

Un paseo por el universo de la mano de mujeres astrónomas  
**astronomía**

13



**Promueve: Consejería de Presidencia, Justicia e Igualdad  
Instituto Asturiano de la Mujer**

**Edita: Consejería de Presidencia, Justicia e Igualdad  
Instituto Asturiano de la Mujer**

**Distribuye: Consejería de Presidencia, Justicia e Igualdad  
Instituto Asturiano de la Mujer**

**Autoras: Rosalía Cid Barreno, Maida Domat Rodríguez,  
Lorena González Legarreta, M<sup>a</sup> Ángeles Rodríguez Braña,  
Vanessa Cristina Rodríguez Guerrero, Tatiana Sánchez Fernández**

**Coordinadora: M<sup>a</sup> Ángeles Rodríguez Braña**

**Diseño y maquetación: ©Forma**

**Imprime: Gráficas La Morgal**

**ISBN: 978-84-694-1699-0**

**Depósito legal: As-751 / 11**

## PRESENTACIÓN

LA HISTORIA de la Astronomía también se escribe en clave femenina. Conocerla no es menos interesante que conocer la propia ciencia, puesto que nos permite comprender su génesis y, además, rescata de alguna manera a las personas que han contribuido a edificarla gracias a su genialidad y a su trabajo.

La presente Unidad Didáctica, editada por el Instituto Asturiano de la Mujer, quiere contribuir a este objetivo, especialmente ante las nuevas generaciones. Para ello el formato elegido ha sido la descripción de las aportaciones científicas de cada astrónoma, dentro del contexto histórico, familiar, social y discriminatorio vivido para llevar a cabo su labor, junto a una cuidadosa selección de actividades didácticas que ayudan a comprender y a reflexionar sobre cada uno de los temas de investigación desarrollados por sus protagonistas.

Obras como ésta permiten romper la barrera de la *invisibilidad* que durante tanto tiempo han sufrido las mujeres, impuesta por un poder científico y social tradicionalmente masculino, así como construir modelos de referencia femeninos entre la juventud y levantar una sociedad que defienda con orgullo el principio de igualdad de oportunidades, al poner en valor las contribuciones de esa otra mitad del universo investigador que son las astrónomas.

Josefina F. Ling  
Astrónoma de la Universidad de Santiago de Compostela  
Comisaria de la exposición *Con A de astrónomas*

## Introducción

«Ésta es una batalla que tendrán que librar las mujeres jóvenes. Hace 30 años pensábamos que la batalla acabaría pronto, pero la igualdad es tan elusiva como la materia oscura».

VERA RUBIN (2005) Astrónoma.

A la pregunta: ¿qué mujeres científicas conoces?, la respuesta es predecible: Marie Curie. Desde luego Marie Curie merece el honor de ser nombrada la primera, no en vano ha recibido dos premios Nobel. Pero la siguiente pregunta: ¿quién más?, también tiene una conocida contestación: silencio. Con esta Unidad Didáctica tratamos de modificar esta última respuesta.

La astronomía, como ciencia ligada a la vida y a los misterios del universo, siempre ha interesado a hombres y mujeres. Sabemos de astrónomas de la antigüedad como Aglaonike e Hipatia, sin embargo en épocas posteriores la Historia de la Ciencia apenas da cuenta de ellas. Durante siglos las mujeres desarrollaron la astronomía en el seno familiar, pero será a partir del siglo XVIII cuando algunas astrónomas comenzaron a ser conocidas, abriendo una pequeña puerta, en un mundo de hombres, por la que no han dejado de transitar las mujeres.

Los objetivos generales que se persiguen con esta Unidad Didáctica son hacer visibles a algunas de las astrónomas que mejoraron nuestro conocimiento sobre el universo, apreciar sus aportaciones científicas y a través de ellas incrementar el conocimiento sobre el cosmos.

La Unidad Didáctica está dirigida al alumnado de 1º de Bachillerato, con la intención de ser útil en la asignatura de Ciencias para el Mundo Contemporáneo, si bien algunas de las actividades que se proponen pueden utilizarse en Física y Química de 1º de Bachillerato y de 4º de ESO.

Se estructura en dos bloques: *Sistema Solar* y *Estrellas y Galaxias*. Comienza con astrónomas que han investigado el Sistema Solar como Caroline Herschel, descubridora de cuerpos celestes, o Charlotte Moore, que dedicó su carrera a investigar el espectro solar. Muestra cómo clasificaba las estrellas Annie Jump Cannon. Explica el descubrimiento de Henrietta Leavitt, que ha permitido conocer que el universo no termina en nuestra galaxia. Sigue a Wendy Freedman, que nos enseña a determinar la edad del universo y finaliza con Vera Rubin, que nos enfrenta a una de las grandes incógnitas del cosmos.

Las actividades pueden realizarse independientemente y en el orden que se estime necesario, si bien la Unidad Didáctica tiene un hilo conductor.

Se sugiere que antes de realizar una actividad se proporcione o solicite información sobre la astrónoma que se menciona en ella.

El documento se completa con una bibliografía comentada y algunas direcciones electrónicas que creemos pueden ser útiles a docentes y alumnado, un glosario y las soluciones de algunas de las actividades propuestas.

Esta Unidad Didáctica se basa en la exposición *Con A de Astrónomas*. Damos las gracias a todas las personas que participaron en su elaboración y que nos han permitido trasladar su esquema a este documento.

# Sistema Solar

Comenzamos el paseo por el universo acercándonos a nuestra estrella, el Sol, una estrella mediocre, pero a fin de cuentas la nuestra. Saltamos por los cuerpos que orbitan el Sol: los planetas, planetas enanos y cuerpos menores. Las astrónomas nos guían.

**Charlotte Moore Sitterly** (Estados Unidos, 1898-1990) dedicó su carrera al estudio del espectro solar, contribuyendo decisivamente en la interpretación y descripción del mismo, lo que ha permitido conocer algunas propiedades del Sol como la composición, densidad, o existencia de campos magnéticos. Se dio cuenta de la ventaja que supondría disponer de los espectros atómicos de todos los elementos químicos conocidos al analizar el espectro solar, de modo que contactó con grupos de investigación en todo el mundo con el fin de recopilar información. Publicó varios documentos en los que compiló, organizó y analizó todos los datos de laboratorio de la época sobre espectros atómicos y niveles energéticos. Los documentos eran tan completos y la información tan clara que durante décadas fueron una referencia para la ciencia, la última vez que se reeditaron fue en 1971. Recibió importantes premios en los que se reconocieron sus aportaciones a la ciencia, y tanto la Universidad de Kiel en Alemania como la de Michigan en Estados Unidos le concedieron el grado de doctora *honoris causa*.

## Actividad nº 1

Objetivos

- Conocer las características de una onda electromagnética.
- Comprender la importancia de los espectros atómicos en el estudio del universo.

Charlotte Moore dedicó gran parte de su carrera al estudio del espectro solar, ya que a través de él se deducen muchas características del Sol, como por ejemplo la composición. Te proponemos una serie de preguntas para que investigues sobre el espectro electromagnético y así acercarte al trabajo de esta astrónoma.

**1.1 Tienes dos fuentes de ondas electromagnéticas, una cuya longitud de onda es de 10 km y otra de longitud de onda de 1,3 nm.**

**a.- ¿Sabrías decir a qué región del espectro electromagnético corresponde cada una de ellas? .....**

.....

**b.- ¿Cuál es la más energética? (Datos:  $h = 6,625 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ ,  $c \approx 3 \cdot 10^8 ms^{-1}$ ) .....**

.....

**1.2 Dentro del espectro electromagnético investiga la región que se denomina visible: anota los rangos de frecuencia asociados a cada color. ....**

**1.3 Supongamos que en la superficie del Sol el único componente es el hidrógeno, buscamos las tablas que nos dan su espectro y reducimos el espectro de emisión de éste a las siguientes líneas: H- $\alpha$  en 656,3 nm, H- $\beta$  en 486,1 nm, H- $\gamma$  en 434,1 nm y H- $\delta$  en 410,2 nm. Supongamos además que nuestra atmósfera no absorbe radiación en la zona del visible. Razona entonces cómo sería el espectro proveniente del Sol. ....**

.....

.....

.....

.....

.....

.....



2.3 En 1758 la francesa Nicole-Reine Lepaute realizó los cálculos sobre la órbita que describe el cometa Halley con el fin de poder observarlo en el cielo al año siguiente. ¿Qué órbita describe?, ¿cuál es su periodo?, ¿en qué zona del Sistema Solar se sitúa? .....

.....

.....

.....

2.4 Robin M. Canup (Estados Unidos 1968) es una astrofísica experta en choques de objetos celestes. Afirma que uno de estos choques fue el origen de la Luna. Su web <http://www.boulder.swri.edu/~robin/>, contiene algunos vídeos que ilustran este hecho. Busca información sobre las distintas teorías del origen de la Luna.

2.5 Dentro del Sistema Solar, Plutón ha cambiado de clasificación, ya que la Unión Astronómica Internacional ([www.iau.org](http://www.iau.org)) lo ha definido como planeta enano. Investiga sobre los argumentos que han provocado el cambio y valóralos. ....

