



# La búsqueda de las nebulosas planetarias

Manuel Peimbert y Rafael Costero



Al final de su evolución, la mayoría de las estrellas expulsan sus capas exteriores. Posteriormente esas capas son ionizadas por lo que queda de la estrella: su núcleo muy caliente, que ahora está expuesto. Así es como se producen los espectaculares objetos celestes llamados nebulosas planetarias. Guillermo Haro tuvo la visión de utilizar la cámara Schmidt del Observatorio de Tonantzintla para buscar este tipo de objetos, profundizar en su estudio y entender mejor nuestra galaxia.

## Introducción

Las estrellas obtienen su energía de transmutar en su interior hidrógeno en helio por medio de reacciones de fusión nuclear. Al acabarse el hidrógeno en sus regiones centrales, una fracción importante de las estrellas que nacen con menos de ocho masas solares, como el Sol, se convierten en gigantes rojas y entonces el helio se transmuta en carbono. Cuando el helio se agota en el núcleo de la estrella, ésta expulsa sus capas externas al medio interestelar. La parte central de la estrella, a muy alta temperatura, queda expuesta a ese medio y se convierte en una enana blanca: una estrella sin reacciones nucleares, que inicialmente está muy caliente y poco a poco se va enfriando. Las capas expulsadas son entonces ionizadas por el candente núcleo –el remanente de la estrella–, formando así una nebulosa planetaria. La nebulosa se dispersa y pierde brillo hasta hacerse invisible en aproximadamente 10 000 años, lapso muy corto comparado con el que le toma a la estrella transmutar su hidrógeno en helio, que es de miles de millones de años. El lector puede encontrar información más detallada y completa sobre este y otros temas en el libro *Nebulosas planetarias: la hermosa muerte de las estrellas*, de Silvia Torres y Julieta Fierro, que recomendamos en la bibliografía.

En este artículo discutimos las aportaciones que Guillermo Haro hizo al estudio de las nebulosas planetarias y algunas de las repercusiones de ese trabajo en el desarrollo de la astronomía.



## ● Número y distribución

En el primer artículo publicado en el *Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya* que él funda en 1952, Haro presenta los resultados de su trabajo sobre la búsqueda de nebulosas planetarias en la dirección del centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, y reporta el descubrimiento de 103 de ellas. En las Figuras 1 y 2 mostramos imágenes tomadas con el Telescopio Espacial Hubble de dos de esos objetos. A partir de este trabajo, Haro llega a dos conclusiones: que el número de nebulosas planetarias todavía no encontradas en nuestra galaxia excede por mucho el hasta entonces esperado por los expertos en el campo, y que el bulbo de la misma –la protuberancia estelar que rodea el centro galáctico– es mucho mayor que lo estimado previamente.

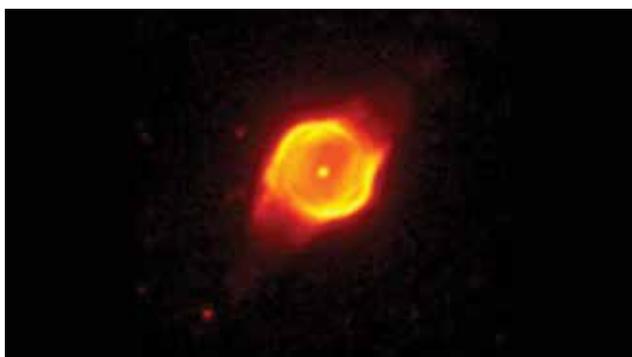
En efecto, a principios del siglo xx se conocía el espectro de alrededor de 9 000 estrellas, de las cuales sólo 150 tenían asociada una nebulosa planetaria. Entre 1918 y 1924 se hizo un gran esfuerzo para clasificar los espectros de la mayoría de las estrellas más brillantes de magnitud 10, con lo que se agregaron alrededor de 225 000 al acervo de estrellas con espectro conocido. De éstas, sólo una resultó estar asociada a una nebulosa planetaria, con lo cual se llegó a la conclusión de que ya se conocían casi todas las nebulosas planetarias en la Vía Láctea.

