

ASTROFÍSICA EXTRAGALÁCTICA

Actividades Guiadas

Cálculo de distancias entre galaxias: Las Cefeidas



Máster en Astronomía y Astrofísica
Profesor VIU: Pascual D. Diago Nebot
e-mail: pascualdavid.diago@campusviu.es

Índice

1. Objetivo	1
2. Metodología	1
3. Introducción	2
4. Cálculo de la distancia a M100	4
5. Cálculo de la distancia a Andrómeda	7
5.1. El software ALADIN	8
5.2. Desarrollo del caso práctico con ALADIN	8
5.2.1. Carga de los datos a estudiar	10
5.2.2. Descripción de los datos	11
5.2.3. Determinación de la distancia	12
6. Estimación de H_0 y t	15
7. Tarea para el Portafolios	18
8. El método de las Cefeidas no es perfecto...	19
9. Agradecimientos	21
Bibliografía	21

1. Objetivo

- Conocer la base científica que hay en el método de las Cefeidas para la estimación de distancias
- Saber dibujar curvas de luz a partir de datos astronómicos
- Conocer y saber interpretar la relación Periodo-Luminosidad para las Cefeidas
- Saber utilizar ALADIN y ViZIER para la búsqueda de catálogos publicados en revistas científicas
- Utilizar ALADIN para determinar la distancia a galaxias
- Hacer una estimación de la constante de Hubble, H_0 , y de la edad del Universo a partir de los datos obtenidos

2. Metodología

Se presentarán dos casos prácticos:

1. Cálculo de la distancia a M100. El alumnado a partir de datos obtenidos por el Telescopio Espacial Hubble deberá determinar por el método de las Cefeidas la distancia a la galaxia M100 y dibujar un diagrama que muestre la relación Periodo-Luminosidad.
2. Cálculo de la distancia a M31. En este segundo caso se utilizará la herramienta Aladin para determinar la distancia a la galaxia M31. Nuevamente deberá obtenerse el diagrama P-L y comparar los datos obtenidos con los datos publicados en artículos científicos de Astronomía y Astrofísica.

Por último, haciendo uso de las distancias calculadas a las galaxias se obtendrá una aproximación a la Constante de Hubble y se determinará la edad del Universo de forma aproximada.

3. Introducción

Medir la distancia a la que se encuentran los objetos celestes es una tarea complicada. Para objetos cercanos, como la Luna o algunos planetas, puede hacerse mandando una señal de radio y midiendo el tiempo que ésta tarda en ser reflejada de vuelta a la Tierra. Para las estrellas cercanas también es posible obtener un valor preciso de la distancia utilizando el método de la paralaje.

Por el contrario, obtener la distancia a la que se encuentran objetos lejanos puede resultar muy complicado, ya que desde la Tierra sólo podemos medir la magnitud aparente de un objeto y no su verdadero brillo: una estrella débil pero cercana puede aparecer ante nuestros ojos tan brillante como una de mayor luminosidad pero que se encuentre a mayor distancia.

Durante los primeros años del siglo XX el problema de la determinación de distancias era un problema abierto. Por aquel entonces se estaba especialmente interesado en determinar la distancia de las llamadas “nebulosas”, estructuras difusas de las que se conocían numerosos ejemplos por toda la esfera celeste. Algunos astrónomos pensaban que estas “nebulosas” no eran otra cosa que nubes de gas pertenecientes a nuestra galaxia, la Vía Láctea. Otros, por el contrario, sostenían que eran agrupaciones de estrellas extremadamente alejadas de nosotros. Si esta última hipótesis fuera la correcta, el Universo sería mucho más grande de lo que se pensaba en aquellos años. Pero sin un método preciso para el cálculo de distancias no era posible dar una respuesta al problema de la naturaleza de las “nebulosas”.

El primer paso hacia la resolución del problema del cálculo de la distancia lo dio Henrietta Swan Leavitt quien, en 1912, investigó un grupo de estrellas variables llamadas Cefeidas.

Estas estrellas se caracterizan porque su brillo varía en un periodo de varios días. Leavitt encontró que este periodo de variación estaba conectado a la magnitud absoluta (esto es, el brillo real) de la estrella. Por tanto, si se conoce el periodo P de una Cefeida, se puede usar la siguiente fórmula para

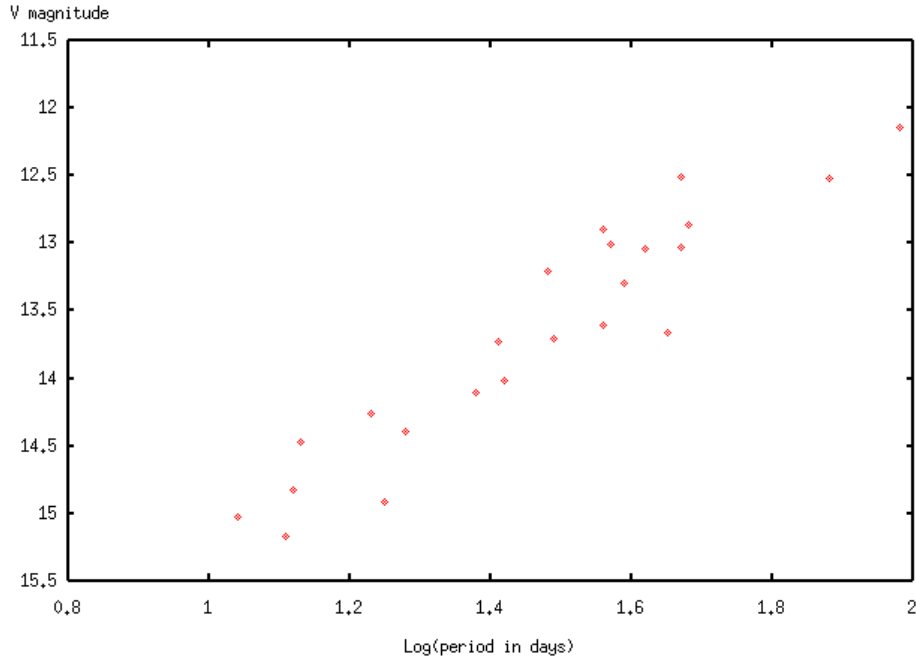


Figura 1: *Relación Periodo-Magnitud para las estrellas Cefeidas de la LMC obtenida por Madore and Freedman (1991).*

determinar la magnitud absoluta M :

$$M = -1,43 - 2,81 \cdot \log(P) \quad (1)$$

donde P se mide en días. Esta relación queda patente en la Fig. 1 obtenida para varias estrellas Cefeidas de las Nubes de Magallaens (MCs) por Madore and Freedman (1991).