.....

.....

.....

.....

### Actividad nº 3

Objetivos

- Obtener características de los cuerpos celestes aplicando la Ley de Gravitación Universal.
- Manejar unidades astronómicas.
- Diferenciar entre Ciencia y pseudociencia.

3.1 Caroline Herschel y su hermano Wilhelm descubrieron Urano en 1781. Compara algunas características de los planetas de nuestro Sistema Solar; para ello trata de completar la Tabla 1. Para cada planeta debes calcular: su distancia al Sol en unidades astronómicas, el tiempo que emplea la luz del Sol en llegar al planeta, la velocidad orbital media (aproxima la órbita elíptica a una circular) y el periodo de traslación alrededor del Sol. Por último, usando los valores que has hallado, dibuja una gráfica que relacione la velocidad orbital de cada planeta con su distancia media al Sol.

Datos:  $1 \text{ ua} \approx 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$ ,  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ,  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ ,  $M_{\text{sol}} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

Planetas	Distancia media al Sol (ua)	Tiempo que tarda en llegar la luz del Sol (minutos-luz)	Velocidad orbital media (km/s)	Duración del año planetario (días)
Mercurio	0,4			
Venus	0,7			
Tierra	1	8		365
Marte	1,5			
Júpiter	5,2			
Saturno	9,6			
Urano	20			
Neptuno	30			

Tabla 1: Planetas del Sistema Solar

**3.2 Aglaonike (siglo V a.n.e), astrónoma de la antigüedad, predecía con exactitud el movimiento de la Luna. Como sabes, todos los planetas del Sistema Solar presentan un movimiento de traslación alrededor del Sol y otro de rotación en torno a su eje. Eso sucede también en el sistema Tierra-Luna. ¿Por qué crees que la Luna tiene una cara oculta y siempre nos muestra la misma cara? .....**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**3.3 La astrología, a diferencia de la astronomía, es una pseudociencia que se basa en la creencia supersticiosa de que los astros tienen un gran poder sobre nuestro carácter y nuestra suerte. En la antigüedad ambas estaban unidas y de hecho Aglaonike (siglo V a.n.e), a pesar de utilizar las matemáticas en sus predicciones, era considerada una visionaria. Para demostrar que las constelaciones zodiacales no ejercen ninguna influencia en nuestro nacimiento, compara la fuerza gravitatoria que ejerce sobre el feto el o la obstetra que asiste en un parto con la fuerza que ejerce la estrella Pólux (la estrella más brillante de la constelación de Géminis).**

**Datos: Pólux tiene una masa de  $3,6 \cdot 10^{30}$  kg y se encuentra a 33,7 años luz, la velocidad de la luz es  $3 \cdot 10^8$  m/s; suponer una masa de 100 kg para el médico y que en el momento del parto su centro de gravedad está a 30 cm del feto. ....**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

# Estrellas y galaxias

Seguimos a las astrónomas a través de estrellas de todos los colores, bordeamos el agujero negro de nuestra galaxia y... saltamos.

Uno de los mayores programas de clasificación y catalogación de estrellas fue realizado por mujeres. Hacia 1870, el director del Observatorio de Harvard (EEUU) contrató a un grupo de mujeres para realizar este trabajo mediante el análisis de las placas fotográficas que eran obtenidas con telescopios. Se trataba de un trabajo que necesitaba de gran concentración, destreza visual y paciencia. Estas mujeres, conocidas como las *calculadoras*, lo realizaban con gran eficacia y por un salario muy inferior al del resto de ayudantes de astrónomo.

El gran trabajo que realizaron, así como su inteligencia y creatividad pronto quedaron de manifiesto, siendo algunas de ellas protagonistas de importantes descubrimientos astronómicos.

Una de las primeras contratadas de Harvard fue **Williamina Paton Fleming** (Escocia 1857- Estados Unidos 1911), una maestra escocesa que emigró a Estados Unidos en busca de una nueva vida; comenzó a trabajar de sirvienta para el director del Observatorio, pero éste, que como muestra la historia fue un cazatalentos, pronto la contrata para trabajar en el Observatorio. Fleming desarrolló un nuevo método para clasificar estrellas según su espectro. En 1898 la nombran encargada del archivo fotográfico, convirtiéndose en la primera mujer que consigue este cargo. Descubrió 10 novae, 52 nebulosas y 310 estrellas variables. Y es la primera mujer que admite la prestigiosa «Royal Astronomical Society».

Fue consciente de la discriminación de género que sufrió. En su diario leemos: «parece que cree que ningún trabajo es demasiado difícil para mí, sin importarle la responsabilidad o las horas que me pueda pasar, pero en cuanto saco el tema del salario se me dice que recibo un salario excelente teniendo en cuenta los salarios que cobran las mujeres... estoy tentada a dejar que pruebe a otra persona, o alguno de los hombres para hacer mi trabajo, para que vea lo que recibe de mí a cambio de 1500 dólares al año, comparados con los 2500 de algunos de sus ayudantes... ¡Y ésta se considera la era de la ilustración!»

Otra de las *calculadoras* de Harvard fue **Annie Jump Cannon** (Estados Unidos 1863-1941), quien clasificó más de 225000 estrellas y estableció un sistema de clasificación que aún se utiliza hoy día. Al principio de su trabajo clasificaba alrededor de 5000 estrellas al mes, pero pronto fue capaz de clasificar 300 en una hora. Realizó un trabajo tan importante que el director del Observatorio propuso al presidente de Harvard que apareciera el nombre de Cannon en el catálogo de estrellas de la universidad y que se le otorgase el prestigio de un puesto académico. En aquel momento no consiguió ninguna de las dos peticiones, fue nombrada conservadora de fotografías astronómicas, un cargo de menor relevancia. En 1925 la universidad de Oxford la nombró doctora *honoris causa*, la primera vez que concedía este título a una mujer. Y por fin, Harvard publicó su nombre en el catálogo, Annie había completado 9 volúmenes del mismo. En 1933 la Sociedad Astronómica Americana estableció un premio que lleva su nombre.

**Antonia Caetana Maury** (Estados Unidos 1866-1952) fue otra importante *calculadora* de Harvard. Creó un sistema de clasificación alternativo que distinguía estrellas gigantes de enanas para un mismo tipo espectral, pero el director no lo aprobó. Maury se rebelaba ante la imposibilidad de realizar trabajos creativos y abandonó Harvard, volviendo tras la muerte del director. En 1922 algunas de sus ideas fueron incorporadas al esquema oficial de clasificación estelar por la Unión Astronómica Internacional.

Todas estas mujeres clasificaban estrellas. Sabemos que el Sol es una estrella, pero ¿qué es una estrella?, ¿por qué brilla?

Las estrellas son enormes esferas de gas a altísimas temperaturas, brillan con luz propia debido a que en su interior se producen reacciones termonucleares que liberan una gran cantidad de energía que percibimos en forma de luz. Estas reacciones convierten hidrógeno, el principal componente de las estrellas, en helio.

**Cecilia Payne-Gaposchkin** (Inglaterra, 1900-Estados Unidos, 1979) fue la primera en demostrar que el hidrógeno era el componente principal de las estrellas. La primera mujer que realizó una tesis doctoral sobre astronomía en Harvard, pero que tuvo que leer en Radcliff, un centro de estudios para mujeres, y la primera también en obtener el puesto de profesora en Harvard.

Durante la primera mitad del siglo XX el acceso a los grandes telescopios estuvo vetado a las mujeres: sólo accedían como administrativas y calculistas. La única mujer a la que se le permitió el acceso en los años 30 fue a Cecilia debido a su extraordinaria reputación, pero no para realizar una observación astronómica regular, sino únicamente por unas pocas horas como cortesía del director del Observatorio. De las dificultades con las que se encontró da cuenta el consejo que daba a las jóvenes interesadas en la ciencia: «No comiencen ninguna carrera científica en busca de fama o dinero, embárquense en ella sólo si nada más puede satisfacerlas, porque probablemente nada más reciban».

Todas las estrellas tienen inicialmente los mismos componentes, H y He, pero no son todas iguales. Se diferencian en una serie de parámetros, el principal de los cuales es su masa. La masa inicial definirá cuál va a ser la evolución de la estrella, su edad, su temperatura, su brillo, su espectro. Así, las estrellas más masivas tienen un mayor tamaño, brillan más, por tanto son más calientes y además se consumen antes.

Las estrellas pasan la mayor parte de su vida transformando el hidrógeno del núcleo en helio; esta fase de su vida se llama Secuencia Principal (SP). Las estrellas con una masa similar a la del Sol permanecen aproximadamente unos 10000 millones de años en la SP. Agotado el hidrógeno, comienzan a expandirse y se convierten en gigantes rojas. Éstas llegan a expulsar sus capas más externas, quedando en el centro una estrella enana blanca, muy caliente, que acaba apagándose lentamente.

Si la estrella es muy masiva llega a convertirse en supergigante roja. Ésta sufre una muerte espectacular: explotan violentamente en forma de supernovas en las que aumenta el brillo de manera súbita. Después de la explosión queda una estrella de neutrones, llamada púlsar o un agujero negro.