En los años cuarenta del siglo xx, Rudolph Minkowski decidió hacer una búsqueda exhaustiva de nebulosas planetarias empleando el telescopio de 10 pulgadas del Observatorio de Monte Wilson y el de 18 pulgadas de Monte Palomar, cada uno equipado con un prisma co-

locado en su apertura óptica, llamado prisma objetivo. Así, Minkowski encontró 191 nebulosas planetarias más y concluyó que, con su búsqueda, ya se habían encontrado la mayoría de las nebulosas planetarias en nuestra galaxia.

El resultado de Haro contradice las conclusiones de Minkowski y, además, a diferencia de los astrónomos que habían trabajado en el campo, predice la existencia de muchas más nebulosas planetarias en la Vía Láctea. A favor de esta predicción, Alloin y colaboradores calculan en 1976, a partir de consideraciones teóricas, que en nuestra galaxia debe haber alrededor de 10 000 nebulosas planetarias. A la fecha, gracias al mayor tamaño de los telescopios actuales y a la muy superior sensibilidad de los detectores modernos, se han encontrado alrededor de 3 000 de ellas, sobre todo mediante búsquedas basadas en el uso de detectores infrarrojos.

A mediados del siglo pasado se creía que nuestra galaxia era de tipo Sc; esto es, una galaxia con brazos espirales muy desarrollados y un bulbo muy pequeño. Esta clasificación era errónea, debido a que no es posible ver el centro de la Vía Láctea mediante observaciones en la región visible del espectro electromagnético, pues la luz visible es absorbida por el polvo interestelar con mucho más eficiencia que la luz infrarroja. En consecuencia, la información que se tenía correspondía principalmente a la fracción externa de nuestra galaxia centrada en el Sol. Las nebulosas planetarias no están tan concentradas hacia el plano galáctico como el gas y el polvo; esto permitió a Haro darse cuenta de que la distribución espacial de planetarias en la dirección del



**Figura 1.** Imagen obtenida en H-alfa con el Telescopio Espacial Hubble de la nebulosa planetaria Haro 1-39 (tomada de Sahai y colaboradores, 2011).



**Figura 2.** Imagen obtenida en H-alfa con el Telescopio Espacial Hubble de la nebulosa planetaria Haro 2-1 (tomada de Sahai y colaboradores, 2011).

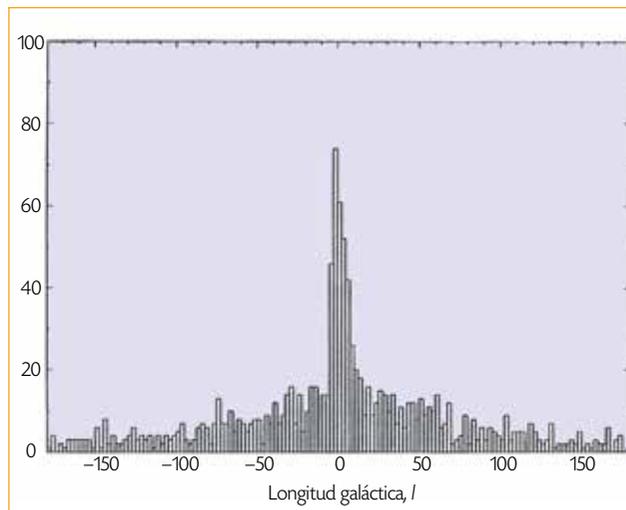
centro de la Vía Láctea aumentaba en una región mayor que la esperada para una galaxia espiral de tipo Sc. Haro tuvo razón y, ahora, mediante observaciones en ondas de radio y en el infrarrojo, se sabe que la galaxia en que vivimos tiene una barra de estrellas, su bulbo es mayor que el aceptado a mediados del siglo xx y su centro coincide con el que se obtiene a partir de la distribución espacial de las nebulosas planetarias.