Conociendo el brillo real de la estrella (magnitud absoluta, M) lo podemos comparar con el brillo que observamos (magnitud aparente, m) para calcular la distancia a partir de la siguiente expresión:

$$m - M = -5 + 5 \cdot \log(D) \quad (2)$$

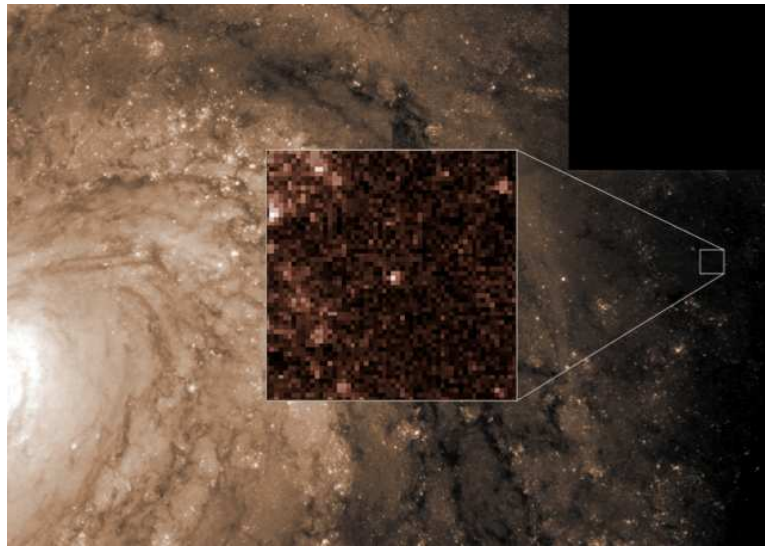


Figura 2: *El HST encuentra estrellas variables Cefeidas en M100. La alta resolución de la cámara del Hubble Space Telescope detectó y distinguió una de las estrellas variables Cefeidas usadas en este ejercicio. La estrella se encuentra en una región de formación estelar en uno de los brazos espirales de la galaxia (la estrella está en el centro del recuadro).*

donde D es la distancia al objeto medida en parsecs (recordad que 1 parsec equivale a 3,26 años-luz o, lo que es lo mismo, a 30 856 802 500 000 kilómetros).

Utilizando este método, Edwin Hubble fue capaz en 1923 de estimar la distancia de la “nebulosa” de Andrómeda, concluyendo que se encontraba más allá de los límites de la Vía Láctea. El enigma quedaba resuelto. Existían otras galaxias distintas de la Vía Láctea y el Universo era muchísimo mayor de lo que se pensaba.

4. Cálculo de la distancia a M100

La galaxia M100 (ver Fig. 3) es una espléndida galaxia espiral en el gran cúmulo de galaxias de Virgo. El cúmulo de Virgo contiene 2500 galaxias. M100 es un sistema en rotación formado por gas, polvo y estrellas similar a la Vía Láctea, y que se ve de cara. El nombre M100 proviene de hecho de que es el número 100 en el catálogo Messier de objetos no estelares.

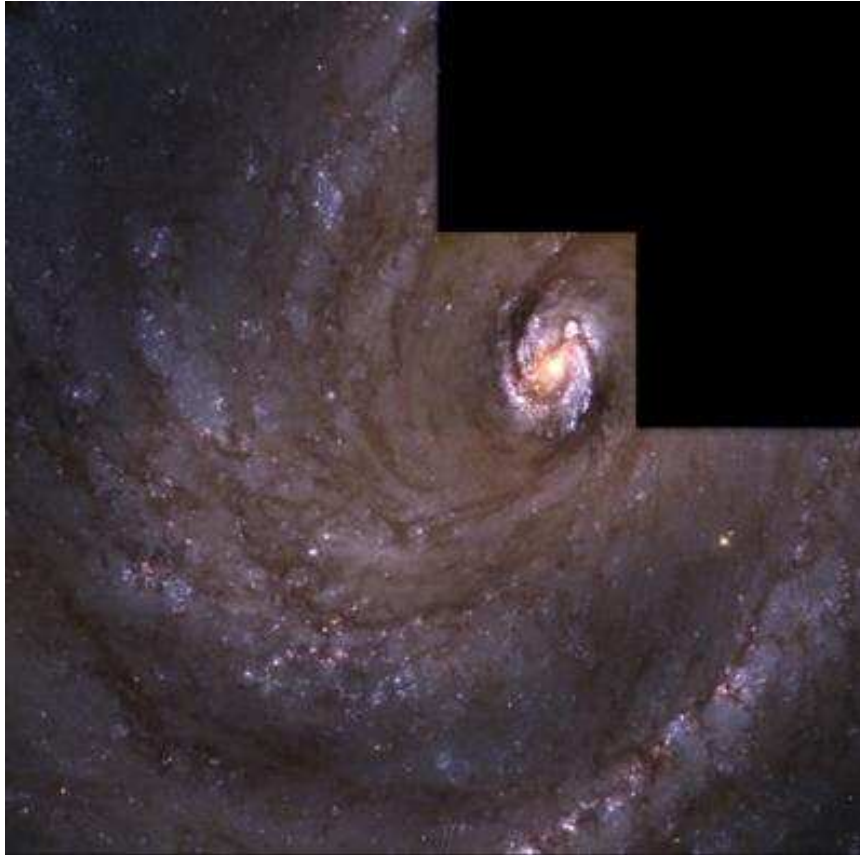


Figura 3: *La galaxia espiral M100.*

M100 es una de las galaxias más distantes en donde se han realizado medidas precisas de variables Cefeidas. Este ejercicio se basa en las imágenes del Hubble y en datos procedentes de esta galaxia.