**Jocelyn Bell** (Irlanda 1942) fue la primera astrónoma que detectó los púlsares. Mientras hacía su doctorado tomó datos registrados por un radiotelescopio; eran señales de radio de mucha regularidad y muy rápidas. Nadie sabía de dónde procedían, pero Bell, junto a su director de tesis, concluyó que procedían de una estrella hasta entonces desconocida, que debía de ser muy masiva y girar muy rápido. La llamaron púlsar. Los premios Nobel reconocieron este descubrimiento en 1974, pero sólo se otorgó el Nobel de Física al director de su Tesis Doctoral. Tuvo que pasar el tiempo para que fuese reconocida y valorada la aportación de Jocelyn Bell al descubrimiento.

## Actividad nº 4

### Objetivos

- Conocer los descubrimientos que han realizado las astrónomas.
- Conocer la evolución de las estrellas.
- Obtener información de gráficos.

**4.1 Annie Jump Cannon clasificó las estrellas en siete tipos espectrales. La Tabla 2 relaciona la clase espectral con la temperatura y el color de la estrella. El Diagrama 1 de evolución estelar HR (Hertzsprung-Russel), en el que L representa la luminosidad y  $R_{\text{sol}}$  el radio del Sol, muestra una gran banda, llamada Secuencia Principal, que recorre el diagrama desde la esquina superior izquierda hasta la esquina inferior derecha. En esa banda las estrellas pasan la mayor parte de su vida. La región de arriba a la derecha corresponde a las fases de gigante y supergigante roja, mientras que la nube inferior corresponde a la fase de enana blanca. Empleando la Tabla 2 y el Diagrama HR averigua qué color presentan y en qué fase de su vida se encuentran las estrellas de la Tabla 3.**

Clase espectral según Annie Jump Cannon	Temperatura Superficial	Color
O	>28000 K	azul-violeta y blanco
B	28000 K a 10000 K	azul y blanco
A	10000 K a 7500 K	blanco
F	7500 K a 6000 K	blanco y amarillo
G	6000 K a 5000 K	amarillo
K	5000 K a 3500 K	naranja
M	<3500 K	rojo

Tabla 2: Clasificación de Estrellas

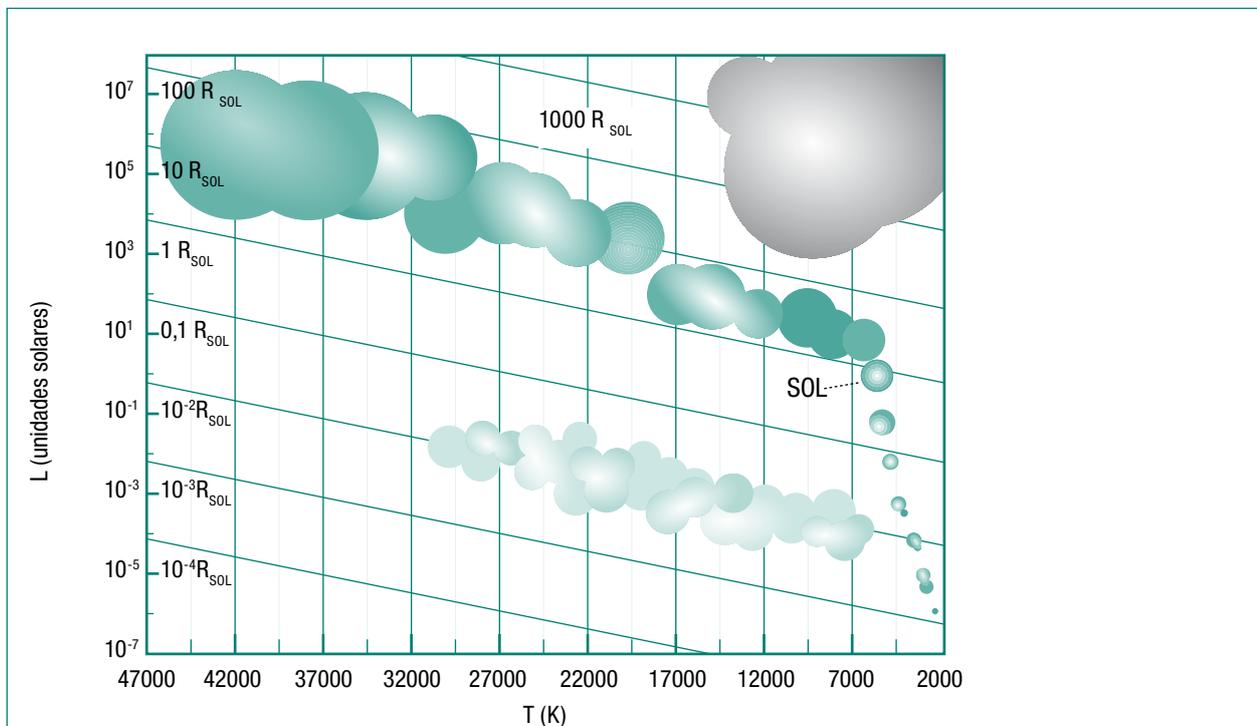


Diagrama 1. Evolución Estelar HR

Estrellas	T superficie (K)	Radio estrella
Vega	9600	2,26 $R_{\text{Sol}}$
Sirius B	25000	0,01 $R_{\text{Sol}}$
Sirius	9900	1,71 $R_{\text{Sol}}$
Tu estrella	2300	71,01 $R_{\text{Sol}}$

Tabla 3: Clasifica estas estrellas

.....  
 .....  
 .....

**4.1 Cecilia Payne-Gaposchkin fue la primera en demostrar que el hidrógeno era el principal componente de las estrellas. Hay algunos planetas que, como las estrellas, están compuestos de hidrógeno y helio pero, ¿por qué no brillan?** .....

.....  
 .....  
 .....

**4.2 Jocelyn Bell fue la descubridora de los púlsares. Éstos son unos objetos densísimos (estrellas de neutrones) que giran a gran velocidad y emiten unos tremendos chorros de radiación. Debido a su giro, estos chorros de radiación aparecen como faros. Así, la señal que Jocelyn Bell recogió con un radiotelescopio consistió en unos pulsos muy cortos y de una gran regularidad. El púlsar con el récord en velocidad de giro de los descubiertos es el XTE J1739-285, cuyo pulso es de unos 1122 Hz. ¿Crees que gira más rápido o menos que un motor de Fórmula 1? (Dato: el límite de velocidad de los motores de los F1 está en torno a las 18000 r.p.m.)** .....

.....  
 .....  
 .....  
 .....

¿A qué distancia están las estrellas? Esta pregunta se ha tratado de responder en todas las épocas. La trigonometría, y dentro de ésta, el método de la paralaje, permite determinar distancias, pero sólo a las estrellas más cercanas. Hay que señalar que incluso para las más cercanas, la paralaje es tan pequeña que cualquier mínimo error invalida el cálculo. Era necesario buscar otros métodos para medir la distancia a las estrellas más lejanas.

Fue **Henrietta Leavitt** (Estados Unidos, 1868-1921), una de las *calculadoras* de Harvard, quien mostró un nuevo método para medir distancias. Catalogando un tipo de estrellas que varían su brillo, las llamadas Cefeidas, dedujo la relación entre el período de cambio de brillo y la luminosidad de la estrella, lo que permitió medir distancias más allá de nuestra galaxia. Encontró que las estrellas más masivas y por tanto más brillantes tienen períodos de cambio de luminosidad más lentos que las menos masivas. Con la regla que Henrietta dedujo, midiendo el período de cambio conocemos el brillo intrínseco de la estrella, lo que permitió obtener patrones de luminosidad y reconocer que muchos de los objetos que observamos se encuentran fuera de nuestra galaxia. Por ello se considera que es la primera cosmóloga de la historia. En 1925 el matemático Gösta Mittag-Leffler se interesó en su trabajo para proponerla como candidata al Nobel de Física de 1926, pero Henrietta había fallecido cuatro años antes.

## Actividad nº 5

### Objetivos

- Comprender los descubrimientos de las astrónomas.
- Conocer métodos para medir distancias en el universo.
- Saber que la ciencia no es estática.
- Interpretar gráficas.

**5.1 Vamos a medir distancias a una estrella cercana con el método de la paralaje: podemos elegir dos momentos del año, el 23 de enero y el 24 de junio, de modo que la Tierra se encuentra en los dos extremos opuestos de su órbita solar. Conociendo la distancia de la Tierra al Sol y el ángulo que se mide en cada posición, se aplica la trigonometría para determinar la distancia a la estrella.**

**a) Deduce la fórmula de la paralaje anual media a una estrella cualquiera, usando la siguiente figura**

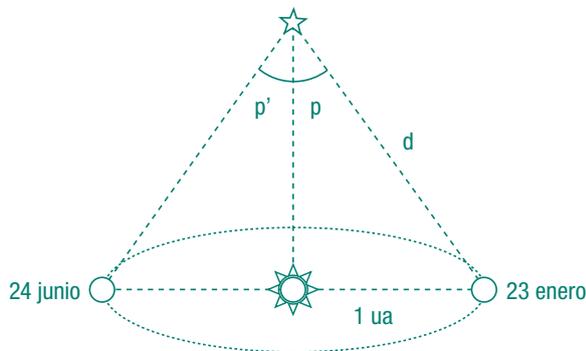


Figura 1: Para calcular la paralaje

**b) El año luz es una unidad de distancia, pero otra unidad muy extendida es el parsec. Busca su definición y determina el valor de un parsec en años luz.** .....

