



Los objetos más viejos de la Galaxia

Patricia Hernández Reséndiz

El antirromanticismo de la astronomía observacional

El campo de estudio del Dr. Arellano es la astrofísica estelar por medios observacionales, lo que “nos permite recibir suspiros luminosos de las estrellas”, según el expositor, y con ellos conocerlas. Hasta hace unas décadas la astronomía observacional implicaba inevitablemente ir siempre al lugar donde estaban los telescopios, a esos recónditos lugares en montañas muy altas y con cielos súper oscuros. Eso ya no es del todo cierto en estos días, pues cada vez hay más observatorios manejados remotamente por medio de supercomputadoras, así que la parte romántica de ser un astrónomo observacional parece ir desapareciendo poco a poco. Aunque esto también trae muchas ventajas en cuestión de esfuerzos y costos en viáticos, pues se reducen a los de sólo una o dos personas encargadas de mantener los telescopios funcionando *in situ*.

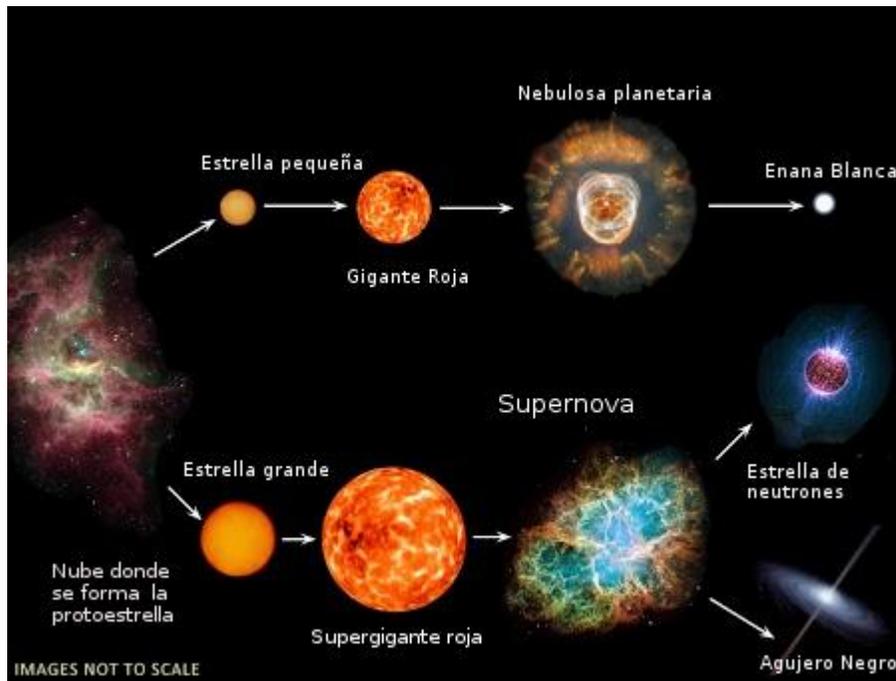


Figura 1. La astrofísica estelar se encarga de estudiar la evolución de las estrellas. La figura muestra diversos estados físicos de las estrellas a lo largo de su evolución, estos dependen de la masa inicial.

Uno de los campos más emblemáticos por sus contribuciones significativas al conocimiento del cosmos y que ha revolucionado a la astrofísica es el de la evolución estelar. En él se estudian la estructura y funcionamiento de las estrellas desde la física fundamental, desde su formación hasta sus etapas más avanzadas como estrellas colapsadas o como supernovas. Los métodos para estudiar la evolución estelar son muchos y comprenden técnicas observacionales, de estadística y de simulación numérica bastante sofisticados, además de una construcción teórica de modelos con características iniciales definidas, todo esto con el fin de entender mejor a estos bloques primarios del universo.

Estrellas que laten

Entre más masivas sean las estrellas, evolucionan más rápidamente. Esto se debe a que mayor masa produce mayor presión y temperatura en el interior y por lo tanto su combustible se quema de manera más acelerada. Su etapa más estable y larga, que es cuando queman hidrógeno en su centro y lo convierten en helio, se llama secuencia principal. Estrellas con masas iniciales mayores a la del Sol agotan su hidrógeno central en unos pocos miles de millones de años mientras que al Sol le tomará unos 20 mil millones de años. Cuando esto sucede, las

estrellas crecen a tamaños enormes y se convierten en gigantes rojas. Las siguientes etapas son mucho más cortas, inestables, caóticas y difíciles, en las que forman en su interior elementos como el carbono y el oxígeno.