Para este primer cálculo utilizaremos las curvas de luz de 12 estrellas de tipo Cefeida para estimar la distancia a la galaxia M100. Para ello utilizaremos datos en forma de columnas para cada estrella, la primera columna representa el tiempo, t , expresado en días y la segunda representa la magnitud aparente, m .

Ejercicio 1

Representa la curva de luz de cada estrella Cefeida. Para ello puedes usar cualquier tipo de software, desde hoja de cálculo hasta programas tipo Gnuplot. Debes de obtener una curva parecida a

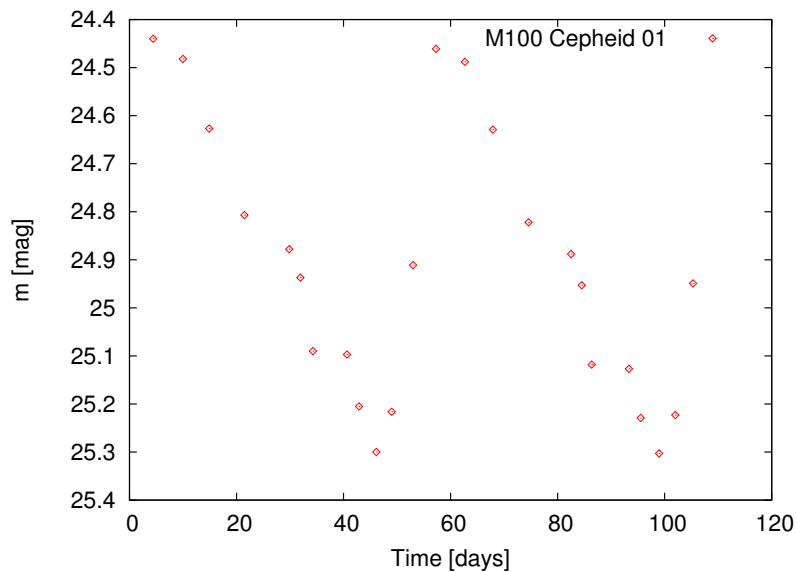


Figura 4: Ejemplo de representación de curva de luz de una Cepheida.

la mostrada en la Fig. 4 para cada estrella. Recuerda que las magnitudes se miden de forma inversa.

Ejercicio 2

Calcula la distancia a M100. Para ello sigue los siguientes pasos (crea una tabla con los valores obtenidos para presentarlos en la memoria de la práctica):

- A partir de los datos y la Ec. 1 calcula la magnitud absoluta M para las 12 estrellas. Para ello deberás obtener el periodo de cada una de las estrellas Cefeidas. Puedes obtener el periodo midiendo directamente sobre la gráfica el tiempo transcurrido entre las dos puntos más luminosos de la curva o con algún software especial, como por ejemplo PERIOD04¹.
- Calcula la magnitud aparente m usando las curvas ploteadas. A comienzos del siglo XX, los astrónomos midieron la magnitud aparente mínima (m_{\min}), la magnitud aparente máxima (m_{\max}) y tomaron la media ($\langle m \rangle$) de las dos como medida válida de la magnitud aparente.

¹<http://www.univie.ac.at/tops/Period04/>

- Calcula la distancia D (en Mpc) de cada Cefeida utilizando la Ec. 2.
- Obtén la distancia a M100 como la media de las distancias de todas las Cefeidas estudiadas, $\langle D \rangle$.

Ejercicio 3

En el artículo científico de Freedman et al. (1994b), publicado en *Nature*, en el que se usan las medidas del Hubble Space Telescope², el cálculo de la distancia a M100 fue $17,1 \pm 1,8$ Megaparsecs. En la determinación de este valor se tuvo en cuenta la presencia de polvo interestelar. Compara tus resultados con esta distancia.

Ejercicio 4

Finalmente dibuja el diagrama representando en el eje X el $\log P$ y en el eje Y la magnitud absoluta M para la galaxia M100. Compara tus resultados con los obtenidos por Freedman et al. (1994a) para M81 con datos del HST y con los de la LMC mostrados en la Fig. 1 (obtenidos de Madore and Freedman 1991).

5. Cálculo de la distancia a Andrómeda

En esta segunda parte de la práctica vamos a medir la distancia a Andrómeda (M31, ver Fig. 5) con el método de las Cefeidas. En este caso lo haremos utilizando el software ALADIN.

Para determinar la distancia a M31 utilizaremos los datos del trabajo de Joshi et al. (2003). En este trabajo presentan fotometría de 26 estrellas Cefeidas en las bandas R e I de Cousins en una región de aproximadamente $13' \times 13'$ en el disco de la galaxia M31 (ver Fig. 6). La fotometría fue obtenida durante 141 noches. Los autores también obtiene un diagrama periodo-luminosidad, que tendremos que obtener nosotros a partir de los datos proporcionados por ALADIN. Los datos que usaremos (Tabla 4 del paper), tal y como citan en el artículo, están disponibles en formato electrónico en la dirección <http://cdsweb.u-strasbg.fr/cgi-bin/qcat?J/A+A/402/113>.

²<http://www.stsci.edu/hst/>



Figura 5: La galaxia M31 observada por José Luis Lamadrid y Vicent Peris, disponible en <http://www.astrofoto.es/>.

5.1. El software ALADIN

En esta práctica usaremos el programa ALADIN, que ya hemos utilizado previamente. ALADIN es un atlas interactivo del cielo, desarrollado y mantenido por el Centro de Datos astronómicos de Estrasburgo (CDS), que permite al usuario visualizar imágenes de cualquier parte del cielo y superponer datos de tablas y catálogos de diferentes archivos astronómicos. ALADIN es una aplicación Java que se puede descargar entrando en <http://aladin.u-strasbg.fr/>.

5.2. Desarrollo del caso práctico con ALADIN

Lanzamos el programa ALADIN (podemos utilizar la versión de estudiante o la versión completa del programa³).