**c) Según lo obtenido en el anterior apartado calcula la distancia en años luz a las siguientes estrellas, dado su ángulo de paralaje:**

Estrella	Ángulo de Paralaje anual medio (segundos de arco)
Antares	0,019''
Aldebarán	0,053''
Capella	0,080''
Vega	0,130''
61 Cygni	0,296''
Sirio	0,374''
Proxima Centauri	0,753''

**d) Determina el error del cálculo si se incrementa la paralaje de la estrella Antares en una milésima de segundo de arco. ¿Qué ocurre con el ángulo de paralaje cuando la estrella está muy lejana?.....**

5.2 Si has resuelto el ejercicio anterior habrás observado que el método de la paralaje tiene un límite de aplicación. Henrietta Leavitt fue una de las astrónomas de Harvard que proporcionó un nuevo método para medir distancias más allá de nuestra galaxia. Vamos a seguir el razonamiento de esta astrónoma.

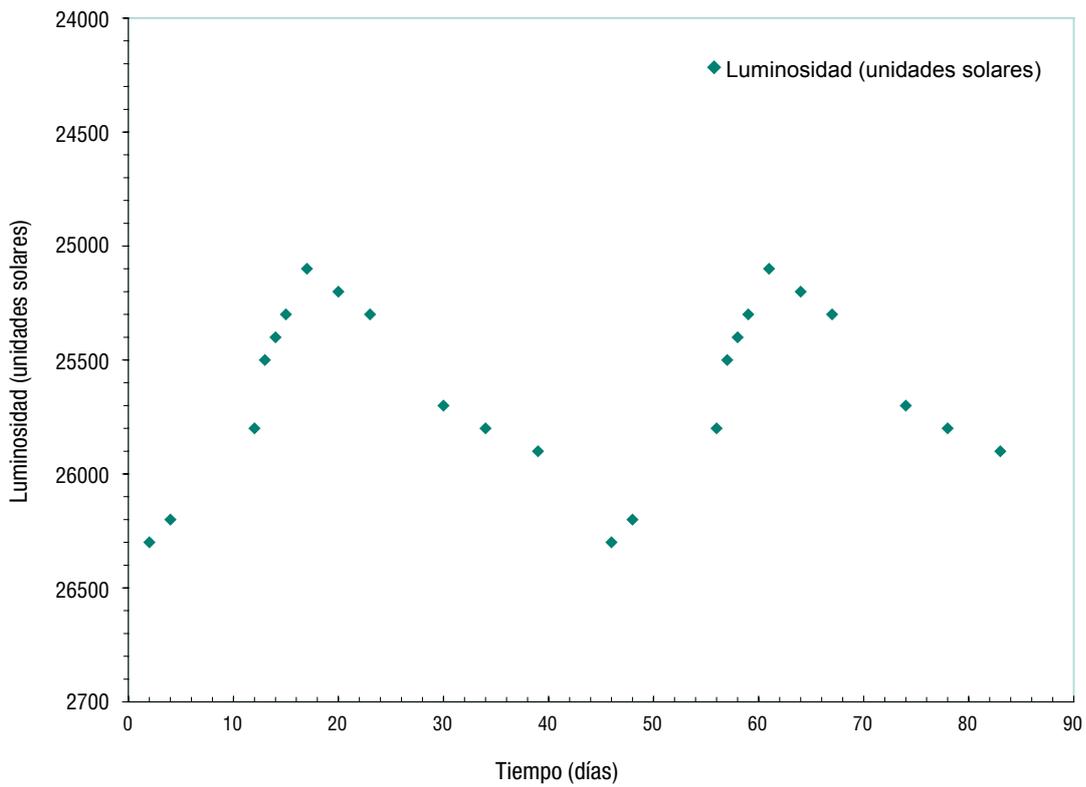
a) La Gráfica 1 muestra cómo varía la luminosidad de una estrella cefeida. Determina el valor del período de cambio de luminosidad y la luminosidad media de la estrella.....

.....

.....

.....

.....



Gráfica 1: Datos de una estrella cefeida

b) Ahora Henrietta nos ha prestado sus datos sobre varias Cefeidas: están en la Tabla 4. Representalos en una gráfica. ¿Qué concluyes? .....

Período (días)	Luminosidad (unidades solares)
1,3	300
1,4	600
2,3	660
1,8	480
7,8	4900
3,7	1000
6,1	1600
12	5800
17	6400
2,7	840
23,7	8500
35	9400
50	22000
55,6	43000
20	8800

Tabla 4: Datos de estrellas cefeidas

**c) Y, por último, supongamos que observas dos estrellas cefeidas con el mismo brillo, pero una tiene un período de 3 días y otra de 10 días. ¿Cuál de las dos estrellas estará a mayor distancia? .....**  
 .....  
 .....

Midiendo distancias, con el método que proporcionó Henrietta, y velocidades de alejamiento de las galaxias, el astrónomo Hubble demostró en 1929 que la velocidad a la que los objetos del universo se alejan de la Tierra es proporcional a la distancia a la que se encuentran. Es lo que se conoce como Ley de Hubble. El valor de la constante de proporcionalidad, denominada constante de Hubble, nos informa sobre la tasa de expansión del universo.

Fue **Wendy Freedman** (Canadá, 1957) quien, tras 10 años de investigación midiendo velocidad y posición de las galaxias, logró determinar el actual valor de la constante de Hubble, lo que ha permitido conocer la edad del universo. Actualmente codirige un grupo de 30 astrónomas y astrónomos de Estados Unidos, Canadá, Gran Bretaña y Australia que han estado estudiando el brillo de supernovas que explotaron hace cientos de millones de años en galaxias muy distantes, lo que les llevó a afirmar en 1998 que el universo parece estar en expansión acelerada. Este hecho implica la existencia de alguna fuerza de naturaleza desconocida, llamada energía oscura, que se opone a la gravedad y que constituye uno de los grandes enigmas del cosmos. La Dra. Freedman ha recibido numerosos premios por su investigación y pertenece a la Academia Americana de Artes y Ciencias. Su página web se encuentra en <http://obs.carnegiescience.edu/research/wfreedman/>

## Actividad nº 6

### Objetivos

- Conocer un método para medir la velocidad de los cuerpos celestes.
- Aplicar el efecto Doppler.
- Deducir la edad del universo.

**6.1 Wendy Freedman y su equipo de investigación midieron durante 10 años la velocidad con la que se alejan las galaxias y la distancia a la que se encuentran. Sobre cómo medir distancias se ha trabajado en las actividades anteriores. La velocidad se puede medir a través del efecto Doppler que experimenta su luz, según la ecuación**

$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c}$  siendo  $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda aparente,  $\lambda_0$  la longitud de onda en reposo,  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s la velocidad de la luz y  $v_r$  la velocidad radial de alejamiento de la galaxia (positiva si se aleja y negativa si se acerca). Basándote en dicho efecto responde a las siguientes cuestiones:

a) Teniendo en cuenta que el rojo corresponde a las mayores longitudes de onda del espectro visible y el azul a las menores, el espectro de una estrella que se aleja de la Tierra ¿estará desplazado hacia el rojo o hacia el azul?, ¿y el de una que se acerca? .....

.....

b) En el laboratorio medimos las siguientes líneas espectrales del hidrógeno: línea H- $\alpha$  en 656,3 nm, H- $\beta$  en 486,1 nm. Si en el espectro de una estrella observamos que sus principales líneas de absorción corresponden a las siguientes longitudes de onda: 656,44 nm, 486,22 nm, ¿crees que se aleja o se acerca a la Tierra?, ¿a qué velocidad?

.....

.....

.....

c) Calcula las posiciones de las líneas H- $\alpha$  y H- $\beta$  de absorción del hidrógeno que obtendríamos en el espectro de una estrella que se aproxima a la Tierra a 250 km/s. ....

.....

.....

d) ¿Qué pensarías que le sucede a una galaxia espiral lejana cuyo espectro observado contiene las líneas del hidrógeno desplazadas hacia el rojo?, ¿y si se desplazan hacia el azul?, ¿y si en una galaxia espiral próxima observamos las líneas espectrales del hidrógeno desplazadas hacia el rojo en su extremo izquierdo y hacia el azul en su extremo derecho? .....

.....

.....

e) Ya sabes que Wendy Freedman, basándose en todos los datos que obtuvo sobre las galaxias, consiguió dar un valor de la constante de Hubble. Este dato que por ahora se considera correcto, permitió calcular la edad del universo, que es de unos 13700 millones de años. Imita a esta brillante astrónoma y trata de calcular dicho valor, para ello trabaja con los datos que se dan en la Tabla 5. (Datos: 1 pársec = 3,2616 años luz =  $3,0857 \cdot 10^{13}$  km). ....