En las Figuras 3 y 4 mostramos que las nebulosas planetarias conocidas hasta finales del siglo pasado están concentradas hacia el plano de la Vía Láctea (latitud galáctica,  $l = 0$ ) y hacia el centro de la misma (longitud galáctica,  $b = 0$ ). Las coordenadas galácticas, latitud y longitud, son equivalentes a las geográficas del mismo nombre, sólo que aquéllas emplean el plano y el centro de nuestra galaxia como referencia, en lugar del Ecuador y Greenwich, respectivamente, en el caso de las coordenadas terrestres.

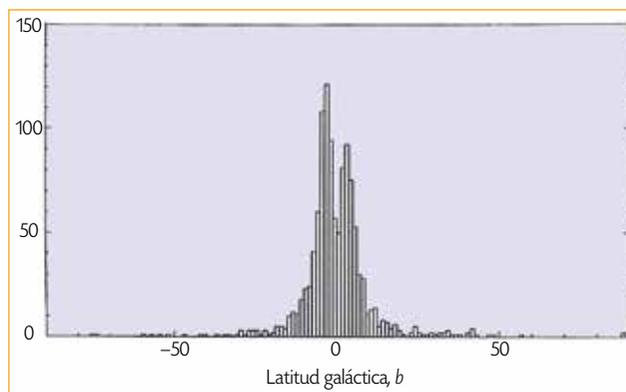
En 1958 Haro nos propuso a Gerardo Bátiz y a mí [Manuel Peimbert], en esa época estudiantes de primer año de la licenciatura en Física de la Facultad de Ciencias de la UNAM, que hiciéramos una búsqueda de nebulosas planetarias en placas espectrales del cielo, tomadas con la cámara Schmidt de Tonantzintla, equipada con prisma objetivo. Un año más tarde, Rafael Costero fue invitado a participar en el proyecto. Después de muchos fines de semana de trabajo en el observatorio, donde aún se conservan esas placas, encontramos 24 objetos que no habían sido descubiertos con anterioridad y publicamos dos notas al respecto, en 1960 y 1961, en el *Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya*. Además del descubrimiento de estas nebulosas planetarias, la relación con Haro y con otros astrónomos de Tonantzintla nos llevó a cimentar una vocación astronómica que se mantiene hasta la fecha.

### **Nebulosas planetarias y la evolución química de las galaxias**

La teoría sobre el origen del Universo más aceptada en la actualidad es la conocida como la “Gran Explosión” o *Big Bang*. Su amplia aceptación se debe a que predice propiedades universales susceptibles de verificación. Tal vez la predicción más conocida, verificada con enorme precisión, es la relativa a la existen-

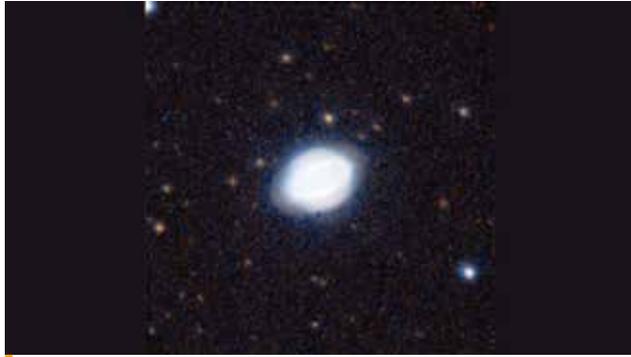


**Figura 3.** Histograma de las nebulosas planetarias conocidas en 1992 (tomado de Acker y colaboradores; *Strasbourg-European Southern Observatory Catalogue of Galactic Planetary Nebulae*, 1992). Se grafica el número de planetarias versus la longitud galáctica, “l”. Cero grados corresponde al centro de nuestra galaxia.

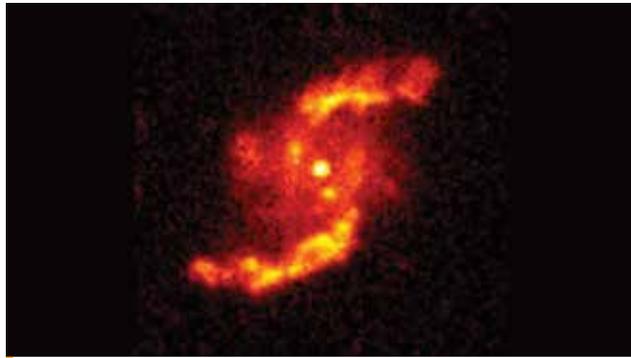


**Figura 4.** Histograma de las nebulosas planetarias conocidas en 1992 (tomado de la misma fuente que la Figura 3). Se grafica el número de planetarias versus la latitud galáctica, “b”. Cero grados corresponde al plano de la Vía Láctea. La disminución alrededor de latitud cero grados se debe a la absorción del polvo que obtiene su máxima concentración en el plano de nuestra galaxia y que hace más difícil detectar en éste los objetos.

