

ARCADIO POVEDA

ESTRELLAS DOBLES Y MÚLTIPLES:
COSMOGONÍA Y EVOLUCIÓN

DISCURSO DE INGRESO

MARCOS MOSHINSKY

RESPUESTA



EL COLEGIO NACIONAL

ESTRELLAS DOBLES Y MÚLTIPLES:
COSMOGONÍA Y EVOLUCIÓN

Arcadio Poveda Ricalde

ESTRELLAS DOBLES
Y MÚLTIPLES:
COSMOGONÍA
Y EVOLUCIÓN
(17 DE MARZO DE 1989)

PRESENTACIÓN
Carlos Casas-Campillo

CONTESTACIÓN
Marcos Moshinsky



Coordinación editorial: Rosa Campos de la Rosa

Primera edición: 2013

D. R. © 2013. EL COLEGIO NACIONAL

Luis González Obregón núm. 23

Centro Histórico. C. P. 06020, México, D. F.

Teléfonos: 5789.4330 • 5702.1878 Fax: 5702.1779

Impreso y hecho en México

Printed and made in Mexico

Correo electrónico: contacto@colegionacional.org.mx

colnal@mx.inter.net

Página: <http://www.colegionacional.org.mx>

PRESENTACIÓN
POR EL DOCTOR CARLOS CASAS-CAMPILLO



El presidente en turno, doctor Carlos Casas Campillo, pronuncia las palabras de bienvenida en la ceremonia de ingreso al Colegio Nacional, del doctor Arcadio Poveda Ricalde (extrema derecha).

Vamos a dar principio a esta sesión extraordinaria y solemne del Colegio Nacional que tiene como propósito esencial recibir al doctor Arcadio Poveda Ricalde como nuevo miembro de El Colegio Nacional.

Es realmente satisfactorio para El Colegio que tengamos en esta ocasión como invitados distinguidos al señor Secretario de Educación Pública, al señor Rector de la Universidad Nacional Autónoma de México, al señor Director del Instituto Politécnico Nacional, y a miembros distinguidos del Colegio Nacional.

Señoras y señores:

A nombre de la corporación y como presidente en turno del Colegio expreso nuestra sincera y cordial bienvenida a tan distinguida personalidad científica que es el doctor Arcadio Poveda Ricalde. Brevemente quiero significar cuál ha sido la trayectoria científica del doctor Arcadio Poveda Ricalde con base en datos que he obtenido de su extenso *Curriculum Vitae*.

Arcadio Poveda Ricalde nació en Mérida, Yucatán, en el año de 1930 y culminó sus estudios profesionales de física y matemáticas, en la Universidad Nacional Autónoma de México en los años 1948 a 1951 y sus estudios de posgrado lo llevaron a obtener el doctorado en astronomía en la Universidad de California en Berkeley en el año de 1956; posteriormente participó en cursos posdoctorales en Holanda en 1960, Francia en 1966 y otros países. Asimismo desarrolló actividades de investigación, ya como investigador visitante en astronomía en varios centros y observatorios en Estados Unidos de Norteamérica. Sus trabajos de investigación se han desarrollado dentro de la astrofísica teórica y se le considera como el iniciador de esta disciplina en el país. Ya en el año de 1958 tuvo reconocimiento internacional por haber desarrollado el método Poveda para determinar las masas de las galaxias esféricas y elipsoidales. Su método permitió al doctor Poveda en el año de 1961 establecer que existe una relación entre la masa de un sistema estelar y su luminosidad total. Cada vez se da mayor importancia a esta relación en el contexto de la astronomía extragaláctica y de la masa invisible.

Otra conclusión del doctor Poveda se refiere al estudio de las supernovas, estrellas que al

final de sus vidas se autodestruyen; mostró, asimismo que el brillo superficial en las frecuencias de un remanente gaseoso de supernova está relacionado con su diámetro; ley que se conoce con el nombre de relación *Sigma-D* y permite determinar la distancia a la que se encuentra el remanente.

El estudio teórico de los procesos que dan origen a las estrellas llevó al doctor Poveda en los años 1964-1967 al planteamiento de un esquema evolutivo para las estrellas recién nacidas, llamadas estrellas jóvenes. En la década de los años 70 el advenimiento de la técnica en observación en el infrarrojo permitió confirmar las predicciones del doctor Poveda, las cuales sirvieron de punto de partida en todo el campo de la cosmogonía estelar infrarroja moderna.

Posteriormente sus investigaciones se asentaron en las estrellas dobles y múltiples, y en la actualidad la investigación del doctor Poveda gira en torno al estudio de la función de la luminosidad estelar.

El doctor Poveda está considerado como el promotor más importante de la astronomía en México. Ha sido eficaz creador de instituciones de investigación dentro y fuera de la ciudad de México, y durante su gestión como director del Instituto de Astronomía de la Universidad Na-

cional Autónoma de México, el doctor Poveda no sólo impulsó notablemente la astronomía teórica y observacional, sino también la investigación y desarrollo instrumental; en la provincia fue el creador del CICESE en Ensenada. El Departamento de Física Aplicada se fundó con personal del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Asimismo creó el Centro de Investigación Astronómica en Ensenada, participó en el desarrollo del Observatorio Astronómico de San Pedro Mártir, en Baja California, el mayor de su género en América Hispánica, y promovió la creación del Centro de Investigación de Óptica en la ciudad de León.

Su labor dentro de la Academia de Investigación Científica, de la cual fue fundador, y en la Coordinación de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México ha sido extraordinariamente relevante. Su participación como divulgador de la ciencia, también ha llenado un capítulo importante en el desempeño científico del doctor Poveda.