.....

.....

.....

.....

Distancia (Mpc)	Velocidad (km/s)
26	1865
35	2509
41	2913
53	3801
56	3967
68	4851
72	5100
82	5824
90	6392
116	8251
126	8979
138	9798
146	10432
170	12054
224	15931
233	16585
244	17308
359	25476
449	31884

Tabla 5: Velocidad y distancia de galaxias

Sabemos que una galaxia es un sistema enorme de estrellas, planetas, nubes de gas, partículas diminutas que llaman polvo, y algo que no se ve pero que se detecta por su efecto gravitacional: la materia oscura. Todo unido por la fuerza gravitatoria.

Una de las primeras personas que aportó pruebas que sugieren la existencia de esta materia oscura fue **Vera Rubin** (Estados Unidos, 1928), quien midió la velocidad orbital de las estrellas alrededor del centro de la galaxia espiral a la que pertenecen. Se encontró con un resultado inesperado: no se cumplían las leyes físicas; solo se cumplirían si hubiese más materia de la que se ve, la llamada materia oscura, otra de las grandes incógnitas cosmológicas.

A pesar de pertenecer al siglo XX, Vera Rubin sufrió la discriminación de la época por ser mujer. A principios de los años 50 solicitó ingresar en Princeton para realizar estudios de postgrado en astronomía, la respuesta fue «no se admiten mujeres». Lo mismo le sucedió al solicitar la beca para costear sus estudios de postgrado cuando consiguió ser admitida en la Universidad de Cornell, donde estudió Física. Vera, además de ser una gran astrónoma, se convirtió en una luchadora por la igualdad. En el año 2005 afirmaba: «ésta es una batalla que tendrán que librar las mujeres jóvenes. Hace 30 años pensábamos que la batalla acabaría pronto, pero la igualdad es tan elusiva como la materia oscura».

## Actividad nº 7

### Objetivos

- Reflexionar sobre la igualdad en ciencia.
- Conocer nuestra galaxia.
- Interpretar gráficas.

**7.1 ¿Qué piensas de las palabras de Vera Rubin sobre la igualdad? Averigua el porcentaje de mujeres que cursan estudios científicos-técnicos en España. Da tu opinión sobre los datos que has obtenido. ....**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**7.2 Andrea Mia Ghez (Estados Unidos, 1968) es una astrónoma americana experta en agujeros negros. Ya sabes que nuestra galaxia posee uno en su centro. La densidad de un agujero negro es tan elevada que nada, ni siquiera la luz, puede escapar.**

**a) ¿Sabrías decir qué valor debe tener como mínimo la velocidad de escape en un agujero negro? .....**

.....

.....

**b) Utilizando la fórmula clásica para la velocidad de escape de un objeto de un campo gravitatorio,  $V_{escape} = \sqrt{2GM/R}$  donde  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$  es la constante de gravitación universal, M la masa del cuerpo que genera el campo gravitatorio y R su radio. Calcular el radio máximo al que debe comprimirse una estrella de 30 masas solares ( $M_{Sol} = 1,9891 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ ) para que se convierta en un agujero negro. ....**

.....

.....

.....

.....

**c) El Sol, situado a unos 30000 años luz del centro de la galaxia, describe una órbita alrededor del centro, con un período de unos 200 millones de años. Determina la masa de la galaxia. ....**

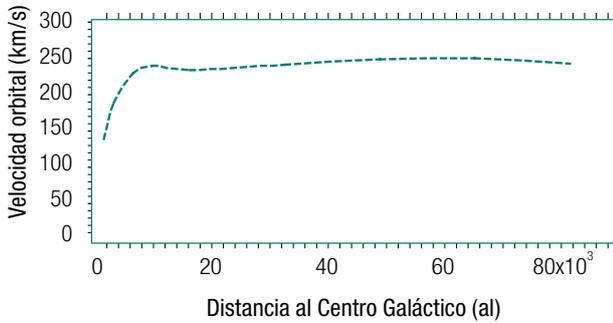
.....

.....

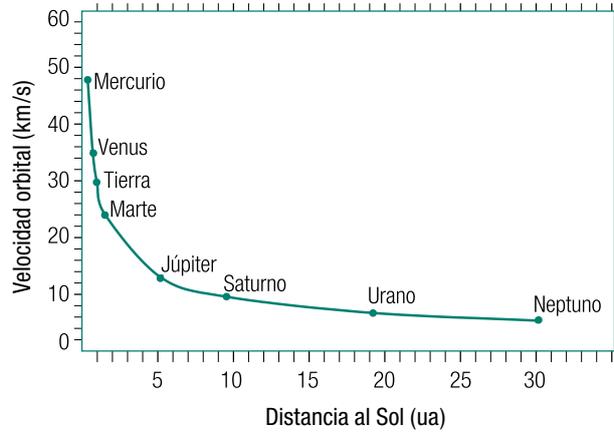
.....

.....

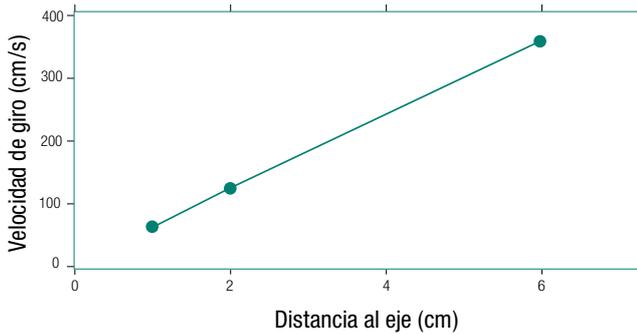
**7.3 Vera Rubin, al medir la velocidad orbital de las estrellas de una galaxia espiral, se encontró con un resultado inesperado. Sus medidas se muestran en la Gráfica 2. La Gráfica 3 muestra las velocidades de rotación de los planetas de nuestro Sistema Solar frente a la distancia al Sol, en base a la Ley de Gravitación Universal. La Gráfica 4 refleja la velocidad de giro de varios puntos de un CD de música, un objeto compacto, que gira a 500 r.p.m. y distan 1 cm, 2 cm y 6 cm respectivamente respecto al centro de giro.**



Gráfica 2: Velocidad orbital de las estrellas de una galaxia



Gráfica 3: Velocidad orbital de los planetas del Sistema Solar



Gráfica 4: Velocidad de giro de varios puntos de un CD

a) Compara las Gráficas 2 y 3 ¿Se ajusta la curva de velocidades de rotación de las estrellas de esta galaxia a la Ley de Gravitación Universal?, ¿por qué? .....

.....

.....

.....

.....

.....

b) Compara ahora la Gráfica 4 del CD con la Gráfica 3 de los planetas en el Sistema Solar (esencialmente vacío, con la mayor parte de la masa concentrada en su centro: el Sol) y ambas con la Gráfica 2, que representa la velocidad orbital de las estrellas de una galaxia espiral en torno a su centro. ¿Encuentras alguna explicación para que las estrellas de la galaxia espiral sigan la curva de la Gráfica 2? .....

.....

.....

.....

.....

.....



## BIBLIOGRAFÍA

ALIC, MARGARET (1991). *El legado de Hipatia. Historia de las mujeres en la ciencia desde la Antigüedad hasta fines del siglo XIX*. Ed. Siglo XXI, Madrid.

Se puede encontrar en bibliotecas.

CARRAZA ESTÉVEZ *et al.* (2009). *Breve diccionario coeducativo* 2ª Edición. Edita: Consejería de Educación y Ciencia. Dirección General de Políticas Educativas. Consejería de Presidencia, Justicia e Igualdad. Instituto Asturiano de la Mujer.

Los términos coeducativos incluidos en esta publicación han sido extraídos de este diccionario.

LING, JOSEFINA F. Y PÉREZ SEDEÑO, EULALIA. Comisarias de la exposición *Con A de Astrónomas*. (2009).

Exposición en la que está basada esta Unidad Didáctica. Pueden obtenerse los paneles de la exposición en <http://astronomia2009.es>. Dispone de material educativo.

JOHNSON, GEORGE (2005). *Antes de Hubble. Miss Leavitt. La mujer que descubrió cómo medir el universo*. Ed. Antoni Bosch S.A.

Biografía de Henrietta Leavitt.

MARIANO MOLES VILLAMATE (Coordinador) (2007). *Claroscuro del universo*. Ed. CSIC.

Libro de divulgación para alumnado interesado en astronomía. La versión en pdf puede obtenerse en <http://www2.csic.es/documentos/colecciones/divulgacion/claroscuro.pdf>

MARTIN, WILLIAM C. «Charlotte Moore Sitterley» *Physics Today*, April, 1991 pp139, 30.

MARTÍNEZ, VICENT J. (2007). *Marineros que surcan los cielos*. Ed. Sin fronteras. Catedrú de Divulgació de la Ciència. PUV.

Libro de divulgación sobre el universo. Explicaciones sencillas y muy claras. De la página 74 se han obtenido los datos que se proponen en la Tabla 4: datos sobre estrellas cefeidas y de la página 109 los datos de la Tabla 5 sobre velocidad de alejamiento y distancia de galaxias.