Durante su evolución hacia convertirse en gigantes y aún después en otras etapas, las estrellas pulsan o “laten”, es decir, su radio y por lo tanto también su brillo cambian drásticamente en un lapso lo suficientemente corto para poder medirlo observacionalmente por medio de la luz que emiten. Los periodos de pulsación dependen del radio de la estrella y pueden durar desde unos minutos en las estrellas más compactas hasta cientos de días en las gigantes y supergigantes.

Esto se debe a que las capas más externas de la estrella se expanden y se contraen porque se encuentran en desequilibrio. Las variaciones del radio durante las pulsaciones que sufren estas estrellas son enormes, por ejemplo “durante una pulsación de una estrella tipo RR Lyrae, su superficie recorre la distancia que hay del Sol a Marte en solamente medio día”, en palabras del Dr. Arellano Ferro. Debido a esto las estrellas pulsantes se encuentran entre las llamadas estrellas variables.



Figura 2. Las estrellas variables cambian su brillo periódicamente, por lo que a veces son más brillantes y otras veces más tenues. La figura muestra a la estrella U Geminorum en dos fases diferentes de su brillo: su fase brillante a la izquierda y su fase tenue a la derecha.

Las estrellas RR Lyrae son un tipo de estrellas variables pulsantes que se encuentran en la etapa de evolución llamada rama horizontal; ésta sucede justo después de haber pasado por la etapa de estrella gigante y haber perdido gran cantidad de masa. Esta etapa corresponde al momento en el que comienzan a quemar helio en su interior y es conocida como edad cero de helio. Tienen periodos de pulsaciones menores a un día y es común encontrarlas dentro de

cúmulos globulares, aunque existen muchas solitarias en el campo estelar de la Galaxia. Analizar estas estrellas cuando son parte de un cúmulo globular y determinar algunos de sus parámetros físicos, permite estudiar también al cúmulo. Por ejemplo, las RR Lyrae ayudan a conocer la distancia al cúmulo en cuestión, e inferir su edad a partir de su metalicidad.

En astronomía todos los elementos químicos más pesados que el hidrógeno y el helio se engloban bajo el término de “metales” y por lo tanto su contenido total indica “la metalicidad”. Algunos metales se generan en el interior de las estrellas a medida que evolucionan, por esto la metalicidad -denotada con la letra Z - nos habla de la edad de determinado objeto cósmico. Otros metales se generan por medio de las explosiones de las estrellas más masivas como supernovas hacia el final de su evolución (figura 1). Las primeras estrellas que se formaron después del Big Bang, crearon dentro de ellas los primeros metales. Las siguientes generaciones estelares tienen metalicidades más grandes gracias al reservorio creado por sus antecesoras. Por ejemplo el Sol tiene un contenido alto en metales, con $Z=0.02$ (es decir que el 2% de su atmósfera contiene elementos más pesados que el H y el He), esto quiere decir que es una estrella de generación avanzada. Las primeras estrellas tuvieron la composición primordial del universo, $Z=0$.

Como ya dijimos, las estrellas RR Lyrae están en la rama horizontal, llamada así porque todas ellas tienen aproximadamente la misma luminosidad y por lo tanto la misma magnitud absoluta, que es una medida del brillo intrínseco de una estrella independientemente del lugar donde se encuentre. Si lo comparamos con el brillo aparente de la estrella, que se puede medir por medios observacionales, podemos entonces calcular la distancia a la estrella y por lo tanto al cúmulo globular al que pertenezca. La gran importancia de las estrellas RR Lyrae en la astronomía es pues, que son excelentes indicadores de distancia.

Las estrellas RR Lyrae dentro de cúmulos globulares son las que estudia el Dr. Arellano. Hay aproximadamente 1600 en nuestra galaxia y él ha descubierto alrededor de 250. El primero en determinar las distancias a los cúmulos globulares por medio de sus estrellas variables fue Harlow Shapley, quien haciendo uso de la relación entre el periodo de pulsación y la luminosidad de las estrellas variables Cefeidas, descubierta por Henrietta Swan Leavitt, pudo determinar sus distancias.

