrar (o actuar como punto cero) para otros indicadores de distancia. Las variables cefeidas se pueden distinguir de otras estrellas variables por su característica curva de luz (ver [Fig. 2](#)).



Figura 1: Henrietta Leavitt

La comprensión del brillo relativo y la variabilidad de las estrellas fue revolucionado por el trabajo de Henrietta Swan Leavitt (1868-1921). Durante su desempeño en el observatorio de la universidad de Harvard, Leavitt calibró las magnitudes fotográficas de 47 estrellas, con el fin de que actúen como referencias estándar o "velas" para las magnitudes de todas las otras estrellas. Leavitt descubrió y clasificó alrededor de 1500 estrellas variables ubicadas en la cercanas Nubes Magallánicas. A partir de esta clasificación, ella descubrió que las estrellas variables más brillantes necesitan más tiempo para variar, lo que constituye un hecho que se usa hoy en día para calibrar la escala de distancia de nuestro universo (Cortesía de AAOEV;(Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables)).

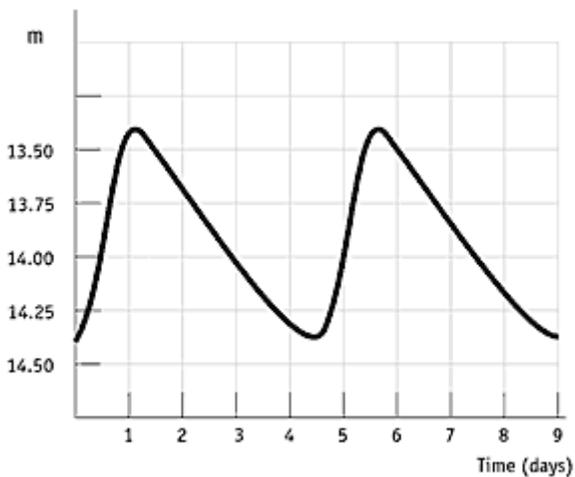


Figura 2: Típica Curva de Luz Cefoide

La curva de luz de una estrella variable cefoide posee una forma característica, con un brillo que crece en forma fuerte para luego decrecer en forma más suave. La amplitud de las variaciones es generalmente de 1-2 magnitudes.

Las mediciones más precisas tanto de la velocidad y la distancia se obtuvieron naturalmente para objetos que se encuentran relativamente cerca a la Vía Láctea. Antes de del telescopio Hubble de la NASA/AEE, los observatorios terrestres ya habían detectado variables cefeidas en galaxias con distancias de hasta 3.5 Megaparsecs desde nuestro propio Sol.

Sin embargo, a este tipo distancia, otro efecto producto de la velocidad entra en juego. Las galaxias se atraen mutuamente en forma gravitacional lo que introduce un componente no-uniforme al movimiento, lo cual afecta nuestros cálculos de la parte uniforme de la velocidad que se debe a la expansión del Universo. Esta parte no-uniforme de la velocidad se conoce como "velocidad peculiar" y su efecto es comparable con la velocidad de expansión en nuestra parte local del Universo. Para estudiar la expansión total del Universo, es necesario hacer mediciones de distancia confiables de galaxias más distantes, donde la velocidad de expansión es significativamente más alta que la velocidad peculiar. El Hubble ha medido variables cefeidas en galaxias con distancias de hasta ~20 Megaparsecs. Antes de que el Hubble tomara estas mediciones, muchos astrónomos discutían respecto a la edad del Universo que era estimada en 10 o 20 mil millones de años. Hoy en día existe un mejor consenso: se cree que la edad del Universo oscila entre 12 o 14 mil millones de años.

Uno de los proyectos clave del Hubble tiene una meta a largo plazo que consiste en calcular un valor más preciso para la constante del Hubble y, a la vez, para calcular la edad del Universo. Diez y ocho galaxias

localizadas a diferentes distancias se han monitoreado para revelar alguna variable cefeide. Una de estas galaxias es M100 (ver [Fig.3](#)).