MASEGOSA GALLEGO, JOSEFA (2009). *Mujeres y Astronomía*.

Artículo que da cuenta del trabajo y vida de varias astrónomas a lo largo de la historia.

ALONSO GARZÓN, JULIA; GALADÍ ENRÍQUEZ, DAVID Y MORALES DURÁN, CARMEN (2009). Coordinadores. *100 Conceptos básicos de Astronomía*. Edita INTA.

Puede consultarse en [www.sea.org](http://www.sea.org) la página de la Sociedad Española de Astronomía.

## DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

<http://www.astronomia2009.es> (Contiene la exposición *Con A de Astrónomas*).

<http://www.eso.org/public/> (Página oficial del Observatorio Europeo).

<http://www.iau.org/> (Página oficial de la Unión Astronómica Internacional).

<http://ocp.hul.harvard.edu/ww/> (Página con biografías de las astrónomas de Harvard).

<http://www.lanasa.es> (Página de la NASA en español).

<http://www.hubblesite.org/> (Página del satélite Hubble con imágenes del universo).

<http://www.sea.org> (Página de la Sociedad Española de Astronomía).

## GLOSARIO

**Acción positiva.** Acto que pretende establecer políticas que den a determinados grupos sociales, étnicos, o que históricamente hayan sufrido discriminación a causa de las injusticias sociales, un trato preferente en el acceso o distribución de ciertos recursos o servicios, con el objetivo de mejorar su calidad de vida y de compensarlos por los perjuicios o la discriminación de los que fueron víctimas en el pasado.

**Aglaonike** (siglo V a.n.e). Importante astrónoma de la antigüedad que hizo un estudio minucioso de las fases lunares.

**Agujero Negro.** Región del espacio cuya intensa atracción gravitatoria, debida a la materia allí contenida, impide que escape cualquier señal.

**Andrea Mia Ghez** (EEUU, 1965). Astrónoma y profesora en el departamento de Física y Astronomía de UCLA. Destaca tanto por sus revolucionarios descubrimientos sobre la formación de las estrellas, como por los realizados sobre el agujero negro supermasivo que se encuentra en el centro de nuestra galaxia.

**Androcentrismo.** Enfoque que coloca la mirada masculina en el centro del universo como medida de todas las cosas y representación global de la humanidad, ocultando otras realidades entre ellas la de la mujer.

**Annie Jump Cannon** (EEUU, 1863-1941). Catalogó más de 225000 estrellas y estableció un sistema para clasificarlas que, con pocas modificaciones, fue adaptado por la Unión Astronómica Internacional. Fue la primera mujer doctora *honoris causa* por la Universidad de Oxford.

**Antonia Caetana Maury** (EEUU, 1866-1952). Astrónoma de Harvard. Desarrolló un sistema de clasificación de estrellas que distinguía estrellas gigantes de enanas para un mismo tipo espectral. Algunas de sus ideas fueron adoptadas por la Unión Astronómica Internacional.

**Año Luz.** Unidad de distancia. Equivale a la distancia que recorre la luz en un año. Se calcula usando la conocida ecuación  $v=s/t$ , siendo  $v$  la velocidad de la luz, 300000 km/s y  $t$  son los segundos que tiene un año de 365 días.

**Asteroides.** Cuerpos menores del Sistema Solar, compuestos de silicatos y metales.

**Catherine Cesarsky** (Francia, 1943). Astrofísica que fue directora general del Observatorio Europeo Austral. En 2006 se convirtió en la primera mujer que presidía la Unión Astronómica Internacional.

**Caroline Herschel** (Alemania, 1750-1848). Trabajó con su hermano, con el que descubrió Urano y desarrolló instrumentos para observar el universo. Ella era la que realizaba los cálculos matemáticos. En solitario descubrió 8 cometas y 3 nebulosas y escribió dos catálogos astronómicos. Fue la primera mujer que cobró un sueldo como asistente de astrónomo.

**Carolyn Shoemaker** (EEUU, 1929). Codescubridora del cometa Shoemaker-Levy 9. Ostenta el récord de descubrimiento de cometas en solitario.

**Cefeida.** Estrella variable que cambia ligeramente de tamaño, por lo que se producen cambios en su brillo. Presentan una estrecha relación entre el período de cambio de brillo y la luminosidad. Cuanto más brilla una Cefeida más lentas son sus pulsaciones.

**Charlotte Moore Sitterly** (EEUU, 1898-1990). Dedicó su carrera a analizar los espectros solares. Publicó un libro definitivo sobre el espectro solar, en el que organizó, analizó y recopiló todos los datos de laboratorio de la época. Durante décadas fue un libro de referencia científica.

**Cecilia Payne-Gaposchkin** (Inglaterra 1900, EEUU 1979). En su tesis doctoral demostró que el hidrógeno era el principal componente de las estrellas, lo que entonces supuso un cambio de paradigma. Pese a estar ligada a Harvard tuvo que leer su brillante tesis en Radcliffe College, una universidad para mujeres.

**Cometas.** Cuerpos menores compuestos de hielo y silicatos. Cuando se acercan al Sol el hielo pasa a gas arrastrando consigo partículas de polvo formando extensas nubes llamadas «cabelleras». Los materiales que forma la cabellera son arrastrados por el viento solar, dando lugar a la cola del cometa. El Cinturón de Kuiper es un conjunto de cuerpos tipo cometa que orbitan el Sol a una distancia entre 30 y 100 unidades astronómicas.

**Conciencia de Género.** Capacidad para percibir que, culturalmente, la experiencia de vida, las expectativas y las necesidades de mujeres y hombres son distintas y que comportan desigualdades.

**Corresponsabilidad doméstica.** Reparto equitativo de las responsabilidades domésticas entre mujeres y hombres.

**Cuásares.** Galaxias activas muy lejanas, observadas por primera vez con radiotelescopios. El análisis de su espectro mostró que son objetos extragalácticos, los más lejanos que se conocen.

**Día Internacional contra la violencia hacia las mujeres.** El 25 de noviembre se conmemora y rinde homenaje a las hermanas Mirabal, asesinadas violentamente en esta fecha en 1960. Esta jornada es un referente contra la violencia de género, la violación y el acoso sexual, así como contra el abuso y la tortura a las presas políticas.

**Discriminación de Género.** Situación de marginación sistemática hacia las mujeres que está profundamente arraigada en la sociedad patriarcal.

**Eclipse.** La ocultación de un astro por otro, visto desde un tercero. El eclipse solar ocurre cuando la Luna pasa entre la Tierra y el Sol.

**Energía Oscura.** En 1998 se demostró que el universo se expande aceleradamente, ello implica la existencia de alguna fuerza de naturaleza desconocida que se opone a la gravedad, llamada energía oscura.

**Espectro Estelar.** Cuando la luz atraviesa ciertos elementos, como por ejemplo un prisma, se desdobra en sus colores originales. A cada color le corresponde una frecuencia, los colores azules tienen frecuencias mayores que los rojos. Llamamos espectro a un diagrama que nos informa de las diferentes frecuencias que componen la luz de una estrella y la energía que se mide en cada una de las frecuencias.

**Estrella.** Es una esfera de gas, formada de hidrógeno (casi 94%), helio (casi 6%), oxígeno, carbono, nitrógeno y otros elementos químicos menos abundantes. En su interior se dan las condiciones de temperatura y densidad para que se produzcan reacciones nucleares que generan la energía que le permite brillar con luz propia.

**Estrella Enana Blanca.** Estrella muy pequeña y caliente. Su masa puede ser comparable a la del Sol, pero su radio es mucho menor que éste, por lo general del orden de una centésima parte del radio solar, su temperatura superficial es mucho mayor que la del Sol, se ven de color blanco.

**Estrella Supergigante Roja.** Cuando una estrella masiva evoluciona y se le acaba el hidrógeno del núcleo, la estrella se enfría y se expande, convirtiéndose en una supergigante roja. Estas estrellas son las antecesoras de cierto tipo de supernovas, fase a la que llegará la estrella cuando agote todo el combustible nuclear del que dispone.

**Femenino.** Referido a todo lo que es propio de las mujeres (que no tiene por qué ser «débil» o «endebles» como aparece en la 6ª acepción de este término que recoge el diccionario de la RAE).

**Feminista.** Persona concienciada de la situación de desigualdad y subordinación en que viven las mujeres y que lucha por la erradicación de la misma.

**Galaxia.** Gran aglomeración de estrellas, planetas, nubes de gas, polvo, materia oscura y quizás energía oscura, todo unido debido a su propia gravedad. Las más pequeñas contienen algunos millones de estrellas. Las hay espirales, elípticas e irregulares. Nuestra galaxia es espiral, el Sol se encuentra a unos 30000 años luz del centro, vista desde la Tierra parece un camino iluminado, que llamamos Vía Láctea.

**Hembrismo.** Actitud que percibe a las mujeres como grupo opuesto a los varones y que propugna la superioridad de unas sobre los otros. Es un término paralelo a «machismo» y no tiene relación alguna con el término «feminismo».