³En este caso, si tu navegador te pregunta qué aplicación debe usar para abrir el enlace de tipo Java WebStart anterior, debes indicarle que utilice el ejecutable “javaws” que

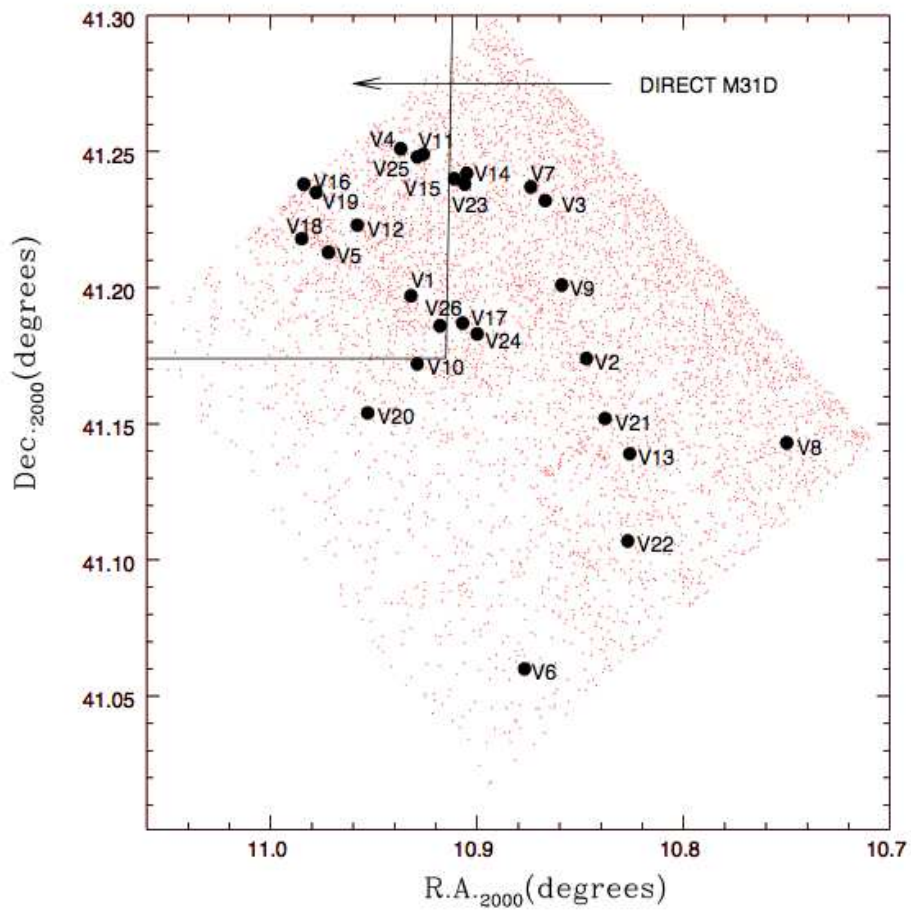


Figura 6: Posiciones de las 26 estrellas Cefeidas superpuestas sobre el campo observado de M31. Los pequeños puntos indican la posición de 4 400 estrellas observadas. Ver artículo de Joshi et al. (2003) para más detalles.

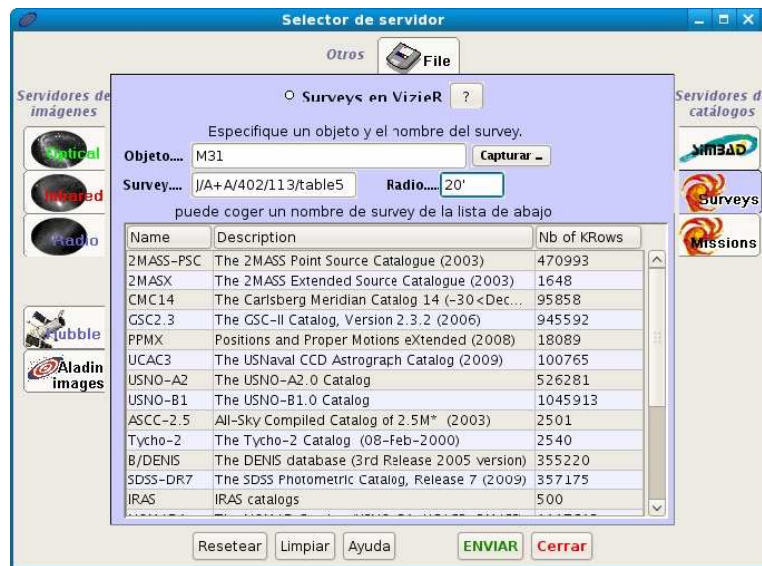


Figura 7: Proceso de carga del catálogo en ALADIN.

5.2.1. Carga de los datos a estudiar

Como ya hemos visto anteriormente, los datos de las 26 Cefeidas estudiadas están disponibles en el catálogo online J/A+A/402/113/table4. Por lo tanto, el primer paso será lanzar el programa ALADIN y cargar dicho catálogo.

- Archivo -> Abrir
- Elegimos la opción “Surveys” del menú “Servidor de catálogos”
- En el campo objeto escribimos “M31” y en el campo “Survey” el código del catálogo que vamos a utilizar (J/A+A/402/113/table4). Este catálogo contiene fotometría en las bandas Rc e Ic de estrellas variables de la galaxia de Andrómeda.
- Cambiamos el radio a 20 minutos de arco (20’)
- Pulsamos “ENVIAR” para comenzar la búsqueda (Fig. 7).

podrás encontrar en el directorio “bin” de tu instalación de Java.