cia de la radiación cósmica de fondo. De acuerdo con aquella teoría, esta radiación es lo que puede “verse” de la formación del Universo en la actualidad, y debe corresponder a la radiación de un cuerpo ideal, llamado cuerpo negro, a temperatura cercana a los tres grados Kelvin. Para ahondar en este y otros muchos conceptos derivados de la teoría de la gran explosión, véanse, por ejemplo, el libro *The Big Bang* de J. Silk, publicado en el año 2000, o el capítulo de Ávila-Reese “Un Univer-



**Figura 5.** Imagen de la nebulosa planetaria Peimbert-Batiz 4 obtenida en H-alfa y [O III] con el Telescopio de Nueva Tecnología (NTT) del Observatorio Europeo del Sur (tomada de Schwarz y colaboradores; *A Catalogue of Narrow Band Images of Planetary Nebulae, Astronomy and Astrophysics Supplements*, 1992, vol. 96, p. 23).



**Figura 6.** Imagen obtenida en H-alfa con el Telescopio Espacial Hubble de la nebulosa planetaria Peimbert-Costero 19 (tomada de Sahai y colaboradores, 2011).

Otra importante predicción de la teoría de la Gran Explosión es la que se refiere a la creación de los primeros elementos. De acuerdo con ésta, durante los primeros cuatro minutos a partir del inicio de la rápida expansión del Universo (esto es, de la Gran Explosión) es cuando se formaron los átomos de hidrógeno y de helio, así como cantidades insignificantes de litio, berilio y boro

so en evolución”, del libro electrónico *Fronteras de la Física en el siglo XXI*, publicado en 2013.

Otra importante predicción de la teoría de la Gran Explosión es la que se refiere a la creación de los primeros elementos. De acuerdo con ésta, durante los primeros cuatro minutos a partir del inicio de la rápida expansión del Universo (esto es, de la Gran Explosión) es cuando se formaron los átomos de hidrógeno y de helio, así como cantidades insignificantes de litio, berilio y boro, mediante un proceso llamado nucleosíntesis primigenia. El modelo estándar de la Gran Explosión predice que la proporción de hidrógeno y helio resultante, llamada abundancia primordial, es 75% hidrógeno y 25% helio (por unidad de masa). Verificar que, efectivamente, ésta fue la abundancia primordial es difícil porque el helio se seguirá produciendo en el interior de las estrellas, como se describe más adelante.