Las reliquias de la Vía Láctea

Los cúmulos globulares son objetos astronómicos viejos y lejanos formados por cientos de miles de estrellas unidas gravitacionalmente. Tienen una simetría esférica y son los sistemas estelares más antiguos de la Galaxia, por lo cual pueden proporcionar información de sus primeras etapas de formación. Todas las estrellas que pertenecen a un cúmulo se formaron aproximadamente al mismo tiempo y han evolucionado juntas, por lo que el estudio de este tipo de sistemas estelares ha sido fundamental para la comprensión de la evolución estelar, pues tienen estrellas de la misma edad pero de diferentes masas, entonces se pueden encontrar en muy diferentes etapas evolutivas. Se han calculado edades de hasta 12.7 miles de millones de años para algunos cúmulos, ¡casi la edad del universo! Se han observado cúmulos globulares en otras galaxias, pero su estudio es mucho más complicado debido a su lejanía y al límite de resolución de los instrumentos actuales; por ello la mayoría de estos objetos que se investigan están en la Vía Láctea, nuestra galaxia. La mayor parte de los cúmulos globulares se encuentra en el halo galáctico, una esfera con el mismo centro que el de la Vía Láctea, y se extiende en un radio de más de 15,000 parsecs, unidades de distancia de las que hablaremos más adelante. En el halo galáctico existen aproximadamente 200 cúmulos globulares que han estudiado muchos astrónomos a lo largo de la historia.

En tamaños, una Unidad Astronómica (UA) es la distancia entre la Tierra y el Sol, la cual equivale a alrededor de 150 millones de kilómetros, y un parsec (pc) equivale a 206,265 UA (el parsec se define como la distancia a la que una UA subtende un ángulo de un segundo de arco en su proyección en el cielo). Ahora, los cúmulos globulares tienen radios de 10 a 50 parsecs, cantidad imposible de imaginar.

Los cúmulos globulares tienen metalicidades de 10 a 100 veces menores a la del Sol, lo que indica que se formaron mucho antes de que nuestra estrella se formara.

Desenmarañando los misterios de los cúmulos

Adentrémonos en la meticulosidad que implica estudiar un cúmulo globular. El Dr. Arellano nos contó que para observarlo se debe apuntar el telescopio hacia su parte central para observar la mayor cantidad de estrellas que lo conforman. Con esto y gracias a los instrumentos actuales, es posible medir el brillo y el color de

cada estrella individualmente. Con estos datos, se grafican las dos propiedades anteriores y se obtiene un diagrama muy importante para la astrofísica estelar: el diagrama color-magnitud (DCM). Un ejemplo de DCM para el cúmulo NGC 6362 se muestra en la figura 3, donde se indica la posición de las estrellas RR Lyrae en verde y azul. Éste muestra el modo en que las estrellas pasan por cada etapa de su evolución, dependiendo de su masa en el momento de su formación. Así se puede visualizar en qué estado evolutivo está cada una de las estrellas del cúmulo estudiado. Otro diagrama que puede dar información sobre la población de estrellas del cúmulo es el Hertzsprung-Russell, en donde se grafica temperatura-luminosidad (ver en Cienciorama [Diagrama H-R](#)).

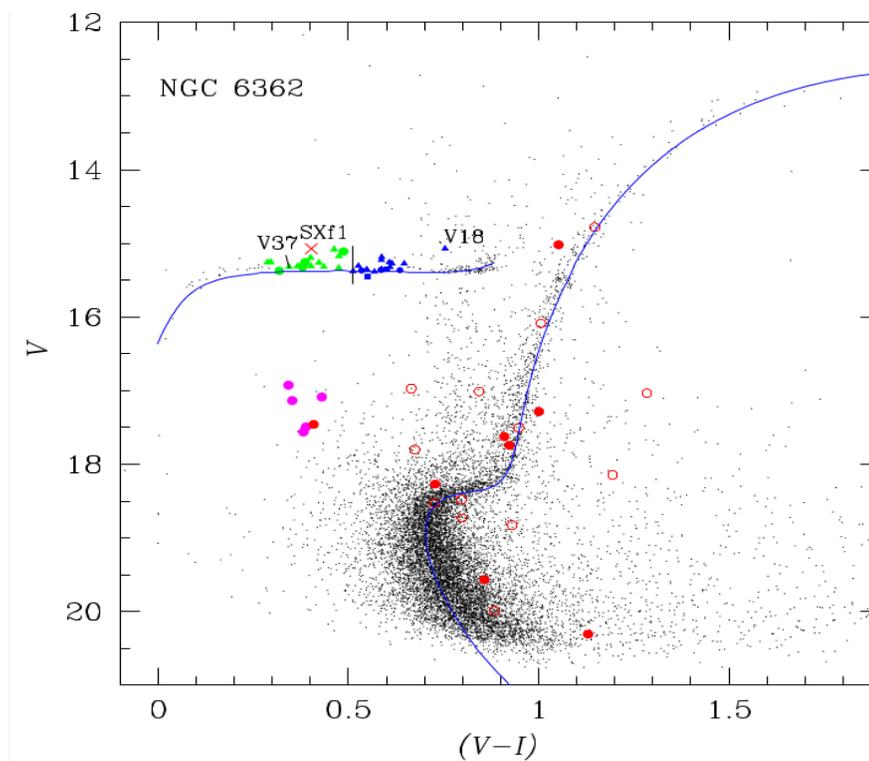


Figura 3 . Diagrama de un estudio del Dr. Arellano del cúmulo NGC 6362. Las RR Lyrae se marcan en verde y azul. La línea azul horizontal muestra la rama horizontal y la otra es el modelo de isocrona que ayuda a calcular la edad del cúmulo.