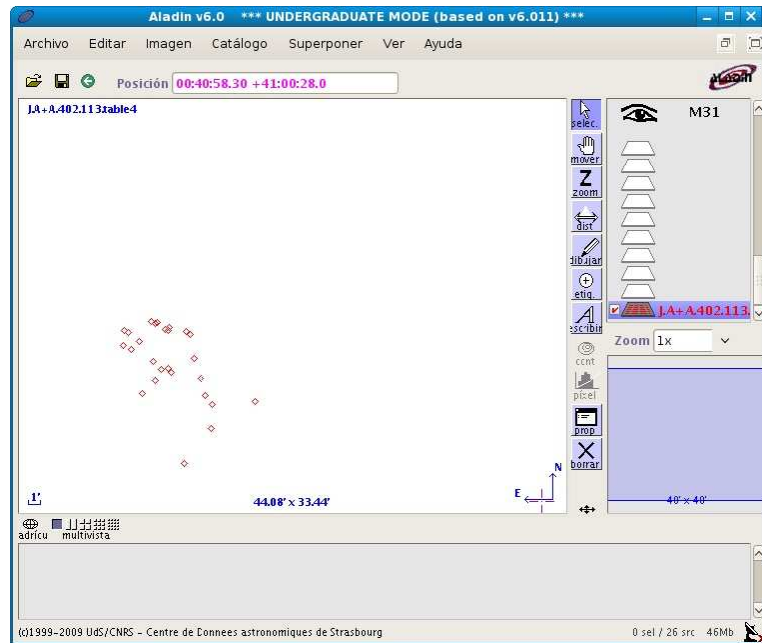


Figura 8: Catálogo cargado en ALADIN.

En la ventana principal de Aladin aparecerán los objetos del catálogo (26 en total). El identificador del catálogo (J.A+A 402.113) se nos muestra a la derecha en rojo (ver Fig. 8).

5.2.2. Descripción de los datos

En este paso vamos a examinar más en detalle la información que contiene el catálogo. Para ello situamos el cursor sobre el identificador del catálogo, pulsamos el botón derecho del ratón y elegimos la opción “Seleccionar todos los objetos en las capas seleccionadas” (Fig. 9).

Una vez realizado el paso anterior aparecerá la siguiente información en la parte de abajo de la ventana principal:

- “RAJ200” y “DEJ2000” son la ascensión recta y la declinación de la estrella.

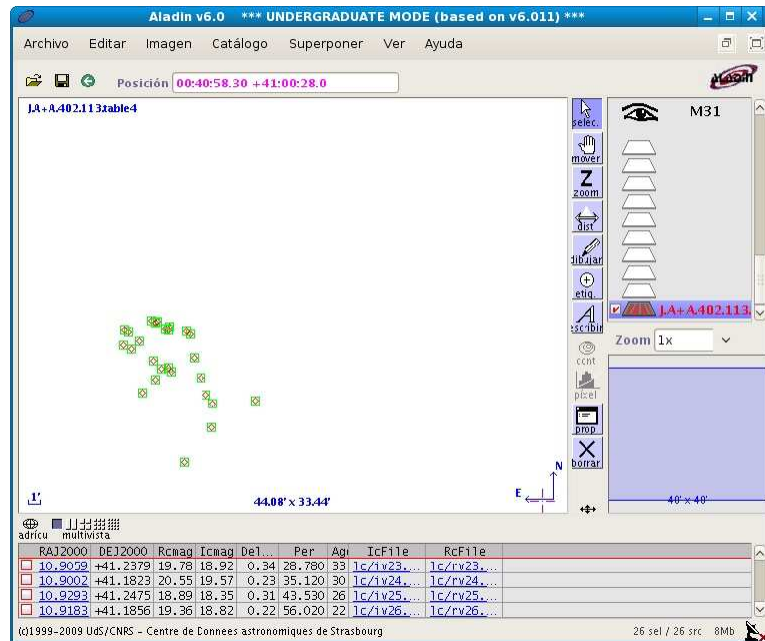


Figura 9: Descripción de los datos del catálogo.

- “Rcmag” y “Icmag” son las magnitudes aparentes de la estrella en los filtros Rc, Ic respectivamente.
- “DeltaRc” es la variación de la magnitud de la estrella en el filtro Rc.
- “Per” nos indica el valor del periodo de la estrella. Esta es justamente la información que necesitamos.
- “Age” nos indica la edad estimada de la estrella.
- “IcFile” y “RcFile” nos proporcionan enlaces a las curvas de luz (variación del brillo respecto del tiempo) en cada uno de los filtros.

5.2.3. Determinación de la distancia

Para calcular la distancia a Andrómeda utilizaremos las herramientas que nos ofrece el propio ALADIN. Para ello, debemos crear en el catálogo una nueva columna en donde incluir los valores de la magnitud absoluta. Así que haremos lo siguiente:

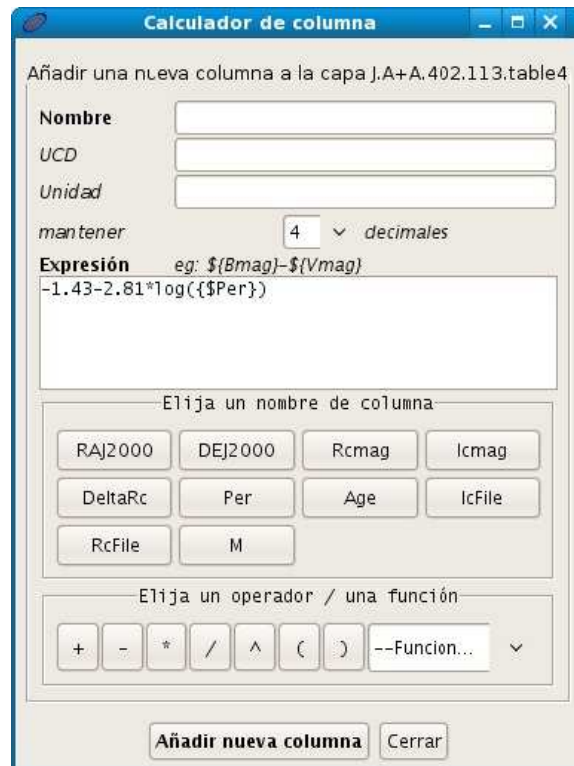


Figura 10: Calculador de columna propio de ALADIN.