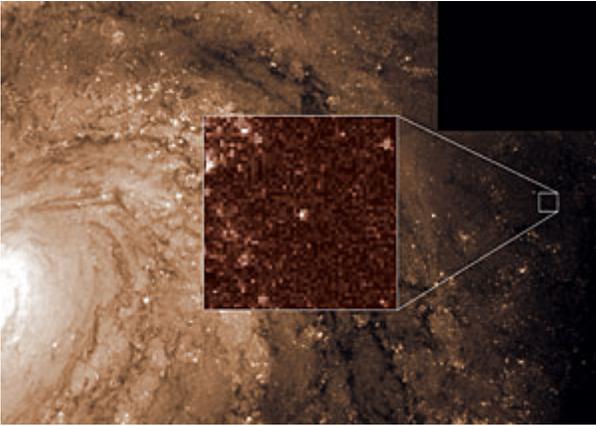


Figura 3: El Hubble rastreando estrellas variables cefeoides en la galaxia M100

La cámara de alta resolución del Hubble detectó y obtuvo imágenes de una de las estrellas variables cefeoides usadas en este ejercicio. La estrella está localizada en la región de formación estelar, en uno de los brazos en espiral de la galaxia (la estrella se encuentra al centro del cuadro).

Medidas y cálculos

La relación periodo/luminosidad para las variables cefeidas se ha revisado muchas veces desde las primeras mediciones de Henrietta Leavitt. Hoy en día, la mejor estimación para la relación es:

$$M = -2.78 \log (P) - 1.35$$

donde M es la magnitud absoluta de la estrella y P es el periodo medido en días. Las curvas de luz para las 12 cefeidas en la galaxia M100 que se han medido con el Hubble se muestran en la [Figura 4 y 4a](#).

Cálculo de la Magnitud Absoluta

Usando la información en estas curvas, calcule la magnitud absoluta M para las 12 estrellas.

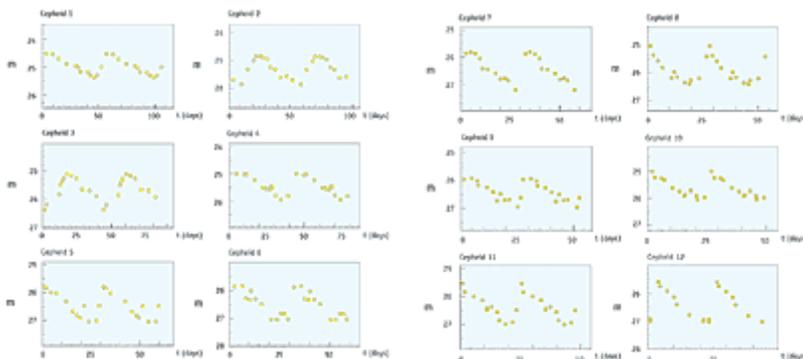


Figura 4 y 4 a: Curvas de luz cefeoides (clickear sobre las imágenes para una vista más amplia)

Curvas de luz para las 12 variables cefeidas que se han observado con el telescopio Hubble en la galaxia M100. La magnitud absoluta M es determinada a partir del periodo de las cefeoides. Adaptada de Freedman et al. (1994).

Cálculo de la distancia a cada cuerpo cefeide y a la galaxia M100

Students are first asked to think of a way to determine the apparent magnitude. Either they use their method or they use the one, described by us: At the beginning of the 20th century astronomers measured the minimum apparent magnitude (m_{min}) and the maximum apparent magnitude (m_{max}) and then took the average ($\langle m \rangle$) of the two.

Calculating the distance to each Cepheid and to M100

Para esta tarea se debe usar la siguiente ecuación de distancia:

$$m-M = 5 \log (D/10) = 5 \log(D) - 5,$$

donde D está en parsecs (1 parsec (pc) = 3.086×10^{13} km = 3.26 años luz).

Las distancias para las 12 cefoides no son todas las mismas, aunque las estrellas medidas se encuentran en la misma galaxia. Se pide a los estudiantes encontrar razones para estas diferencias.

La distancia encontrada por científicos se indica en los ejercicios. Ellos tomaron en cuenta el polvo interestelar para determinar el valor por lo que su resultado es más preciso. Por medio de la comparación del valor calculado con el valor entregado por los científicos, los estudiantes verán cómo la materia interestelar afecta las mediciones de distancia en el espacio.

Como tarea final, los estudiantes calcularán la constante del Hubble y estimarán la edad del Universo.