**Henrietta Leavitt** (EEUU, 1868-1921). Descubrió la relación entre período y luminosidad de un tipo de estrellas variables: las Cefeidas, lo que permitió determinar la distancia a objetos mucho más lejanos que los estudiados hasta entonces. Su trabajo inauguró el camino para conocer el tamaño de nuestra galaxia y la escala del universo. Su importancia científica solo fue apreciada después de su muerte, al intentar nominarla para el Nobel en 1925.

**Invisibilización.** Proceso por el que ciertas personas, acontecimientos, actitudes, comportamientos,... pasan desapercibidos por la interiorización de los patrones culturales en los que se está inmerso. En el caso de la cultura patriarcal esto provoca la desaparición de las obras de las mujeres a lo largo de la historia.

**Jill Tarter** (EEUU, 1944). Astrobióloga que ha dedicado su carrera investigadora a la búsqueda de inteligencia extraterrestre. Actualmente es la directora del Centro de Investigación SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence). Su vida ha servido de inspiración al escritor Carl Sagan para desarrollar el personaje principal de su novela Contact.

**Jocelyn Bell** (Irlanda, 1942). Descubridora del púlsar. Su director recibió el premio Nobel de Física por ello.

**Mancha Solar.** Zonas oscuras sobre la superficie del Sol, poseen menor temperatura que el resto de su superficie. Pueden durar desde días hasta varias semanas.

**María Mitchell** (EEUU, 1818-1889). La primera astrónoma académica de Estados Unidos. Entre otros temas trabajó en el cálculo de las posiciones de Venus. Descubrió el cometa Mitchell y un cráter lunar lleva su nombre. Fundó la Asociación para el Avance de la Mujer.

**Margaret Burbidge** (Inglaterra, 1919). La primera mujer directora del Observatorio Real de Greenwich. Contribuyó con un importante modelo que reproduce cómo se sintetizan los elementos más pesados en el interior de las estrellas, jugó un papel fundamental en la definición de proyectos e instrumentación del telescopio Hubble.

**Materia Oscura.** Distintas observaciones sugieren que en el universo hay más materia de la que se observa.

**Misoginia.** Forma de sexismo que implica odio, repudio y desprecio por las mujeres.

**Nancy Roman** (EEUU, 1925). Desde muy joven se decantó por la astronomía, a pesar de que sus orientadores académicos no entendían por qué una mujer joven quería estudiar ciencias. Llegó a trabajar en la NASA, donde se convirtió en la primera mujer Jefa de Astronomía de la Oficina de Ciencia Espacial, siendo responsable de multitud de satélites astronómicos, entre ellos el IUE de ultravioleta, el IRA de infrarrojos y el telescopio espacial Hubble. Toda su vida ha luchado por la igualdad y el acceso a la educación de las mujeres.

**Nebulosa.** Concentraciones de gas y polvo. Algunas son restos de estrellas y otras dan lugar a nuevas estrellas.

**Nicole-Reine Lepaute** (Francia, 1723 - 1788). Conocida como la *astrónoma calculadora*, destacó por realizar los cálculos de la órbita del cometa Halley. En 1762 publicó un artículo con el cálculo de la hora exacta a la que tendría lugar un eclipse solar visible en Francia en 1764, añadiendo un mapa de dicho eclipse a lo largo de Europa, con intervalos de 15 minutos.

**Nova.** Fenómeno asociado a estallidos en una enana blanca, que forma parte de un sistema binario y recibe masa de la estrella compañera. El proceso de intercambio de materia termina por provocar reacciones de fusión nuclear en la superficie de la enana blanca.

**Parsec.** Unidad de longitud astronómica que corresponde a la distancia a la que se encuentra una estrella que tiene un paralaje de un segundo. Equivale a 30,86 billones de kilómetros y a 3,26 años-luz.

**Púlsar.** Una estrella de neutrones es un objeto muy masivo del que nos llegan señales pulsantes de radio, es la última etapa en la vida de una estrella supergigante, cuando sufre una explosión de supernova, y el núcleo se hace tan denso que electrones y protones se combinan formando neutrones. El púlsar es una estrella de neutrones en rápida rotación, con un intenso campo magnético, cuyo eje está inclinado respecto al eje de rotación. Desde la Tierra sus ondas de radio se perciben como la luz de un faro.

**Radiación de fondo de microondas.** Radiación electromagnética generada durante el Big Bang. Se calcula que fue generada unos 300000 años después del estado inicial del universo. Corresponde a la emisión de un cuerpo negro a una temperatura de 2,7 K. Su estudio aportó información sobre el universo primitivo y la estructura del cosmos.

**Robin M. Canup** (EEUU, 1968). Astrofísica que ha centrado sus investigaciones en el origen de los planetas y satélites. Recientemente ha coescrito el libro *The origin of the Earth and Moon*, en el que desarrolla la hipótesis de que la Luna se formó debido a un impacto gigante sobre la Tierra.

**Supernova.** Explosión estelar de carácter cataclísmico que produce un brillo extremadamente intenso y que hace desaparecer la estrella progenitora. Hay dos tipos principales de supernovas, las gravitatorias y las termonucleares.

**Tolerancia cero.** Resolución formulada por el Parlamento Europeo en 1997, que tiene como objetivo modificar las actitudes en la sociedad, de manera que bajo ningún concepto se tolere o permita la violencia contra las mujeres a nivel individual, colectivo e institucional.

**Unidad Astronómica**, (au). Unidad de longitud, inicialmente definida como la distancia Sol-Tierra, actualmente su valor es de 149597870,700 km.

**Vera Rubin** (EEUU, 1928). Aportó pruebas sobre la materia oscura, pues descubrió que las estrellas que están en la parte central de los discos de las galaxias espirales se mueven casi a la misma velocidad que las que están en sus bordes, lo que es contrario a las leyes físicas, pero este hecho se podría explicar si hubiera mucha más masa en la galaxia de la que se ve.

**Viento Estelar**. De las estrellas además de luz se escapa materia, en algunos casos guiada por el campo magnético de la estrella o impulsada por la radiación de ésta.

**Wendy Freedman** (Canadá, 1957). Cosmóloga, que durante 10 años ha medido la velocidad de alejamiento de las galaxias y la distancia a la que se encuentran de la Tierra. Los datos obtenidos le han permitido determinar la edad del universo, unos 13700 millones de años.

**Williamina Paton Fleming** (Escocia 1857- EEUU 1911). Maestra en Escocia que emigró a EEUU, donde comenzó a trabajar como criada del director del Observatorio de Harvard. Pronto pasó a analizar las placas fotográficas en dicho Observatorio, donde llegó a ser conservadora del archivo fotográfico, el primer cargo institucional de Harvard en manos de una mujer. Descubrió 10 novas, 59 nebulosas gaseosas y más de 300 estrellas variables.

## SOLUCIONES A LAS ACTIVIDADES PROPUESTAS

### Actividad nº 1

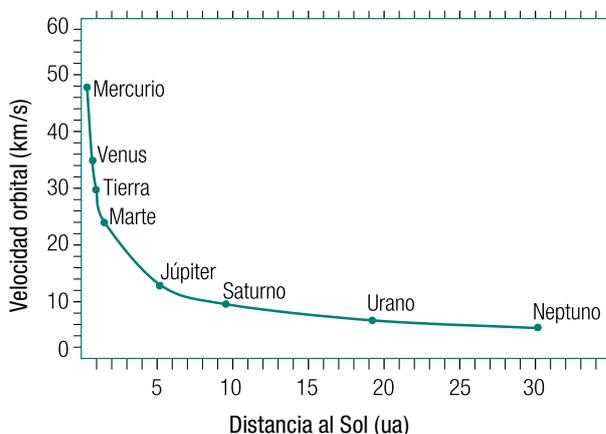
- 1.1 Ondas de radio, Rayos X. Según  $\lambda = c / \nu$  y  $E = h \nu$  la más energética son los Rayos X.
- 1.3 Espectro visible, con franjas oscuras en las frecuencias correspondientes al espectro de emisión del hidrógeno, ya que las líneas atómicas de emisión y absorción de un elemento se observan en idénticas frecuencias.
- 1.4 Busca señales de radio, con radiotelescopios, ya que es la señal que menos se atenúa y podría atravesar sin problema las inmensas nubes de polvo interestelar. Su longitud de onda es muy grande comparada con las partículas de polvo y podría sortearlas sin problema.

### Actividad nº 2

- 2.1 NGC 7380 es la nebulosa de Mayo, un cúmulo abierto, NGC 7789 es un cúmulo abierto a una distancia de 7200 años luz y NGC 253 es una galaxia espiral barrada, llamada moneda de plata, situada 12,9 millones de años luz. Conviene señalar la diferencia entre nebulosa y galaxia, mencionar las distintas formas de galaxias.