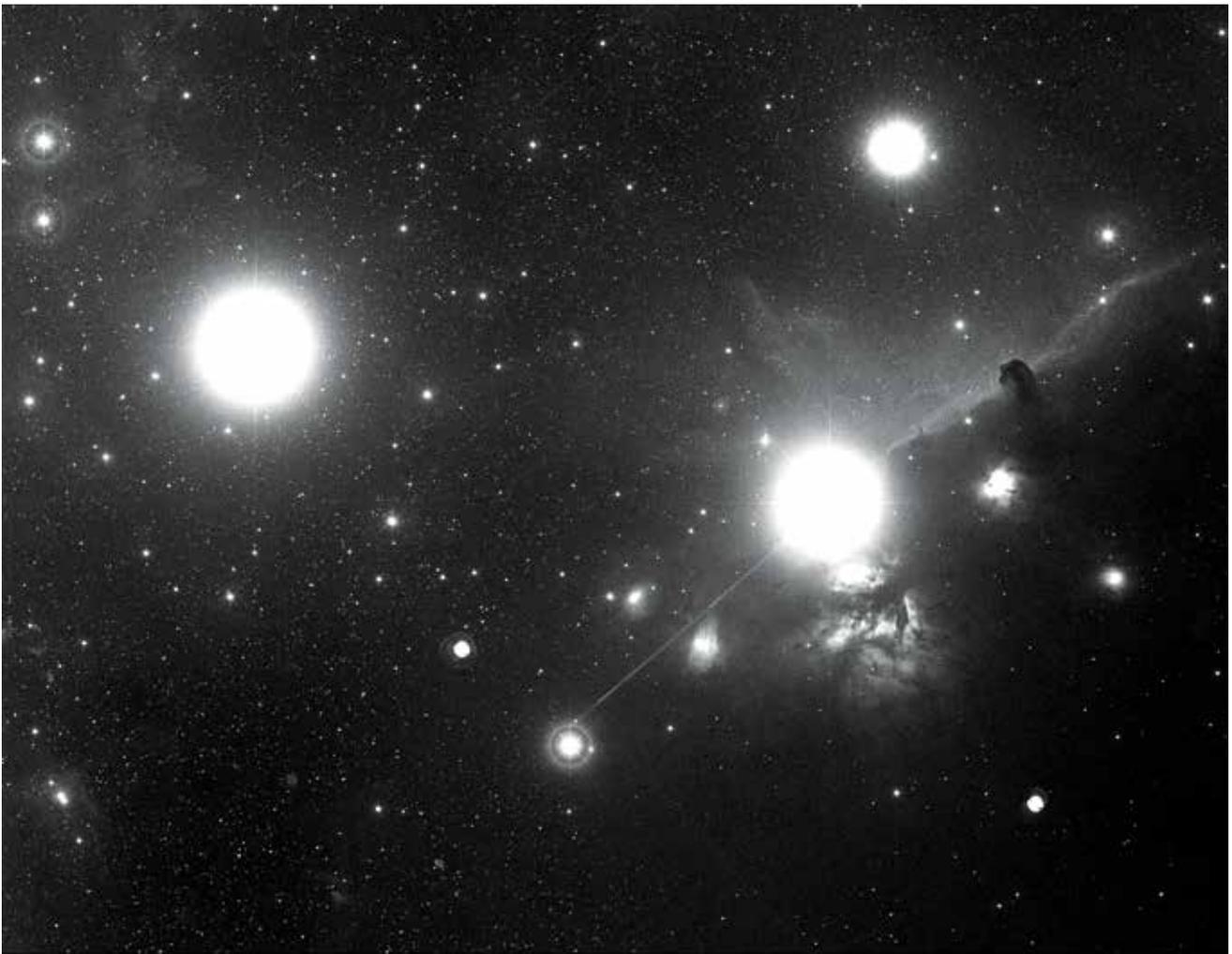
Después de esos primeros cuatro minutos, el Universo se enfría a temperaturas a las que ya no se producen las reacciones nucleares necesarias para formar elementos. Así que los elementos de la tabla periódica más pesados que el boro se crean mucho después, mediante reacciones de fusión nuclear, a temperaturas muy altas, en el interior de las estrellas (nucleosíntesis estelar). Evidentemente esto no sucede sino hasta la formación de las primeras galaxias y estrellas, que se estima ocurrió cuando el Universo tenía muchas decenas de millones de años de edad, poco tiempo comparado con la más reciente estimación de su edad actual: 13.8 miles de millones de años. El helio es uno de los elementos que se forman en el interior de las estrellas; a éste se le llama helio no primordial. Esos elementos “cocinados” dentro de las estrellas pueden, posteriormente, ser expulsados al medio interestelar mediante procesos que se describen a continuación.

