

Etchenique, Roberto Argentino (agosto 2005). *Midiendo el universo con un palo : De Eratóstenes a la actualidad (II) : Viaje a las estrellas*. En: Encrucijadas, no. 34. Universidad de Buenos Aires. Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires: <<http://repositorioubu.sisbi.uba.ar>>

## **Midiendo el universo con un palo. De Eratóstenes a la actualidad (II) \***

### **Viaje a las estrellas**

*Allá por el año 240 a.C., Eratóstenes supo que había un día en el año en que las cosas no daban sombra en la ciudad de Syene (Egipto). Mandó un emisario a esa ciudad mientras él se quedó en Alejandría, y ambos midieron al mismo tiempo la longitud de la sombra que daba un palo. Mediante esa simple medición, y aplicando trigonometría, Eratóstenes calculó que diámetro debía tener la Tierra, sabiendo la distancia exacta entre Alejandría y Syene. Eratóstenes concluyó que la Tierra era una esfera de 40000 km de circunferencia (en unidades actuales), y por lo tanto, unos 12000 km de diámetro. Hoy las mediciones más delicadas dan 40067 km para el perímetro de nuestro planeta en el ecuador. A partir de esa medición, Aristarco de Samos calculó el diámetro y la distancia a la Luna, obteniendo valores similares a los que se conocen hoy. Estas mediciones fueron la base de nuestro conocimiento actual sobre las dimensiones de los planetas y el Sistema Solar. En esta segunda parte, mostramos cómo una vez conocidas las distancias dentro del Sistema Solar se empezaron a conocer las dimensiones interestelares y de nuestra Galaxia. Esta proeza del conocimiento comenzó en el antiguo mundo griego, midiendo la sombra de un palo.*

### **ROBERTO ARGENTINO ETCHENIQUE**

Licenciado en Ciencias Químicas, FCEN-UBA.

Doctor de la Universidad de Buenos Aires.

Profesor Adjunto Regular, DQIAyQF, FCEN, UBA.

Con las medidas de paralaje planetario efectuadas por Jean Richer y Giovanni Cassini en 1671 (ver nota anterior), y aplicando el modelo de Kepler, se pudieron conocer las distancias dentro del Sistema Solar, y en particular la distancia correcta a la que se encontraba la Tierra del Sol, que era de unas 390 veces la distancia Tierra-Luna, o sea 150 millones de km. El planeta más alejado que se conocía en aquel entonces, Saturno, orbitaba a 1428 millones de km del Sol.

Pero esta nueva medición no solamente nos daba la idea de lo gigantesco de nuestro Sistema Solar, o de la pequeñez de nuestro mundo, que tan grande parecía en la época de Eratóstenes. También abría nuevos horizontes de medición.

Después de todo, la Luna, el Sol y los planetas eran sólo una pequeña parte de los objetos que vemos a simple vista, y ni hablar a través de un telescopio. ¿A qué distancia estarían las estrellas? ¿No bastaba acaso con repetir las mediciones de paralaje para alguna estrella y de esta forma medir su distancia?

En primer lugar, uno tiene que elegir una estrella cercana y medir su paralaje respecto de un fondo de estrellas más lejanas. Probablemente las estrellas más brillantes sean cercanas, y las tenues las más lejanas. Por otra parte, el paralaje es más fácilmente detectable cuanto más separados están los observatorios desde los cuales se hacen las mediciones. Pero aun todo el diámetro de la Tierra puede ser muy poca distancia si las estrellas están muy lejos. ¿Cómo podríamos separar aún más los observatorios sin mover uno de ellos a otro planeta?

La solución la dieron las medidas de las órbitas de los planetas. Si la Tierra gira alrededor del Sol a 150.000.000 de km de distancia, basta con esperar 6 meses, media vuelta alrededor del Sol, y nos habremos movido 300.000.000 de km. Si tenemos la suerte de