Ha recibido por sus méritos diversos reconocimientos: un premio de la OTEA en 1952, de la Universidad de California; el premio de la Academia de Investigación Científica en 1966, la medalla Eligio Ancona, del gobierno del Es-

tado de Yucatán en 1967, el doctorado *Honoris Causa* de la Universidad de Yucatán en 1977 y el Premio Nacional de Ciencias en 1975.

Asimismo, fue designado investigador honorífico del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica en el año de 1985 y se le confirió la Medalla Luis G. León de la Sociedad Astronómica de México en 1987. He mencionado los principales merecimientos académicos del doctor Arcadio Poveda Ricalde, distinguido mexicano que en esta ceremonia recibimos con beneplácito como nuevo miembro del Colegio Nacional, y le invitamos a que presente su lección inaugural.

ESTRELLAS DOBLES Y MÚLTIPLES:
COSMOGONÍA Y EVOLUCIÓN

Al iniciar mis actividades como miembro de El Colegio Nacional quiero expresar mi mayor agradecimiento al Consejo de este Colegio por el alto honor que me confieren. Pienso que más que una distinción personal, es un reconocimiento al alto grado de desarrollo que ha alcanzado la astronomía mexicana, y que a mí, por fortuna, me ha tocado recibir. Espero que a través de las cátedras y demás actividades en El Colegio Nacional podré contribuir a difundir los conocimientos astronómicos, y en general la cultura científica, a un público más amplio.

Quiero aprovechar esta oportunidad para recordar al doctor Guillermo Haro, el primer astrónomo que ingresó a El Colegio, y a quien debemos, entre otros beneficios, el haber iniciado la investigación astronómica moderna en México.

Don Guillermo Haro, fue un apasionado de la ciencia y del progreso y, en su desempeño

como investigador, un paradigma de profundidad y de eficiencia; profundidad, por la visión y el alcance de los problemas que abordó y por la intuición astronómica que lo guió con muchos años de ventaja en relación con sus contemporáneos; eficiencia, porque con recursos instrumentales modestos y carente de un entrenamiento formal en física y matemáticas, logró abrir campos nuevos en la astronomía, donde otros astrónomos mucho mejor equipados no lo lograron.

Guillermo Haro fue un polemista formidable; me acuerdo de que, al retirarse por las noches, pasaba a mi oficina en el segundo piso de la Torre de Ciencias, y con frecuencia se detenía a conversar un rato conmigo sobre muy variados tópicos. Las más de las veces terminábamos discutiendo algún problema astronómico.

Tema recurrente de esas discusiones era el problema de cómo nace una estrella: si por contracción gravitatoria de una nube de gas y polvo, de la misma manera en que se condensan las gotas de lluvia en la atmósfera para luego precipitarse al suelo; o bien, si el nacimiento de una estrella es consecuencia de la explosión de algún exótico y superdenso núcleo preestelar, como ha venido insistiendo desde hace muchos años Victor Ambartsumian y su escuela

del Observatorio de Byurakan en Armenia. La mayor parte de los astrónomos nos inclinamos por la hipótesis de la contracción gravitatoria, pues sentimos que es un proceso inevitable cuya fundamentación física es clara y está bien establecida. Por otra parte, no podemos ignorar que existe una serie de datos de observación que parecen apoyar la hipótesis de Ambartsumian. Guillermo Haro, naturalmente, tomaba la posición iconoclasta, y yo, la tradicional; muchas horas y muchas noches discutimos sobre este asunto. Uno de los datos de observación más intrigantes desde el punto de vista de la contracción gravitatoria consiste en el hecho de que en los enjambres estelares jóvenes (cúmulos galácticos) coexisten estrellas brillantes y muy distendidas (como uno lo esperaría de las estrellas jóvenes aún en proceso de contracción), con estrellas muy débiles, pero de temperatura muy semejante a las anteriores, lo cual parecería indicar dimensiones muy pequeñas; esto último sería el caso si la evolución estelar comenzara con estrellas de pequeño radio que fueran expandiéndose a medida que transcurre el tiempo, en lugar de contraerse. El reto planteado en estos polémicos encuentros con Guillermo Haro acabó por obligarme a pensar en la manera de conciliar las observaciones de estrellas

jóvenes y aparentemente pequeñas con la teoría de la contracción gravitatoria. El resultado de este reto fue un artículo en el cual expliqué las observaciones anteriores como debidas a que las estrellas jóvenes estaban efectivamente distendidas y en contracción gravitatoria, pero que algunas de ellas se encontraban aún rodeadas de capullos preplanetarios compuestos de gas y polvo que las hacían parecer mucho más débiles de lo que realmente eran, puesto que absorbían gran parte de su luz. Predije entonces que, de ser cierta la explicación anterior, las estrellas más jóvenes, y en particular, la estrella variable *R. Monocerotis* (famosa por estar en el vértice de una nebulosa cometaria variable) (ver Fig. 1), serían muy brillantes en el infrarrojo. Afortunadamente, ya para esas épocas el desarrollo de los detectores en el infrarrojo había alcanzado la eficiencia suficiente, lo que permitió que poco después de mi predicción un colega nuestro, Eugenio Mendoza, encontrara este exceso de radiación infrarroja en *R. Monocerotis* y en otras estrellas jóvenes. Con ello, la existencia de estrellas débiles en los cúmulos jóvenes dejó de representar un problema para la teoría de la contracción gravitatoria. Naturalmente, don Guillermo no tardó en presentar un nuevo reto: la observaciones del gas que rodea



R. Monocerotis y la nebulosa variable de Hubble. Esta nebulosa de forma cometaria tiene la peculiaridad de ser variable, según lo demostró E. Hubbe; en el vértice se encuentra la estrella, también variable irregular, *R. Monocerotis*. Esta estrella es unas 30 veces más luminosa en el infrarrojo que en el visible. (Foto: Observatorio de Palomar, Californian Institute of Technology.)