Para estudiar la evolución química de nuestra galaxia es conveniente dividir a las estrellas en dos grupos: las que nacen con más de ocho masas solares y las que nacen con masa menor a ésta. Los modelos teóricos de la estructura y evolución de las estrellas que nacen con menos de ocho masas solares predicen que, hacia el final de su evolución, perderán sus capas externas, las cuales han sido contaminadas previamente con material enriquecido por las reacciones nucleares

que ocurrieron en su interior. Estas reacciones nucleares son responsables de la formación de la mitad del helio producido por las estrellas (esto es, de origen no primordial), la mitad del carbono y el 80% del nitrógeno. Por otro lado, los modelos de estrellas que nacen con más de ocho masas solares predicen que éstas terminarán su existencia en una explosión llamada “de supernova” y que son responsables de la producción de la mitad del helio de origen no primordial, de la mitad del carbono, del 20% del nitrógeno, y de la totalidad del oxígeno, neón, sodio, magnesio, aluminio, silicio, azufre, cloro y argón. Por último, se estima que la cantidad de helio formado por el conjunto de todas las estrellas y expulsado al medio interestelar durante la evolución de nuestra galaxia, es apenas de alrededor del 10% del helio formado durante los primeros cuatro

minutos siguientes al inicio de la expansión del Universo (la Gran Explosión).

A partir del estudio de la composición química de nebulosas planetarias en la Vía Láctea, se han encontrado gradientes en las abundancias de nitrógeno, oxígeno, neón y argón con relación al hidrógeno; específicamente, las abundancias de estos elementos, relativas a la del hidrógeno, disminuyen con las distancias a las que se encuentran del centro de nuestra galaxia las nebulosas planetarias en las que se miden. Estos gradientes imponen restricciones importantes a los modelos de evolución de las estrellas y de nuestra galaxia. El estudio de estos gradientes, tanto mediante observaciones astronómicas como a través de modelos teóricos, es uno de los temas importantes que se estudian en nuestro país.



Nebulosa Cabeza de Caballo. Placa obtenida con la Cámara Schmidt de Tonantzintla. Fuente: Archivo histórico, INAOE.

## ● **Nebulosas planetarias de halo y la evolución del Universo**

Dentro del marco de la teoría de la Gran Explosión, el 75% de la masa de las primeras estrellas que se formaron debería ser de hidrógeno y el 25% de helio. Si se encontrase un objeto celeste con menos de 25% de helio y más de 75% de hidrógeno, la teoría de la Gran Explosión entraría en contradicción con la realidad.

Debido a la manera en que se forman las galaxias, las estrellas más antiguas se encuentran en el halo de éstas y en los cúmulos globulares. El halo de una galaxia es una gigantesca nube esférica de estrellas que rodea al resto de la galaxia. Los cúmulos globulares son grupos compactos y muy nutridos de estrellas que también se encuentran en los halos, a grandes distancias del centro de las galaxias a las que pertenecen. Así pues, es ahí, en el halo de nuestra galaxia, donde están los objetos más viejos de nuestro vecindario.

Existe un puñado de nebulosas planetarias que están en el halo de la Vía Láctea –cuyas estrellas centrales probablemente se formaron hace alrededor de 13 000 millones de años–, cuyas abundancias químicas es importante determinar con precisión; también es



importante verificar si en ellas la abundancia de helio es mayor o igual al 25%, como predice la teoría de la Gran Explosión. En 1951 Haro encontró una de esas pocas nebulosas planetarias, cuyo nombre es Haro 4-1 (para diferenciarla de las otras tres listas de nebulosas planetarias encontradas por Haro). Posteriormente, en 1979, Torres-Peimbert y Peimbert encontraron que Haro 4-1 es muy pobre en neón y argón –lo cual indica que esta nebulosa planetaria se originó de una de las primeras estrellas que se formaron en nuestra galaxia– y que tiene una abundancia de helio de 27% (por masa), resultado acorde con la teoría de la Gran Explosión.

## ● **Consideraciones finales**

Guillermo Haro dedicó su vida al desarrollo de la investigación científica y la tecnología en nuestro país. Participó activamente, en 1959, con otros distinguidos científicos mexicanos, en la creación de la Academia de la Investigación Científica, ahora Academia Mexicana de Ciencias y, en 1970, en la formación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Como parte de ese compromiso consideró necesaria la profesionalización de la investigación científica en México, en particular la astronómica. Para lograrlo trabajó en los siguientes aspectos: la formación de nuevos investigadores, el desarrollo de los observatorios nacionales, la creación de un programa de becas para estudios de posgrado, la creación de una revista de investigación en astronomía y la apertura de nuevos campos de investigación. Estas acciones han fructificado en una tradición astronómica reconocida mundialmente.