Un Toque de Astronomía Verdadera, Ejercicios de Astronomía del OES/SEA

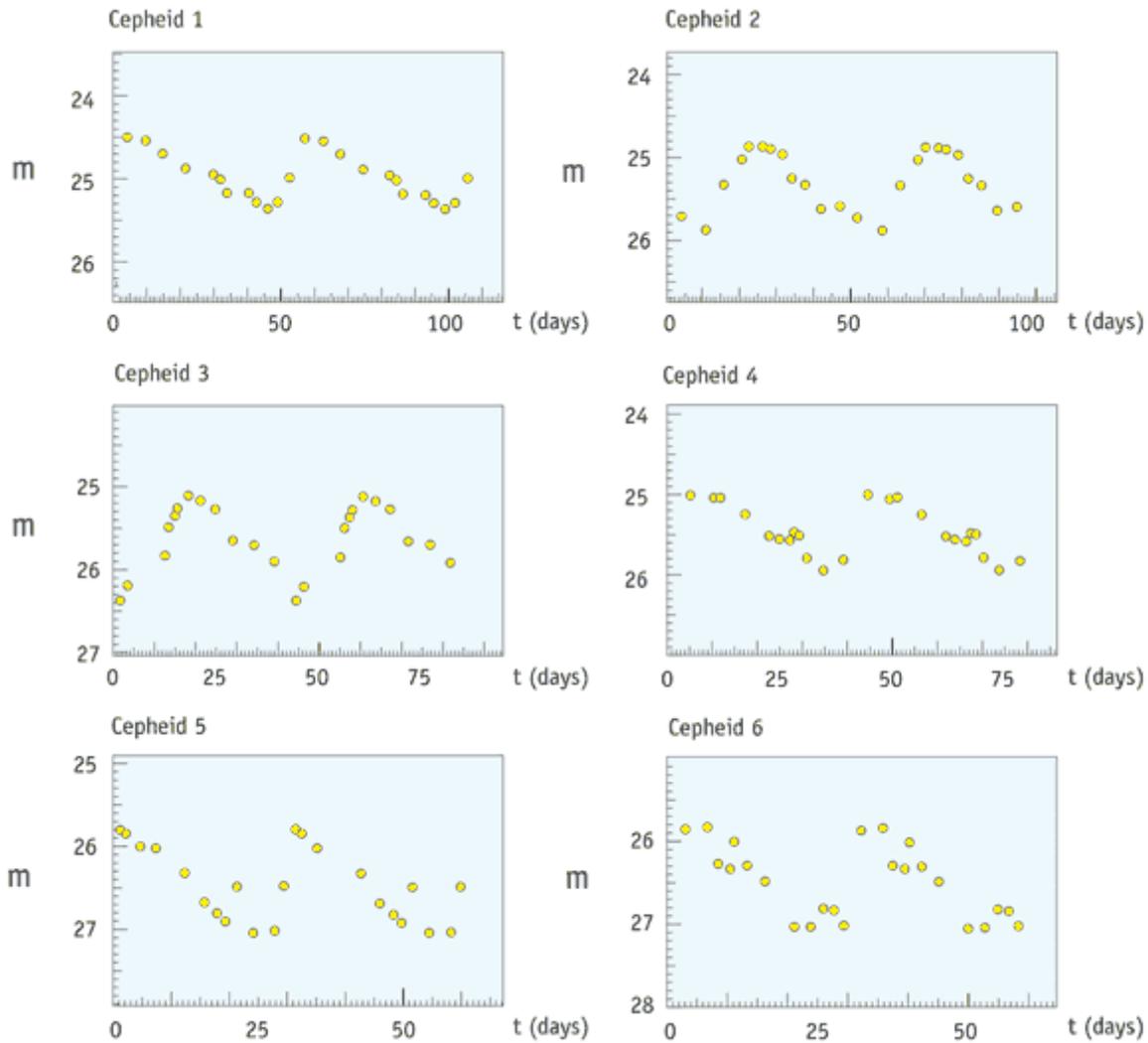


Figura 4: Curvas de luz cefoideas (clicar sobre las imágenes para una vista más amplia)

Curvas de luz para las 12 variables cefoideas que se han observado con el telescopio Hubble en la galaxia M100. La magnitud absoluta M es determinada a partir del periodo de las cefoideas. Adaptada de Freedman et al. (1994).