Figura. 1

a las estrellas jóvenes indican que éste no parece estar cayendo hacia ellas, sino al contrario, está alejándose, como si en lugar de contraerse las estrellas estuvieran expandiéndose. Éste es un problema no plenamente resuelto incluso en nuestros días; don Guillermo Haro se despidió de nosotros, insistiendo hasta el final en la necesidad de explicar estas observaciones.

He querido compartir con ustedes esta experiencia personal como un pequeño homenaje a tan inspirado y visionario miembro de nuestro Colegio.

La astronomía es una ciencia maravillosa, particularmente apropiada para dar a conocer a los estudiantes, y al público en general, las variadas disciplinas que intervienen en su quehacer. Hablar de los eclipses, de los cometas y de su órbitas, del material interestelar, de las atmósferas de las estrellas o del interior de ellas, en fin, de la gran explosión y del nacimiento de las galaxias, implica echar mano de la física conocida (y en ocasiones incluso de la no conocida), de las matemáticas, de la química, la geología la paleontología, la meteorología... En suma, podemos afirmar que prácticamente todas las ciencias se integran en la astronomía, en un grandioso intento de proporcionar una visión coherente del universo.

Yo he sido muy afortunado de haber incurrido en varios campos de la astronomía, y de haber disfrutado ese exquisito, irremplazable e íntimo goce de haber juntado algunas piezas sueltas del gran rompecabezas cósmico, y haber visto y comprendido algunas cosas nuevas. Así, uno de los campos en el que he venido laborando desde hace más de quince años es el de las estrellas dobles y múltiples, y de él hablaré a continuación, explicando algunos resultados recientes que he encontrado en colaboración con Christine Allen, también del Instituto de Astronomía de la UNAM.

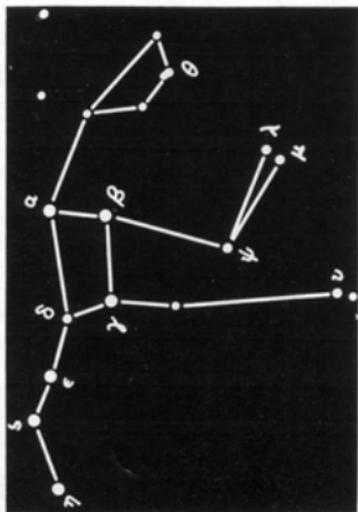
El descubrimiento de que una estrella puede tener otra estrella en su vecindad ligada gravitatoriamente (como la Tierra lo está al Sol) es una de las grandes realizaciones de la astronomía clásica. Ello permitió, entre otras cosas, extender considerablemente (más allá del sistema solar) el ámbito de validez de la teoría de la gravitación de Newton, así como determinar las masas de las estrellas, dato este último de fundamental importancia para la astrofísica moderna. Actualmente el estudio de las estrellas dobles y múltiples es importante porque arroja luz sobre el nacimiento y evolución de las estrellas y de los enjambres estelares, así como sobre la muerte violenta de cierto tipo de estrellas. El

concepto de que las estrellas no están solas en el espacio pareciera ser uno de los más arraigados arquetipos que alberga la mente humana, pues surge desde la más remota antigüedad, cuando los primeros observadores del cielo nocturno proponían la existencia de grupos (no casuales) de estrellas: las constelaciones. Actualmente sabemos que la gran mayoría de las constelaciones son agrupamientos accidentales, sin ninguna liga gravitatoria o genética; podríamos decir que las constelaciones fueron el resultado de una prueba proyectiva autoaplicada por los primeros observadores del cielo nocturno (ver Fig. 2).

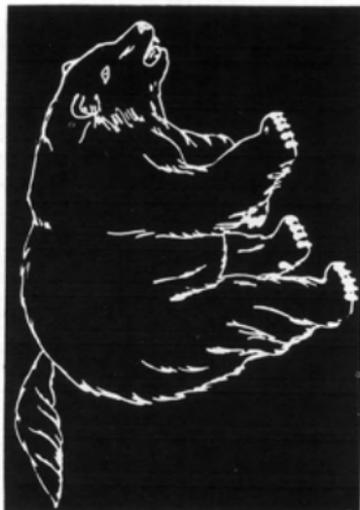
No es sino hasta después del advenimiento del telescopio cuando se dan los primeros pasos en el descubrimiento de las estrellas dobles; así, Jean Baptiste Riccioli en 1650, al observar al telescopio la estrella *Zeta Ursae Majoris* (mejor conocida como *Mizar*), descubre en su campo de visión una segunda estrella que le llama la atención: ésta es la primera estrella doble visual observada. Algunos años después, en 1656, Johann Cysat, al observar la estrella *Theta Orionis*, encuentra por primera vez la célebre estrella múltiple conocida como el *Trapezio de Orión*, al centro de la no menos célebre nebulosa brillante del mismo nombre

(ver Fig. 3). Después de estas observaciones varios astrónomos, en particular Mayer, descubren compañeras visibles de algunas estrellas brillantes, al punto de que en 1784 Bode publica en su *Anuario* el primer catálogo de 80 estrellas dobles. A pesar de la tentación de considerar a estas estrellas “dobles visuales” como auténticos pares de estrellas físicamente ligados, es decir, enlazadas por la fuerza gravitatoria, en verdad persiste la duda de que un par dado pudiera ser el resultado de la cercanía fortuita de dos estrellas situadas a distancias muy distintas y sin ninguna relación física, pero que en proyección se vieran muy cercanas. Lambert y Mitchell, por medio de sencillas consideraciones probabilísticas, logran demostrar que la gran mayoría de las estrellas dobles visuales no se deben a coincidencias casuales de estrellas de campo en proyección, y por ende, que efectivamente son dobles físicas.