- Catálogo -> Añadir nueva columna
- En la ventana “Calculador de columna” introducimos el nombre de la nueva columna, por ejemplo “M”. Ignoramos los campos UCD y “Unidad”.
- En el campo “Expresión” introducimos la formula de la relación periodo-magnitud que se ha dado en la Ec. 1 (ver Fig. 10):

$$-1.43-2.81*\log(\${Per})$$

Para construir la expresión podemos ayudarnos de las opciones “Elija un nombre de columna” y “Elija un operador/función”

- Pinchar en “añadir nueva columna” Repetimos el proceso anterior creando una nueva columna que llamaremos “distancia” y que vendrá dada por la siguiente expresión:

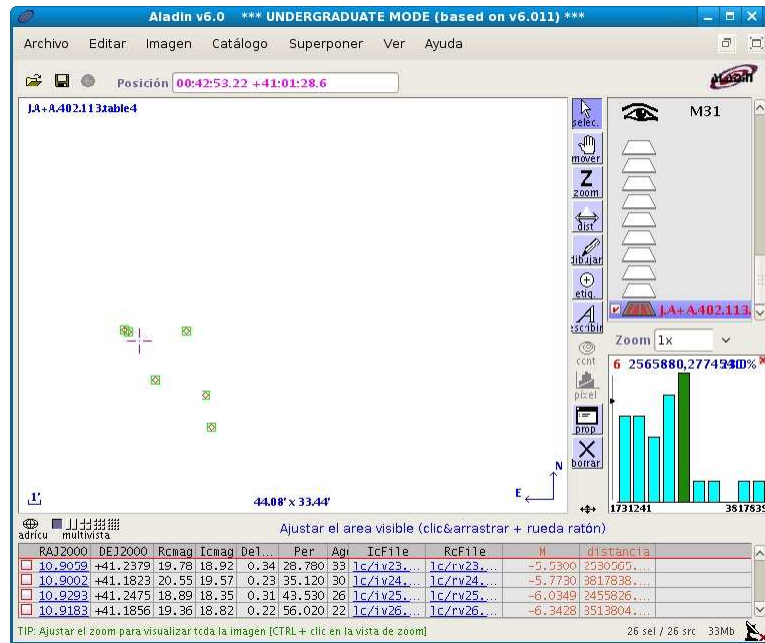


Figura 11: Resultado final obtenido en ALADIN.

$$10^{((\{Icmag\}-\{M\}+5)/5)*3.26}$$

La multiplicación por 3,26 convierte la salida de parsecs a años luz directamente (ver Fig. 11). Podemos convertirlo a millones de años luz dividiendo esta cantidad por 10^6 .

Clicando en un elemento de la última columna creada en la tabla aparecerá, en la parte inferior de la pantalla, un histograma con la distribución de los distintos valores de la distancia. Podemos seleccionar la anchura de las barras del histograma con el scroll del ratón.

Podemos copiar los datos enteros y exportarlos a texto plano o al programa Excel para hacer un histograma más detallado. Dicho histograma alcanzará un máximo alrededor de 2,5 millones de años luz. El valor actualmente adoptado de la distancia a la galaxia de Andrómeda es de $2,52 \pm 0,14$ millones de años luz

Ejercicio 5

Realiza el histograma con los datos de la distancia (D) y da el valor más probable para la distancia a la galaxia Andrómeda. Adjunta una captura de pantalla del histograma.

Ejercicio 6

Calcula el diagrama periodo-luminosidad para las estrellas Cefeidas de M31 a partir de las columnas I_{cmag} y P de la tabla de ALADIN (utiliza la función “copiar para editor de textos/copiar para Excel” en la propia tabla). Compara tus resultados con el diagrama mostrado en el artículo de Joshi et al. (2003, ver Fig. 12), el resultado debería de ser muy similar.

6. Estimación de la constante de Hubble y de la edad del Universo

Como estudiaremos en la asignatura Cosmología, el destino del Universo está íntimamente ligado al comportamiento y evolución futuro de su ritmo de expansión. Si la expansión se frena suficientemente, el Universo podrá un día comenzar a contraerse. Las observaciones actualmente sugieren que es más probable que el Universo continúe expandiéndose eternamente. Esta situación queda representada en la Fig. 13

La expansión hace que todas las galaxias se alejen de un observador dado (por ejemplo, en la Tierra), y cuanto más lejos están, más deprisa se alejan. La expansión conocida como Ley de Hubble (formulada por Edwin Hubble en 1929) describe la relación entre la distancia a un objeto dado y su velocidad de recesión, v . La ley de Hubble es:

$$v = H_0 \cdot D \tag{3}$$

Esta ley establece que las galaxias en nuestro Universo se alejan unas de otras con una velocidad v , proporcional a la distancia D entre ellas. H_0 es una propiedad fundamental del Universo —la constante de Hubble— importante en muchas cuestiones cosmológicas y mide la velocidad con la que el Universo se expande hoy en día.