que las estrellas no se hayan movido mucho en ese tiempo, podremos medir su paralaje. Pero las estrellas están realmente muy lejos, y durante más de cien años los astrónomos intentaron medir los paralajes estelares sin éxito alguno. Fue recién en 1839, cuando el astrónomo alemán Friedrich Bessel, el escocés Thomas Henderson y el germano-ruso Wilhelm von Struve lograron medir el paralaje de tres estrellas: 61 Cygni, Alfa Centauri y Vega, respectivamente. Los paralajes medidos eran realmente minúsculos, y además había que hacer las medidas durante al menos un año, para permitir que la Tierra se moviera en su órbita de una punta a la otra. Estas mediciones permitieron saber la distancia a las estrellas, y efectivamente esa distancia era gigantesca: 37 billones de km para la estrella más cercana, Alfa Centauri, o sea, 10 millones de veces más lejos que la Luna. Para achicar los números, se empezó a hablar de distancias en "años luz", que es la distancia recorrida por la luz en un año. La estrella más cercana se encuentra a 4,3 años luz de nosotros, o sea, la luz de nuestro Sol tarda más de 4 años en llegar a ella. La medición de la distancia a las estrellas fue un hito en la historia de la ciencia. Sobre todo teniendo en cuenta que se pudo medir esa distancia conociendo el tamaño de la órbita terrestre, que se midió mediante el paralaje planetario sabiendo el tamaño de la Tierra, cuyo diámetro fue medido por Eratóstenes con un palo.

### **Estrellas movedizas**

Pero cuando se empezó a medir con precisión la posición de cada estrella en el cielo, y a anotar y guardar los resultados, algunos astrónomos comenzaron a notar que había estrellas que se movían respecto de otras. El movimiento era demasiado pequeño para ser notado entre dos noches o inclusive entre año y año, pero al irse acumulando a través de las décadas y siglos, se podía determinar perfectamente. Edmond Halley (el mismo que descubrió el cometa Halley) comparó la posición de algunas estrellas en 1718 con la que figuraba en los viejos documentos de los griegos. Y descubrió que algunas estrellas figuraban en estos documentos en lugares muy lejanos a los que él veía en 1718. Era impensable que los griegos hubieran medido todo mal, así que Halley llegó a la conclusión de que esas estrellas se habían movido hacia los lados. La estrella Arturo se había movido 1 grado, dos veces el tamaño de la Luna llena, a lo largo de los casi 20 siglos transcurridos desde las primeras medidas de los griegos. Y seguramente no sólo se movían hacia los costados, sino que seguramente se acercaban y alejaban. Este movimiento hacia atrás y adelante no puede verse como un desplazamiento en el cielo, pero si es posible medirlo a través del análisis espectral de la luz de las estrellas.

De la misma forma que cuando un tren se acerca tocando bocina, el sonido se escucha cada vez más agudo, y cuando se aleja se escucha cada vez más grave, la luz de una estrella que se acerca se ve más azulada y la de una que se aleja se enrojece. Este cambio de color es muy tenue, pero se ve muy claramente cuando se descompone la luz de las estrellas con un prisma, y se analiza cada color del espectro por separado. Este comportamiento se llama "efecto Doppler", en honor a Christian Doppler, el físico austríaco que lo descubrió en 1842.

Cuando se midió el efecto Doppler de las estrellas más cercanas, se encontró que algunas se acercaban y otras se alejaban de nuestro Sistema Solar. Una prueba más de que las estrellas definitivamente se movían y no estaban fijas. El movimiento hacia atrás y adelante, si lo hay, se detecta siempre, mientras que el movimiento hacia los costados sólo puede verse si la estrella está cerca, ya que si es una estrella muy lejana, por más rápido que se mueva parece quedarse en el mismo lugar, ya que el ángulo que corresponde a su movimiento es demasiado pequeño.

Esto fue efectivamente comprobado cuando se midió el paralaje de muchas de las estrellas más cercanas y se lo comparó con sus movimientos. Las estrellas que tenían el movimiento lateral más grande eran las que mostraban los paralajes más importantes, mostrando que estaban cercanas. Los movimientos hacia atrás y adelante, en cambio, eran independientes de la distancia para todas estas estrellas. Las estrellas se movían para todos lados, y definitivamente no estaban quietas en el cielo.

Ya el Universo era un cúmulo de soles, de los cuales el nuestro era uno, y las estrellas eran otros. Conocíamos ya la posición de cada una de las estrellas cercanas y podíamos hacer un mapa de nuestra vecindad estelar. Y todo había empezado con un palo.

### **Estrellas que cambian**

Y esas estrellas eran efectivamente de las más cercanas. Luego de ellas se midieron otros paralajes, todos minúsculos, cada uno más difícil que el anterior. Menos de cien estrellas podían ser medidas de esa forma, las demás, las incontables estrellas que se ven en una noche por el telescopio más modesto, estaban miles o millones de veces más lejos, quien sabe exactamente cuánto, y jamás iba a poder ser medida su lejanía de esa forma.