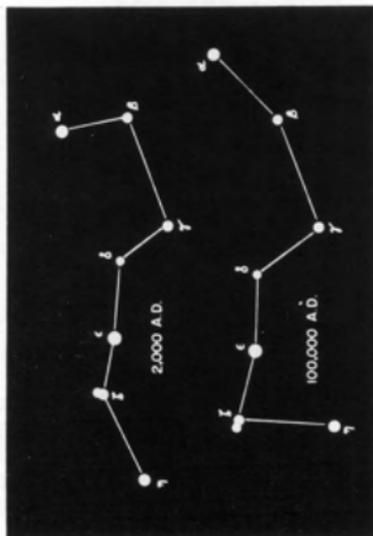
Sin embargo, y pese a los argumentos de Lambert y Mitchell, muchos astrónomos distinguidos continuaron dudando de la realidad de estos pares. W. Herschell, por ejemplo, pensaba que si resultaban de la superposición casual de las estrellas de campo, entonces sería posible detectar el reflejo del movimiento orbital de la Tierra alrededor del Sol (movimiento paralácti-



a) Las estrellas que definen la constelación han sido unidas por segmentos. (Norton Scientific.)



b) Una típica e imaginativa representación animal de esta constelación estelar. (Norton Scientific.)



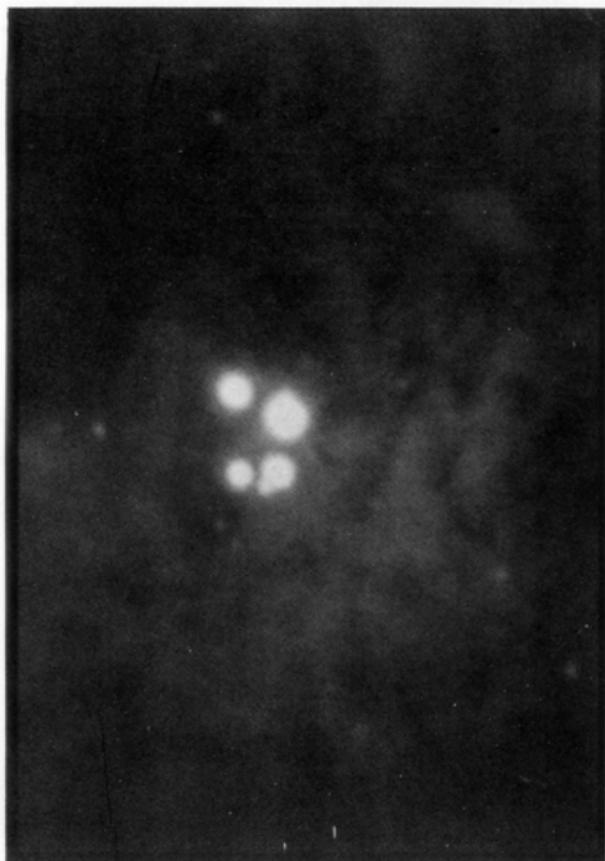
c) Algunas de las estrellas de esta constelación sí forman un verdadero enjambre estelar, el cúmulo de la Osa Mayor, cuyos componentes tienen un origen común y viajan juntas en el espacio. Nótese cómo al proyectar los movimientos de estas estrellas hacia el año 100000 A. D., conservan sus posiciones relativas, salvo las estrellas α y η , revelando así que no son miembros del cúmulo. (Norton Scientific.)



d) Mapa italiano ca. 1700 con las principales estrellas visibles y figuras mitológicas. (Norton Scientific.)

La Constelación de la Osa Mayor.

Figura. 2



El Trapecio de Orión inmerso en la nebulosa del mismo nombre. Esta estrella múltiple fue la primera en reconocerse como tal. (Foto: J. de la Herrán con el telescopio de 2 m del Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir.)

Figura. 3

co) midiendo a lo largo del año la separación entre ellas y su orientación relativa. Ello se debe a que la estrella más lejana (en general la más débil) prácticamente no se movería, en tanto que la más cercana (en general la más brillante), mostraría un desplazamiento respecto a la otra; la amplitud de este movimiento (medida en segundos de arco) sería inversamente proporcional a la distancia entre nosotros y la estrella. En una época en la que no se conocía la distancia a ninguna estrella más allá del Sol, el poder determinar por medios puramente geométricos la distancia a algunas estrellas era una necesidad apremiante a imperiosa para la astronomía. Se entiende así el interés de astrónomos muy distinguidos por observar estos pares de estrellas.