Un Toque de Astronomía Verdadera, Ejercicios de Astronomía del OES/SEA

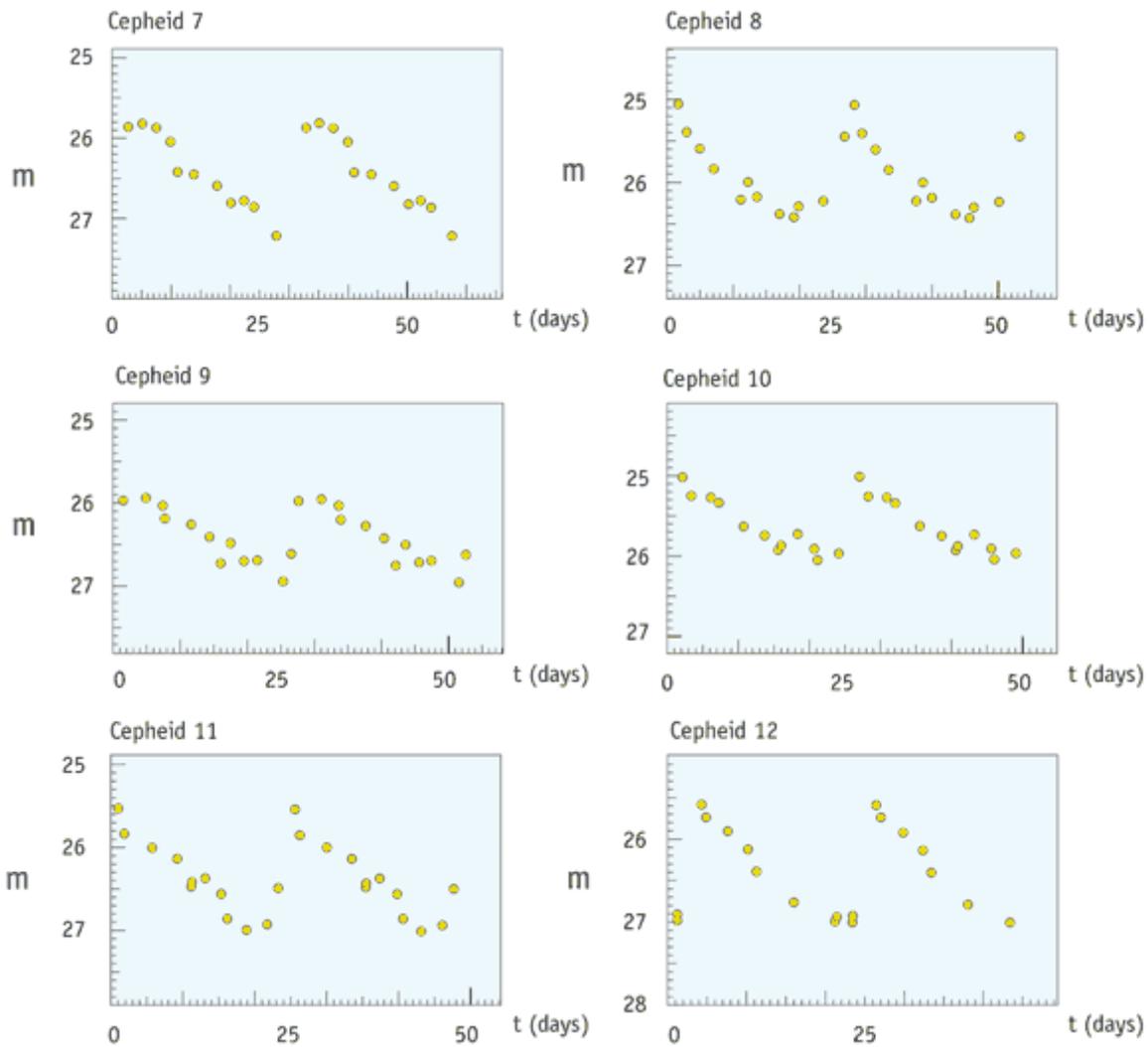


Figura 4a: Curvas de luz cefoides (clicar sobre las imágenes para una vista más amplia)

Curvas de luz para las 12 variables cefoides que se han observado con el telescopio Hubble en la galaxia M100. La magnitud absoluta M es determinada a partir del periodo de las cefoides. Adaptada de Freedman et al. (1994).