Como ahora la comprensión de la evolución estelar es muy buena, se conoce el tiempo aproximado que pasan las estrellas en cada una de sus etapas dependiendo de su masa. Así, midiendo el punto donde se acaba la Secuencia Principal (punto de salida) se puede estimar la edad del cúmulo globular. En el

ejemplo de NGC 6362 de la figura 3, la edad estimada es de 12000 millones de años.

Las curvas de luz de las estrellas variables son las herramientas de las cuales se obtienen todos sus parámetros importantes. Las curvas de luz de estas estrellas se obtienen mediante fotometría CCD, la cual consiste en utilizar un chip CCD como receptor que cuantifica la luz recibida o brillo en diferentes rangos de longitud de onda. Una vez obtenidas las curvas, se ajustan mediante series de Fourier, funciones en serie que suman senos y cosenos y sirven para representar cualquier señal. Las variables de estas funciones están ligadas a los parámetros físicos de las estrellas mediante calibraciones empíricas que se han logrado a lo largo de los años gracias al trabajo de muchos astrónomos observacionales y teóricos. Con este procesamiento de las curvas de luz se obtienen la temperatura, la masa, el radio y la metalicidad de la estrella, y con esto la edad, pues como explica el investigador, entre más viejo es el cúmulo, el punto de salida de la secuencia principal se recorrerá más abajo en el diagrama porque ésta se va despoblando.

Finalmente, gracias al procesamiento de todas las estrellas RR Lyrae dentro de un cúmulo globular, se pueden conocer los parámetros anteriormente mencionados. El estudio de un solo cúmulo puede contener alrededor de 800 fotografías y llevar hasta cinco años de trabajo desde las observaciones hasta la publicación de los resultados. En conclusión, ¡vaya que lleva tiempo y esfuerzo querer conocer a los objetos más viejos de nuestra galaxia!

Síntesis curricular del Dr. Armando Arellano Ferro

El Dr. Arellano es originario de la Ciudad de México, estudió la licenciatura en Física y Matemáticas en el IPN y su Maestría y Doctorado en la Universidad de Toronto, Canadá. En el mismo año en el que se doctoró (1983) se incorporó como investigador de la UNAM. En 1995, fundó el Departamento de Astronomía de la Universidad de Guanajuato, el primer grupo profesional de astrónomos en una universidad estatal en México. Actualmente trabaja con colaboradores de la India, los Emiratos Árabes, Venezuela y Argentina. Es autor de más de 130 artículos de investigación en revistas científicas arbitradas y de los libros de divulgación *Por qué no hay extraterrestres en la Tierra* y *Cómo se mide el universo*.

Se agradece especialmente al Dr. Armando Arellano Ferro por la ayuda brindada

en la revisión del artículo y su donación de figura 3.

Referencias

1. Notas de la conferencia en Cienciorama.
2. Astroscu.unam.mx. (2017). *Dr. Armando Arellano Ferro*. [online] Disponible en: http://www.astroscu.unam.mx/IA/index.php?option=com_content&view=article&id=420&Itemid=88&lang=es [7 Dic. 2017].
3. Bachiller, R. (2010). *Astronomía. De Galileo a los telescopios espaciales*. Barcelona: Lunwerg.
4. Chaisson, E. y McMillan, S. (2005). *Astronomy today*. New Jersey: Pearson Addison-Wesley.
5. Karttunen, H., Kröger, P., Oja, H., Poutanen, M. y Donner, K. (1994). *Fundamental Astronomy*. New York: Springer
6. Trejo, A. (2017). *Armando Arellano Ferro, un astrónomo estelar*. [online] México: Ciencia y Tecnología. Disponible en: <http://conacytprensa.mx/index.php/sociedad/personajes/5011-armando-arellano-ferro-un-astronomo-estelar> [7 Dic. 2017].
7. Figura de entrada: NGC 5139. Disponible en. <http://www.bitacoradegalileo.com/2011/01/10/cumulos-globulares-omega-centauri/>
8. Figura 3. Donada por el Dr Arellano. Pertenece a su artículo: A. Arellano Ferro, J. A. Ahumada , I.H. Bustos Fierro, J. H. Calderón, N. I. Morrell *Astronomische Nachrichten*, Enviado el 23 Diciembre 2017.