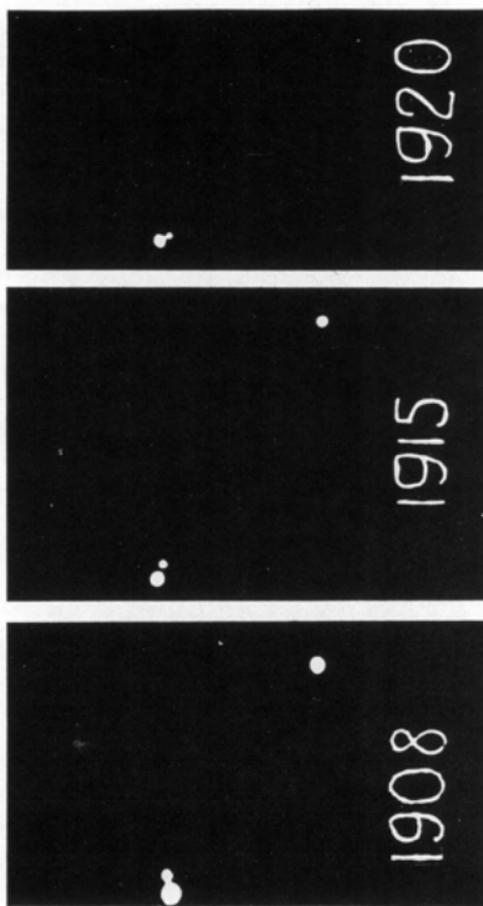
De particular importancia fue el programa de observación de W. Herschell, quien elaboró un catálogo de 700 estrellas dobles con mediciones de separaciones y orientaciones relativas, el cual se publicó en las *Philosophical Transactions* de 1782 y de 1785.

Hacia 1801, en una segunda serie de observaciones, Herschell encontró cambios en las posiciones de las estrellas, mas no los cambios paralácticos que esperaba, sino justo lo contrario: movimientos orbitales intrínsecos a los pares observados; *Castor* fue una de las estre-

llas que mejor mostraron el movimiento orbital. Este descubrimiento fundamental de Herschell fue leído en la Royal Society y publicado en las *Philosophical Transactions* de 1803 bajo el título “Relación de los cambios que han ocurrido en los últimos 25 años en las posiciones relativas de las estrellas dobles, con una investigación sobre la causa que los origina”. Según se cuenta, fue tan cuidadoso y exhaustivo el análisis de Herschell sobre todas las posibles causas de los movimientos observados en seis estrellas dobles, que al final de su comunicación no quedó la menor duda de que se había establecido, por fin, la existencia de estrellas verdaderamente dobles, las cuales giran alrededor del centro de masa común, y están ligadas por la fuerza de gravitación, tal como ocurre con los planetas alrededor del sol (ver Fig. 4).

Años más tarde, en 1812, Bessel encontró una estrella, hoy llamada *61 Cygni*, que mostraba claramente el movimiento paraláctico, y determinó así la primera distancia confiable a una estrella diferente del Sol.

Las estrellas dobles que hemos mencionado, esto es, las que se descubren y caracterizan por observación directa al telescopio, se conocen como estrellas dobles visuales (o múltiples, si son más de dos las estrellas visibles). Pero éste



La estrella doble Kruger 60, muestra claramente el movimiento orbital descubierta por primera vez por W. Herschell. Nótese que en el intervalo de 1908 a 1920 la compañera débil de este par ha recorrido aproximadamente un cuarto de revolución, de donde se sigue que su período aproximado es de unos 48 años. (Foto: Observatorio de Yerkes; U. de Chicago.)

Figura. 4

no es el único tipo de duplicidad que se conoce; en efecto, si la separación del par es pequeña, entonces la velocidad orbital de las estrellas es grande, lo cual es una consecuencia de la tercera ley de Kepler; ello permite reconocer la duplicidad por el desplazamiento periódico de las líneas espectrales de la estrella debido al efecto Doppler. Este efecto ocasiona que al acercarse a nosotros la estrella, sus líneas espectrales se corran hacia el violeta, en tanto que al alejarse se muevan al rojo. De este modo, algunas binarias que no se pueden separar visualmente pueden ser reconocidas como tales mediante el análisis espectral de su luz y de su variación en el tiempo: ellas son las binarias espectroscópicas. La primera que se identificó fue la compañera brillante de *Zeta Ursae Majoris* (*Mizar*), gracias al trabajo de Pickering en 1888.

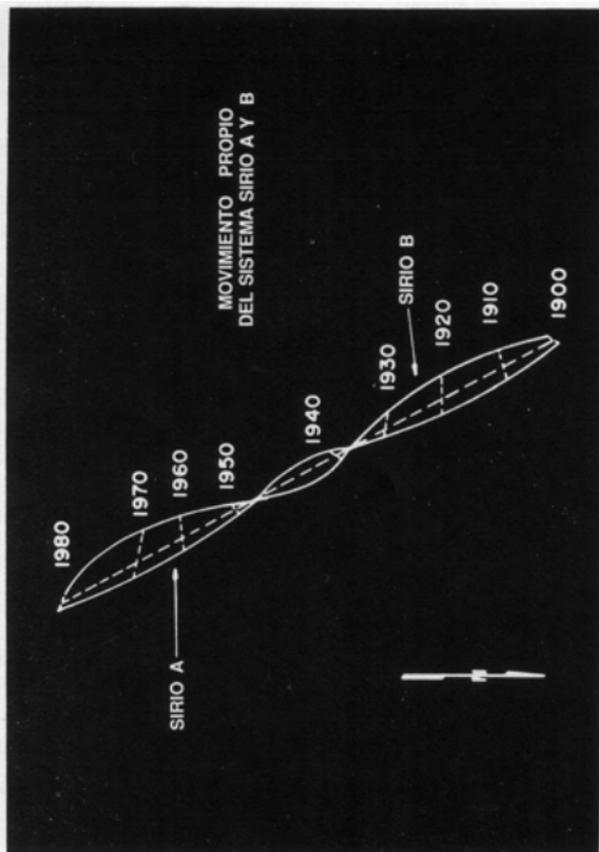
Otro tipo de duplicidad estelar se reconocía en la interpretación que J. Goodricke propuso para explicar los cambios periódicos de brillo de la estrella *Algol* (*Beta Persei*). Esta estrella fue observada como variable desde 1667 (por Montanari), y constituye la primera binaria fotométrica —o eclipsante— descubierta.