Estos temas se tratan en los otros artículos de este número especial de la revista *Ciencia*. Sin embargo, quisiéramos mencionar tres aspectos en particular: en 1952 Guillermo Haro fundó el *Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya*, el cual dirigió de 1952 a 1972. Este *Boletín* fue precursor de la *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, publicación con una presencia internacional destacada; en 1961, siendo Haro presidente de la Academia Mexicana de Ciencias, se establecieron los premios que ésta otorga a investigadores menores de 40 años; y en 1962, a instancias de

Haro y otros científicos, el Instituto Nacional de la Investigación Científica utilizó sus escasos recursos en establecer un programa de 25 becas para realizar estudios de doctorado en el extranjero, programa que fue posteriormente retomado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, fundado en 1970, que ahora incluye miles de becas para estudios de posgrado.

En este artículo hemos hecho un breve recuento de la apertura de uno de los campos de investigación que Haro iniciara en México: el del estudio de las nebulosas planetarias. De los 240 astrónomos profesionales que trabajan en México, más de la mitad tienen cuando menos un artículo de investigación sobre nebulosas planetarias. Podemos concluir que un buen número de astrónomos mexicanos, entre otros profesionales, ha sido influenciado por la visión y la pasión de Guillermo Haro por el desarrollo de nuestro país.

**Manuel Peimbert** es investigador emérito del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha sido vicepresidente de la Unión Astronómica Internacional y de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo. Es miembro de El Colegio Nacional, de la National Academy of Sciences, de la American Philosophical Society, de la Royal Astronomical Society y de la Academia Mexicana de Ciencias. Obtuvo el premio Hans A. Bethe de la American Physical Society.  
peimbert@astro.unam.mx

**Rafael Costero** es investigador titular del Instituto de Astronomía de la UNAM (IA-UNAM). Estudió la licenciatura en Física en la Facultad de Ciencias de la UNAM y la maestría en Astronomía en la Universidad de Wisconsin. Como investigador invitado ha trabajado en la Universidad de California (Santa Cruz), el Observatorio de Trieste (Italia) y el Observatorio de Marsella (Francia). Ha sido secretario académico y consejero técnico del IA-UNAM en dos ocasiones y jefe del Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir, B. C. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, de la American Astronomical Society y de la Unión Astronómica Internacional.  
costero@astro.unam.mx

### Lecturas recomendadas

- Alloin, D., C. Cruz-González y M. Peimbert (1976), "On the Number of Planetary Nebulae in our Galaxy", *The Astrophysical Journal*, 205, 74-81.
- Ávila-Reese, V. (2013), "Un Universo en evolución", en O. Miramontes y K. Volke (comps.), *Fronteras de la física en el siglo XXI*, México, CopIt-arXives. Disponible en <<http://scifunam.fisica.unam.mx/mit/copit/TS0011ES/TS0011ES.html>>. Consultado el 19 de abril de 2014.
- Haro, G. (1951), "Emission Object in Coma", *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 63, 144.
- \_\_\_\_ (1952), "Nuevas nebulosas planetarias y objetos con emisión en la región del centro galáctico", *Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya*, 1, 1-9.
- Peimbert, M. y G. Bátiz (1960), "Nuevas nebulosas planetarias I", *Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya*, 2, 19-20.
- Peimbert, M. y R. Costero (1961), "Nuevas nebulosas planetarias II", *Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya*, 3, 33-34.
- Sahai, R., M. R. Morris y G. G. Villar (2011), "Young Planetary Nebulae: Hubble Space Telescope Imaging and a New Morphological Classification System", *The Astronomical Journal*, 141, 134-165.
- Silk, J. (2000), *The Big Bang*, 3ª ed., New York, W. H. Freeman & Company.
- Torres, S. y J. Fierro (2009), *Nebulosas planetarias: la hermosa muerte de las estrellas*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Torres-Peimbert, S. y M. Peimbert (1979), "Physical Conditions in Two Halo Planetary Nebulae", *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 4, 341-350.