La edad del Universo, t , se puede aproxima por el inverso de la constante

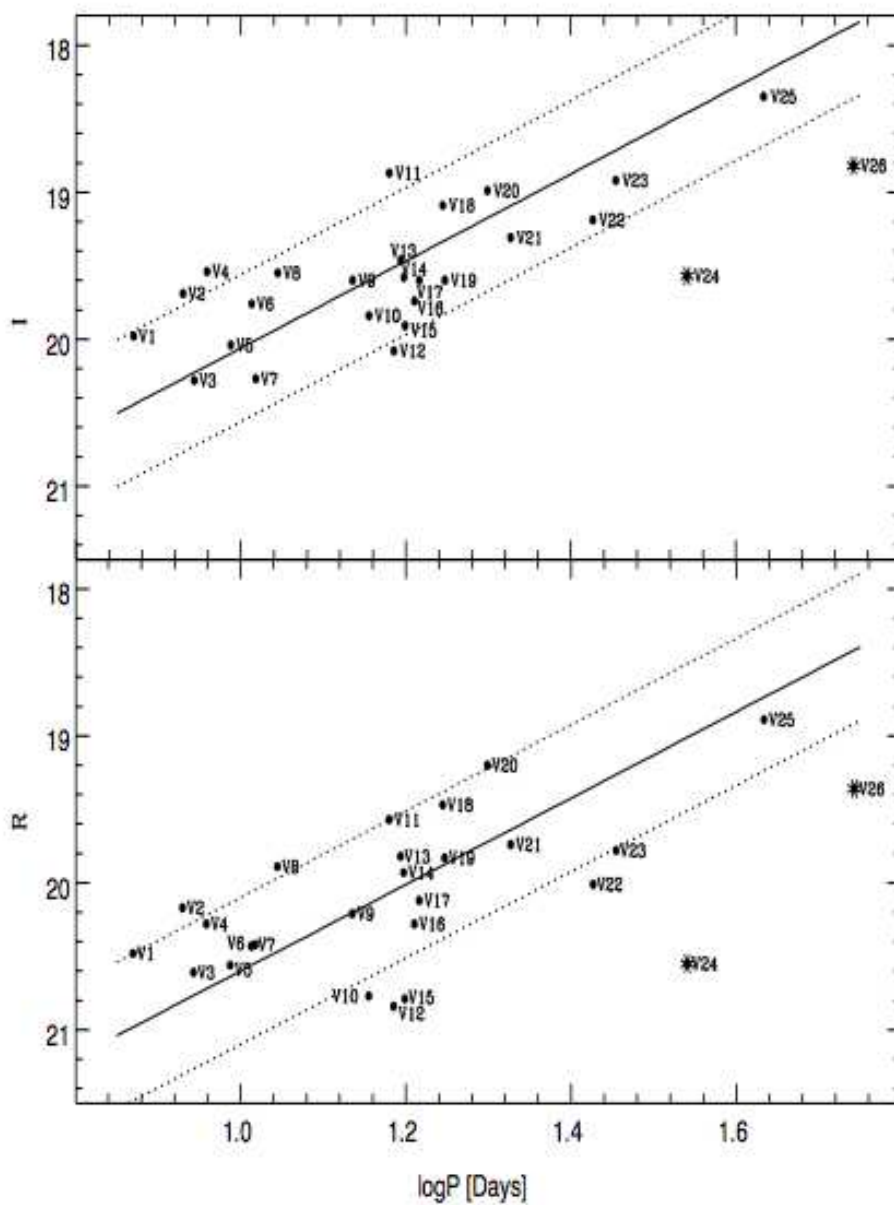


Figura 12: Relación periodo-luminosidad para las 26 Cefeidas estudiadas por Joshi et al. (2003). El diagrama inferior se refiere a la relación para el filtro R y el superior para el filtro I. No se aplicaron correcciones de reddening a los conjuntos de datos. Ver Joshi et al. (2003) para más detalles.

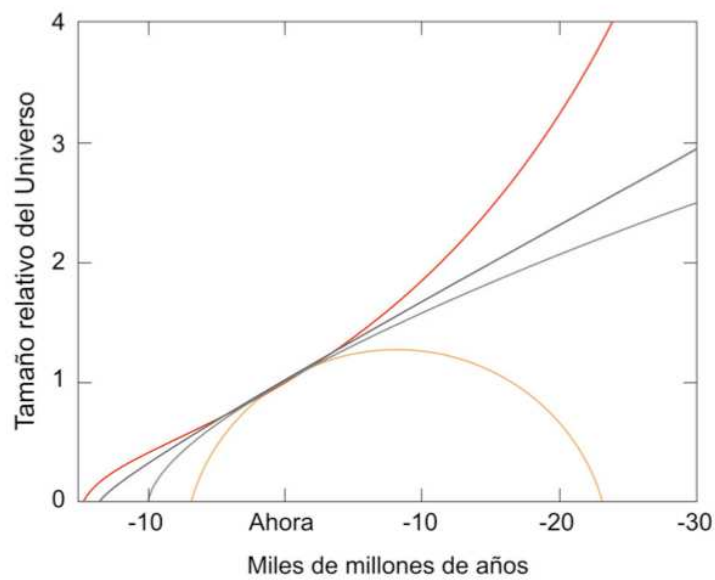


Figura 13: *El destino del Universo. Esta gráfica relaciona el tamaño del Universo con el tiempo. En otras palabras muestra como se expande y/o contrae con el tiempo. Las diferentes líneas “del futuro” (hacia la derecha en el diagrama) muestran diferentes modelos para el destino del Universo. Un Universo en eterna expansión o un Universo en contracción.*

de Hubble H_0 :

$$t = 1/H_0 \quad (4)$$

El valor de H_0 tiene enorme importancia a la hora de estimar la edad del Universo. Pero, ¿cómo medimos dicho valor? Para determinar H_0 “simplemente” necesitamos medir tanto la velocidad de recesión, v , como la distancia, D , de un objeto, normalmente una galaxia, o incluso mejor, muchas galaxias y encontrar el promedio de las medidas.

Así, como acabamos de ver, la velocidad de recesión v de una galaxia como M100 o M31, junto con la información de su distancia puede darnos un valor de la velocidad general de expansión del Universo, tal y como se describe por la constante de Hubble, H_0 . H_0 se expresa en la unidad km/s/Mpc.

Puedes utilizar la base de datos NED (NASA/IPAC Extragalactic Database⁴ para calcular las velocidades, v , de M31 y M100.

Ejercicio 7

Calcula la constante de Hubble usando los valores v obtenidos en la base de datos NED y el valor D de tus distancias medidas a M100 y M31, respectivamente.

Ejercicio 8

Suponiendo que la edad del Universo t viene dada por la Ec. 4, calcula un valor para la edad del Universo. Recuerda utilizar las unidades correctas. ¿Cuánto mayor es este valor que la edad de la Tierra?

7. Tarea para el Portafolios

Los resultados a entregar por parte del alumno para el portafolio de la asignatura comprenderán la realización de los ejercicios planteados a lo largo de la actividad. Los ejercicios deberán ir acompañados de las explicaciones, razonamientos y capturas de pantalla

⁴<http://nedwww.ipac.caltech.edu/>

necesarias.

La tarea se entregará en formato pdf.

NOMBRE DEL ARCHIVO : APELLIDOS-TAREA.pdf

El nombre del archivo .pdf no debe contener acentos ni espacios.