Según razonaba Goodricke, la variación periódica del brillo podría ser causada por gigantes manchas (parecidas a las manchas sola-

res) en la superficie de la estrella; si éste fuera el caso, el periodo observado representaría el periodo de rotación de *Algol*. La segunda interpretación de Goodricke se basaba en los eclipses que periódicamente veríamos de la estrella si tuviera un planeta gigantesco, cuya órbita pasara precisamente entre *Algol* y nosotros. Esta segunda interpretación no fue bien recibida al principio, pues ciertamente no se conocían planetas de las dimensiones requeridas (de hecho, está demostrado que no puede haber planetas de diámetro tan grande); sin embargo, una estrella menos brillante puede fácilmente producir, por eclipses, los cambios de luz observados. Muchos años después pudo comprobarse la teoría de los eclipses al observarse espectroscópicamente el movimiento orbital de *Algol* alrededor del centro de masa del sistema. Es curioso notar que la primera interpretación ofrecida por Goodricke, esto es, la existencia de manchas gigantes en las superficies estelares, también pudo ser válida; en efecto, en tiempos recientes se ha encontrado que la actividad solar se da en forma muy amplificada en una serie de estrellas relativamente jóvenes y de poca masa, en cuya superficie aparecen grandes manchas que modifican en forma casi periódica el brillo observado, al ir rotando la estrella respecto a nosotros.

Además de las estrellas dobles antes mencionadas, cabe citar las binarias astrométricas, de las cuales *Sirio* y *Procyon* son los casos prototipo. Al observar su desplazamiento por la bóveda celeste (sus movimientos propios), Bessel notó que no eran rectilíneos, sino ondulados, hecho que lo llevó a sugerir (como una aplicación de la primera ley de Newton) que las desviaciones eran producidas por un cuerpo oscuro o una estrella más débil que viajaba con la estrella observada. En otras palabras, propuso que en ambos casos se trataba de estrellas dobles, cuyas compañeras eran muy débiles para ser observadas con los instrumentos usados hasta entonces. Años más tarde, en 1862, A. C. Clarke encontró la compañera de *Sirio*, y en 1896 fue descubierta la compañera de *Procyon*. Con esta técnica se han descubierto muchas estrellas dobles, cuyas compañeras son demasiado débiles y poco masivas para ser observadas visual o espectroscópicamente. Hay que mencionar también que el estudio de los movimientos propios ofrece hasta ahora la mejor posibilidad de detectar planetas y sistemas planetarios alrededor de estrellas de pequeña masa (ver Fig. 5).

Otras binarias de particular interés para nosotros son aquellas con una gran separación



El movimiento de Sirio en la bóveda celeste no es una "línea recta" sino ondulada, revelando así la perturbación producida por su compañera Sirio B. En esta ilustración se exhiben los movimientos de ambas componentes.
(Foto: Norton Scientific.)

Figura. 5

angular (y también en kilómetros), al punto que al observarlas al telescopio se confunden con las demás estrellas de campo. La gran distancia entre ambas componentes implica que los periodos orbitales son también muy grandes, y por consiguiente el movimiento orbital resulta imperceptible. El prototipo de esta clase de binarias lo constituye el sistema *Alfa del Centauro*, formado por dos estrellas: la más brillante, la componente A, es una estrella casi idéntica al Sol, en tanto que la componente B es más fría y de menor masa. Este par de estrellas tiene una separación angular de unos 18 segundos de arco y un periodo orbital de 80 años. Se trata, pues, de un par visual bastante ordinario; sin embargo, en 1915, Innes descubrió una tercera componente muy débil (cien veces más débil que la más débil estrella visible a simple vista), a una separación angular de *Alfa Centauri* de 2.2 grados, o sea, a más de 4 diámetros aparentes de la Luna sobre la bóveda celeste. Claramente, esta compañera hubiera sido imposible de reconocer entre las miles de estrellas de ese brillo que se encuentran dentro de un radio de 2.2 grados alrededor de *Alfa Centauri* A y B; es tanto como tratar de encontrar una aguja en un pajar. ¿Cómo logró entonces Innes descubrir esta tercera componente? La respuesta es sencii-

lla: al comparar fotografías de la región en épocas separadas por varios años pudo notar que algunas estrellas se habían desplazado, o sea que mostraban un movimiento propio. Al medir los movimientos propios de las estrellas en el campo, pudo reconocer que *Alfa Centauri A* y *B* se movían en la bóveda celeste con la misma velocidad y en la misma dirección que una débil estrella situada a 2.2 grados de separación de ellas. Más tarde, cuando se determinó la distancia entre nosotros y la tercera componente por medio de su movimiento paraláctico (esto es, por simple triangulación, en donde la base del triángulo es el diámetro de la órbita terrestre alrededor del Sol), se vio que esta tercera estrella se encuentra prácticamente a la misma distancia de nosotros que *Alfa Centauri A* y *B*. De hecho, la tercera componente es, entre todas las conocidas, la estrella más cercana a nosotros, y por eso se le bautizó con el nombre de *Proxima*. La separación angular de 2.2 grados combinada con la distancia determinada por triangulación nos da una separación entre las componentes del par de más de 12000 unidades astronómicas (una unidad astronómica es igual la distancia media entre la Tierra y el Sol). Las estrellas binarias descubiertas por este método se conocen como “pares de movimiento propio común”. El