Hay algunas estrellas que varían su brillo a lo largo de los días. En algunos casos, se trata de que otra estrella muy cercana gira alrededor de ella, y lo que vemos es una mezcla de la luz de las dos estrellas. Pero otras estrellas varían su brillo de verdad, como Delta Cefei, que aumenta y disminuye su brillo con un período de 5 días y 9 horas aproximadamente. A las estrellas que varían su brillo de forma similar a Delta Cefei se las llama "cefeidas".

Una astrónoma norteamericana, Henrietta Leavitt, comenzó a registrar el brillo y sus variaciones de cientos de cefeidas, que estaban todas en la "Nube Pequeña de Magallanes".

La Nube Pequeña de Magallanes no es una nube, sino un cúmulo de millones de estrellas que a simple vista parecen una nubosidad. Si miramos con un buen telescopio, puede verse que en realidad son millones de estrellas. Se hallan fuera de nuestra galaxia, y es un buen lugar para buscar muchas estrellas que estén todas en el mismo lugar del cielo, y lo que es más importante, todas casi a la misma distancia, ya que el ancho y largo de la Nube son mucho más pequeños que la distancia que nos separa de ella. Al mirar a la Nube de Magallanes, Henrietta notó que cuanto más brillante se veía la cefeida, mayor era el tiempo que tardaba la variación.

Nadie se había dado cuenta de esto antes, porque al estar las cefeidas de nuestra galaxia distribuidas por todos lados, pueden estar a cualquier distancia de nosotros y el brillo verdadero de la estrella no se puede saber. Una cefeida que se ve muy brillante puede realmente ser luminosa o simplemente estar muy cerca. Henrietta, en cambio, al observar la Nube de Magallanes, veía sólo cefeidas situadas todas casi a la misma distancia de la Tierra, y sólo en esas condiciones se puede ver que hay una relación entre su luminosidad y su período de parpadeo. Rápidamente se dio cuenta de que esta relación podía servir para conocer distancias.

Una vez que se supiera la distancia absoluta de una sola cefeida de período conocido,

todas las demás cefeidas podrían usarse como faros que indicaran la distancia hasta ellas.

Y aquí el ingenio del astrónomo danés Ejnar Hertzsprung permitió saberlo.

Aun las cefeidas más cercanas estaban demasiado lejos para medir su paralaje, así que lo que se hizo fue comparar su movimiento lateral con su movimiento de acercamiento o alejamiento. Si se toman cientos de cefeidas más o menos a la misma distancia, como en un cúmulo globular de estrellas, se puede considerar que la rapidez lateral promedio, sin tener en cuenta hacia dónde se mueve la estrella, sino sólo qué tan rápido lo hace, es probablemente igual a la rapidez de acercamiento o alejamiento promedio también en kilómetros por segundo.

Entonces, si se conoce la velocidad lateral en grados por siglo (vista desde la Tierra, comparando los archivos antiguos con las medidas nuevas), y también se la estima en kilómetros por segundo (usando el efecto Doppler), podemos determinar la distancia que había hasta ese cúmulo lleno de estrellas. En 1913, Hertzsprung logró medir la distancia de algunas cefeidas, y con ello pudo saber qué tan luminosas eran por sí mismas, descontando el efecto de la lejanía.

Ahora, sabiendo esa relación entre la luminosidad absoluta de una cefeida y su período, era fácil saber a qué distancia se hallaba cualquier arremolinamiento de estrellas donde hubiera al menos una cefeida. Una de las primeras distancias a medir era la que nos separaba de las Nubes de Magallanes. Midiendo el período y el brillo de las cefeidas se pudo concluir que están a unos 160.000 años luz de nosotros. Fue la primera medida de una distancia fuera de la Vía Láctea, nuestra galaxia.

160.000 años luz es 37.000 veces más lejos que la estrella más cercana, que está 10.000 veces más lejos que los confines del Sistema Solar y 10 millones de veces más lejos que la Luna. Eramos más pequeños e insignificantes cada día.

Habíamos medido esas distancias mediante miradas al cielo del parpadear de las estrellas cefeidas. Esto corroborando con las escalas que nos había dado el paralaje. Las escalas que habíamos calibrado usando el diámetro de la Tierra. Esa Tierra que había sido medida con un palo.