8. El método de las Cefeidas no es perfecto...

El método de las Cefeidas no es el indicador perfecto de distancia. La razón de más peso es que su brillo y periodo de pulsación puede variar ligeramente dependiendo de su composición química. Además existe la posibilidad de que al observar una estrella Cefeida en una galaxia lejana lo que realmente estemos observando sea la combinación de luz de la propia Cefeida y de sus estrellas cercanas.

Veamos un ejemplo de cómo podemos estar introduciendo errores sistemáticos utilizando el método de las Cefeidas:

1. Si medimos la luz de una Cefeida contaminada por la luz de cuatro estrellas muy cercanas y pensamos que estamos observando una única estrella Cefeida, entonces estaremos **sobreestimando** el brillo aparente de la Cefeida. Por tanto, estaremos considerando que la estrella Cefeida es más brillante de lo que realmente es...
2. ... de este modo, cuando comparamos su brillo aparente con la luminosidad (que determinamos a partir del periodo) estaremos **subestimando** la distancia a la estrella. Por tanto, estaremos pensando que está más cerca de lo que realmente lo está.

Esta es la idea básica de por qué las Cefeidas no son el método perfecto. Esta discusión ha sido muy prolífica en la literatura astronómica durante los últimos años:

- Un artículo de Mochejska et al. (2000) avisaba de que la confusión de Cefeidas aisladas con Cefeidas mezcladas con otras estrellas puede llevar a una subestimación significativa de la distancia a una galaxia usando el método de las Cefeidas realizado por el HST. El abstract del artículo dice:

We investigate the influence of blending on the Cepheid distance scale. Blending is the close association of a Cepheid with one or more intrinsically luminous stars. High-resolution HST images are compared with our ground-based data, obtained as part of the DIRECT project, for a sample of 22 Cepheids in the M31 galaxy. The average (median) V-band flux contribution from luminous companions that are not resolved on the ground-based images is about 19% (12%) of the flux of the Cepheid. This is a large effect-at the 10% level for distances. The current Cepheid distance estimates to M31 are all ground based and are thus affected (underestimated).

- La respuesta de Ferrarese et al. (2000) argumentaba que a pesar de la confusión de Cefeidas aisladas con Cefeidas contaminadas con luz de otras estrellas modificaría la medida del brillo de la estrella Cefeida, las medidas de distancia realizadas por el HST no se verían afectadas por errores significativos. El abstract del artículo dice:

We find that while the photometry in individual images can be biased too bright by up to 0.2 mag in the most crowded fields due to confusion noise, the effects on distance measurements based on Cepheid variables are insignificant, less than 0.02 mag (1% in distance) even in the most problematic cases. This result, which is at odds with claims that have recently surfaced in the literature, is due to the strict criteria applied in the selection of the variable stars, and the photometric cross-checks made possible by the availability of multiple exposures in different filters which characterize Cepheid observations.

Así, podemos ver cómo el tema de las Cefeidas ha sido causa de controversia en los últimos años.

9. Agradecimientos

Esta práctica ha hecho uso de las guías educativas de Observatorio Virtual desarrolladas en el marco de los proyectos EuroVO-AIDA (INFRA-2007-1.2.1/212104) y SVO (AyA2008-02156), del Programa de Ejercicios de Astronomía de ESA/ESO y del material preparado por Michael Richmond.

Bibliografía

Ferrarese, L., Silbermann, N. A., Mould, J. R., Stetson, P. B., Saha, A., Freedman, W. L., y Kennicutt, Jr., R. C.: 2000, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* **112**, 177

Freedman, W. L., Hughes, S. M., Madore, B. F., Mould, J. R., Lee, M. G., Stetson, P., Kennicutt, R. C., Turner, A., Ferrarese, L., Ford, H., Graham, J. A., Hill, R., Hoessel, J. G., Huchra, J., y Illingworth, G. D.: 1994a, *Astrophysical Journal* **427**, 628

Freedman, W. L., Madore, B. F., Mould, J. R., Hill, R., Ferrarese, L., Kennicutt, R. C., Saha, A., Stetson, P. B., Graham, J. A., Ford, H., Hoessel, J. G., Huchra, J., Hughes, S. M., y Illingworth, G. D.: 1994b, *Nature* **371**, 757

Joshi, Y. C., Pandey, A. K., Narasimha, D., Sagar, R., y Giraud-Héraud, Y.: 2003, *Astronomy & Astrophysics* **402**, 113

Lenz, P.: 2010, *El manual del software PERIOD04 fue publicado en Lenz P., Breger M. 2005, Communications in Asteroseismology, 146, 53* , y está disponible en:

http://www.univie.ac.at/tops/Period04/files/p04manual_v1.0.0.pdf

Madore, B. F. y Freedman, W. L.: 1991, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* **103**, 933

Mochejska, B. J., Macri, L. M., Sasselov, D. D., y Stanek, K. Z.: 2000, *Astronomical Journal* **120**, 810

Software, ALADIN, *está disponible en <http://aladin.u-strasbg.fr/>. Es software libre mantenido por el Centre de Données astronomiques de Strasbourg.*

Software, PERIOD04 *es un programa dedicado al análisis estadístico de series temporales astronómicas. El programa ofrece herramientas visuales para extraer las frecuencias de oscilación del contenido multiperiodico de la serie temporal y permite ajustes multi-frecuencia a los datos. El software es gratuito y está disponible en <http://www.univie.ac.at/tops/Period04/>*

UDS/CNRS: 1999, *The ALADIN User Manual, disponible en la web <http://aladin.u-strasbg.fr/>*

Web, *100 conceptos básicos de Astronomía: <http://www.astronomia2009.es/Documentos/100ConceptosAstroc.pdf>*

Web, *ESA (European Space Agency): <http://www.esa.int>*

Web, *Hubble Space Telescope website: <http://www.stsci.edu/hst/>*

Web, *NASA/IPAC Extragalactic Database (NED): <http://nedwww.ipac.caltech.edu/>*

Web, *Observatorio Virtual Español: <http://svo.laefl.inta.es>*