astrónomo W. Luyten ha dedicado un tremendo esfuerzo a buscar este tipo de binarias, y ha registrado miles de ellas, particularmente entre las estrellas más débiles. La variedad de tipos de binarias que hemos visto responde principalmente a la técnica usada para descubrirlas y observarlas. Cabría preguntarse si desde el punto de vista cosmogónico o genético son todas intrínsecamente diferentes o iguales. La respuesta es que parece haber dos grupos genéticamente distintos, los cuales suelen llamarse:

- a. dobles o múltiples de condensaciones independientes;
- b. dobles de fisión.

El primer grupo corresponde a binarias (o múltiples) que se formaron como núcleos de condensaciones dentro de la nube materna de gas y polvo que les dio origen. Como la nube materna estaba en equilibrio o en contracción, y por ende, gravitatoriamente ligada, el sistema de condensaciones —y las estrellas que resultaran de ellas— también estarán ligadas. Así, el resultado natural de la evolución de una nube que se condensa en estrellas es un sistema doble o múltiple; en este último caso, debido a la geometría del problema, las separaciones entre

las componentes son comparables, es decir, estamos ante un sistema tipo trapecio.

Por otra parte, la contracción gravitatoria de cada condensación tiende a hacer que éstas roten más y más rápido (por la conservación del momento angular), hasta que la condensación se divida en dos fragmentos (pares de fisión), o se produzca un disco de material rotando a gran velocidad; este disco permite que la parte central de la condensación, ya liberada de la mayor parte de su momento angular, continúe su contracción hasta producir una estrella normal.

El disco, por su parte, tiende a producir nuevas condensaciones, cuya masa es, en general, una fracción grande de la masa de aquél, y que por tanto, tiende a parecerse a la masa de la condensación central. Si el disco llega a fragmentarse en muchos pedazos, entonces se producirá un sistema planetario.

Los dos esquemas descritos producen masas y separaciones diferentes. Esto ha sido verificado en una investigación ya clásica por Abt y Levy, quienes encuentran que las componentes de las estrellas binarias con periodos mayores que 100 años tienen una distribución de masas como la de las estrellas de campo, mientras que las binarias de periodos menores tienen otra muy diferente.

Los dos tipos de binarias corresponden aproximadamente a las binarias visuales y de movimiento propio común, por un lado, y a las espectroscópicas y astrométricas, por el otro.

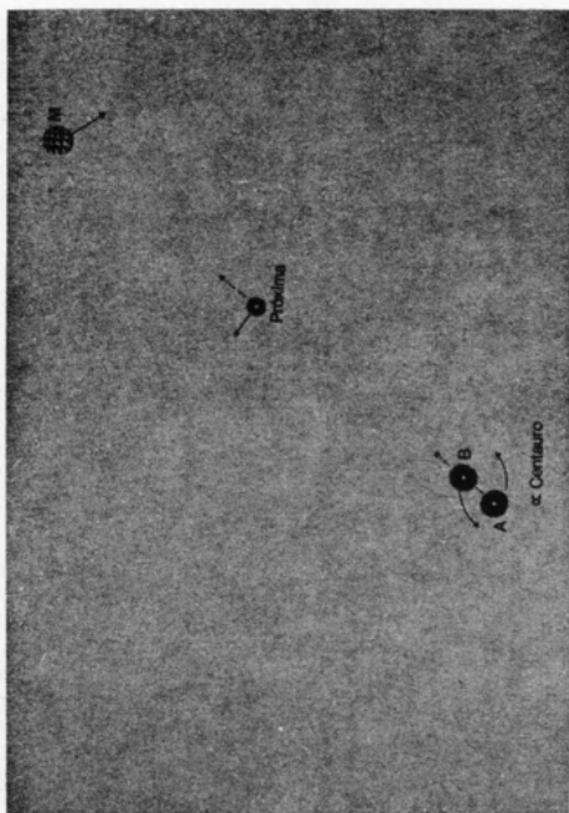
Los pares de movimiento propio común son valiosos para entender la evolución de los pares más separados, en particular, en lo concerniente a su disociación por las perturbaciones gravitatorias que experimentan en sus encuentros con otras estrellas; con las grandes nubes de gas y polvo que pueblan el disco de la galaxia, o quizá con concentraciones de masa de naturaleza aún desconocida.

Con el objeto de estudiar el fenómeno de destrucción de pares, escogimos una muestra de binarias en el entorno solar, procurando que esta muestra fuera lo más completa y representativa posible, y que no estuviera sesgada en favor de binarias jóvenes o viejas. La mejor muestra que se puede seleccionar está compuesta por todas las binarias contenidas en el catálogo de W. Gliese, y que se encuentren más cerca del Sol que 12.5 parsecs (un parsec es igual a 3.27 años-luz, o sea, a 3×10^{16} m). Hay 116 estrellas dobles dentro de este volumen. Para nuestros propósitos, una triple como el sistema *Alfa Centauri* cuenta como dos dobles: una doble es el par A-B y la otra lo constituye el par AB-*Proxima*.