### Actividad nº 3

- 3.1 Pueden emplear las siguientes ecuaciones:  $c = s / t$  siendo  $c$  la velocidad de la luz,  $\frac{GM_{sol} M_{planeta}}{r^2} = \frac{M_{planeta} v^2}{r}$  donde  $r$  es la distancia del planeta al Sol y  $v = 2 \pi \cdot r / T$



- 3.2 La Luna efectivamente tiene ese movimiento de rotación en torno a su eje, pero es muy lento, tarda el mismo tiempo en describirlo que en completar una vuelta en torno a la Tierra, de manera que esta sincronización hace que la cara que muestra siempre sea la misma.
- 3.3 Usando la Ley de la Gravitación Universal llegamos al siguiente cociente:  
 $F_{Pólux} / F_{obstetra} = (M_{Pólux} \cdot d_{obstetrista}^2) / (M_{obstetrista} \cdot d_{Pólux}^2) = 3,19 \cdot 10^{-8}$ , luego la posible influencia de la constelación es 8 órdenes de magnitud inferior a la del médico.

## SOLUCIONES

### Actividad nº 4

#### 4.1

Estrellas	T superficie (K)	Radio estrella	Fase de evolución
Vega	9600	2,26 $R_{Sol}$	Secuencia Principal
Sirius B	25000	0,01 $R_{Sol}$	Enana Blanca
Sirius	9900	1,71 $R_{Sol}$	Secuencia Principal
Tu estrella	2300	71,01 $R_{Sol}$	Supergigante Roja

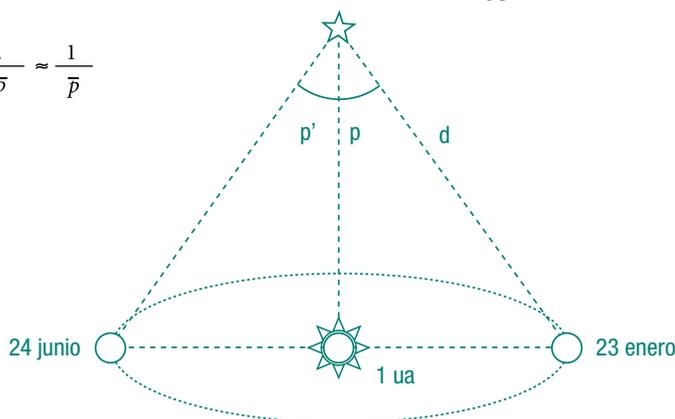
4.2 Porque no tienen suficiente masa; para brillar deben poseer altísimas densidades y temperaturas. Las estrellas al ser tan masivas se contraen por efecto de su propia gravedad, lo cual genera esas altas densidades; al contraerse va aumentando la temperatura, hasta que llega el momento que comienzan las reacciones nucleares y, como consecuencia, la producción de energía que las hacen brillar.

4.3 El pulsar es aún más rápido, gira a 67320 r.p.m., es decir, 3,74 veces más rápido que el motor del F1 en máximo régimen.

### Actividad nº 5

5.1.a Dibujo para determinar la paralaje. En la ecuación que sigue  $d_{T,S}$  es la distancia Tierra-Sol

$$d = \frac{d_{T,S}}{\text{sen } \bar{p}} = \frac{1 \text{ u.a.}}{\text{sen } \bar{p}} \approx \frac{1}{\bar{p}}$$



#### 5.1.b

$$d = \frac{1 \text{ ua}}{1''} = 1 \text{ pc} = \frac{1,5 \cdot 10^8 \text{ km}}{4,848 \cdot 10^{-6} \text{ rad}} = \frac{3,094 \cdot 10^{13}}{300000 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 365} \approx 3,26 \text{ años luz}$$

#### 5.1.c

Estrella	Distancia (pársecs)	Distancia (años luz)
Antares	52,632	171,579
Aldebarán	18,868	61,509
Capella	12,500	40,750
Vega	7,692	25,077
61 Cygni	3,378	11,014
Sirio	2,674	8,717
Proxima Centauri	1,328	4,329

5.1.d El ángulo de paralaje se hace tan pequeño a distancias mayores de 60 ó 70 años luz que resulta muy difícil medirlo con alguna precisión. Para estas estrellas se utiliza el método de las Cefeidas o el del desplazamiento hacia el rojo.

Si  $p_{\text{antares}} = 0,020''$  (segundos) la distancia resultante sería de 163 años luz.

5.2.c La más lejana será la que tiene un período de 10 días, ya que según la tabla 4 las más luminosas tienen períodos más largos; como se ven igual, necesariamente debe estar más lejos.

### Actividad nº 6

6.1.a Hacia el rojo, hacia el azul.

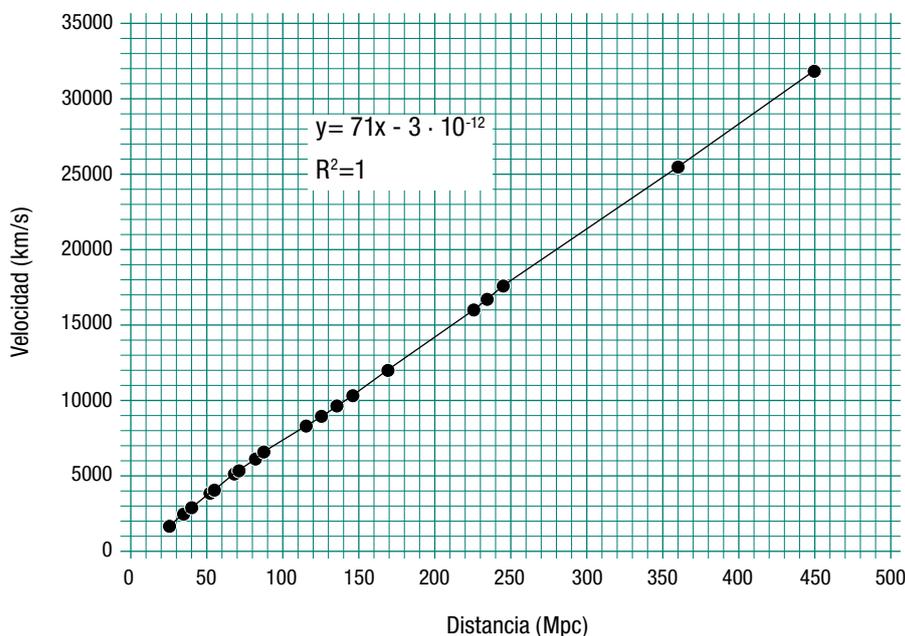
6.1.b Se aleja a 200 km/s

6.1.c 655,45 nm y 485,50 nm respectivamente.

6.1.d Se aleja de la Tierra; se acerca a la Tierra; la parte izquierda se aleja y la derecha se acerca, luego la galaxia está rotando.

6.2 Es un problema básicamente de cambio de unidades e interpretación de gráficos.

$$v = C_{\text{Hubble}} \cdot d \rightarrow t = \frac{1}{C_{\text{Hubble}}}$$



De la pendiente se obtiene el valor de la constante de Hubble, su inversa nos da la edad del universo.

$$t = \frac{1}{C_{\text{Hubble}}} = \frac{1}{71} \frac{\text{Mpc} \cdot \text{s}}{\text{km}} \cdot \frac{3,085 \times 10^{19} \text{Mpc}}{1 \text{ pc}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{31556926 \text{ s}} = 1,377 \cdot 10^{10} \text{ años}$$

## SOLUCIONES

### Actividad nº 7

7.2.a  $v_{\text{escape}} > c$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

7.2.b  $R < (2GM)^{1/2}/c$

7.2.c De  $\frac{GM_{\text{galaxia}} M_{\text{Sol}}}{r^2} = \frac{M_{\text{sol}} v^2}{r}$  y  $v = 2\pi r / T$  se obtiene la masa de la galaxia,  $r$  es la distancia del Sol al centro de la galaxia.

7.3.a No se ajustan, ya que la forma de esta curva (Gráfica 2) es completamente diferente a la de la Gráfica 3. En base a la Ley de Gravitación Universal se esperaría que las velocidades orbitales se fuesen haciendo cada vez menores, mientras que en la Gráfica 2 se observa que, para pequeñas distancias, crece hasta alcanzar un valor que permanece aproximadamente constante aunque crezca la distancia al centro galáctico.

7.3.b En el disco compacto la velocidad crece linealmente con la distancia al eje de giro; de este modo parece que el núcleo galáctico debe ser también bastante denso o «compacto». A unos pocos años luz del centro galáctico ya no tiene esa compacidad, pero como no se ajusta al gráfico de velocidades del Sistema Solar, la galaxia debe estar mucho más llena de lo que se observa. A simple vista las galaxias parecen vacías en su mayor parte, al igual que el Sistema Solar (las distancias típicas de unas estrellas a otras son de varios años luz como mínimo, muchísimo mayores que el espacio ocupado por las estrellas). Por ello se cree que las galaxias son bastante más «compactas» de lo que se observa y que están compuestas por un gran porcentaje de «materia oscura» que no puede observarse ni detectarse por ningún otro método más que por sus efectos gravitacionales. En nuestra galaxia se calcula que la materia visible supone tan solo el 10% y el 90% restante sería materia oscura.



Instituto Asturiano de la Mujer



GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS

CONSEJERÍA DE PRESIDENCIA, JUSTICIA E IGUALDAD