La disociación de las estrellas binarias es una consecuencia de los “tirones” gravitatorios que experimentan los miembros del par al pasar por la cercanía de otra estrella o de una gran nube de gas.

Tomemos por ejemplo hipotético la estrella *Alfa Centauri* (ver Fig. 6): la atracción gravitatoria que ejerce la masa M sobre *Proxima* es mayor que la que ejerce sobre el par AB (por estar *Proxima*, en este particular encuentro, más cercana a la masa M). Como resultado de esta atracción diferencial, *Proxima* tiende a desplazarse hacia la masa M con mayor velocidad que AB. El efecto neto es que AB y *Proxima* tienden a separarse. No todos los encuentros entre el sistema *Alfa Centauri* y las masas perturbadoras tienen un efecto tan marcado como el que se muestra en la figura, pero a lo largo del tiempo, el efecto acumulativo de los encuentros tiende a aumentar la separación y, finalmente, a producir la ruptura del par; a partir de este momento, ambas componentes se alejan indefinidamente hasta que, ahora sí, resultan irreconocibles aun para “el ojo entrenado y escudriñador” de W. Luyten.

El proceso de disociación que hemos ejemplificado con el sistema *Alfa Centauri* actúa tanto en el caso de pares solos como, en general, en



La perturbación de *Proxima* por el paso de una masa *M*. Nótese que por la proximidad de *M* a *Proxima*, esta componente del Sistema α del *Centiauro* experimenta un tirón gravitacional más intenso que los componentes *A* y *B*; en el centro de gravedad de este sistema aparece una fuerza de marea que tiende a separar a *Proxima*. El efecto acumulado de una larga serie de perturbaciones tiende a alejar a *Proxima* de α del *Centiauro*, esto es, a disociar al Sistema Triple.

Figura. 6

sistemas de multiplicidad mayor; la velocidad de destrucción de un par será mayor cuanto mayor sea la masa perturbadora M , y cuanto mayor sea la separación del par. En otras palabras, a mayor separación, menor es la energía gravitatoria que mantiene ligado al par, y por lo tanto más fácil es romperlo en unos cuantos encuentros.

Por lo anterior, uno esperaría que la distribución de separaciones de los pares dependiera del tiempo que llevan de sufrir perturbaciones, esto es, de su edad. La búsqueda del efecto de disolución en las binarias del entorno solar ha requerido la determinación de las edades de estas estrellas, tarea nada fácil en general, pero alguna idea se puede tener de ellas por medio de sus características espectrales, o por su comportamiento explosivo, o bien por sus movimientos en el espacio. Se sabe, por ejemplo, que las estrellas que muestran ráfagas en su brillo, o aquellas en cuyos espectros aparecen las líneas del hidrógeno en emisión (en la mayor parte de las estrellas “normales” las líneas aparecen en absorción) son, en general, estrellas más jóvenes que el Sol. Por otra parte, el movimiento espacial de algunas binarias muestra que forman parte de grupos de estrellas muy extendidos en el espacio pero que se formaron al mismo tiempo. Entonces es posible determinar la edad de

la binaria en cuestión, si alguna estrella del grupo tiene características que permitan establecer su edad, y por tanto, la de todas las estrellas del grupo. Con los criterios anteriores ha sido posible clasificar las 116 binarias en el entorno solar en dos grupos de edades: a) las jóvenes y b) las viejas. Por medio de sus velocidades espaciales es posible estimar la edad del grupo de binarias jóvenes; así, encontramos que la edad media del grupo es de unos 3500 millones de años. Para propósitos de comparación, recordemos que la edad del Sol y de los planetas es de 4500 millones de años. La edad de las binarias viejas, determinadas por el mismo método, es de aproximadamente el doble de la de las jóvenes, esto es, de unos 7000 millones de años.

Una vez clasificadas las binarias en dos grupos de edad, podemos investigar si hay alguna diferencia en las separaciones de las jóvenes comparadas con las de las viejas. La respuesta, como es de esperarse por las consideraciones anteriores, es afirmativa y clara: las binarias jóvenes exhiben separaciones mayores que las binarias viejas. En la tabla se muestra un resumen de los resultados: en la primera columna tenemos las separaciones S de las binarias, en unidades astronómicas (UA); en la segunda columna listamos los números $N(S)$ de las binarias

S(UA)	N(S)J	N(S)V
25	12	22
50	18	34
100	20	44
200	25	53
400	26	61
800	31	65
1 600	32	72
3 200	34	74
6 400	35	76
25 600	37	76
102 400	39	76
204 800	40	76

Tabla 1. Distribución acumulativa de las separaciones de las 40 binarias jóvenes N(S)J y de las 76 viejas N(S)V conocidas y más cercanas al Sol que 41 años-luz. Los datos individuales de las binarias muestran que las jóvenes tienen separaciones de hasta 187 000 UA, en tanto que las viejas solamente de hasta 4 000 UA.

jóvenes con separaciones menores o iguales que el valor correspondiente de S ; y en la tercera columna, $N(S)$, o sea, el número de binarias viejas con separaciones menores o iguales que S .

De la inspección de esta tabla vemos, por ejemplo, que dos tercios (26) de las binarias jóvenes tienen separaciones menores que 400 UA, en tanto que dos tercios (51) de las binarias viejas tienen separaciones menores que 100 UA. También podemos preguntarnos cuál es el valor que contiene el 90% de las separaciones. Vemos en la tabla que el 90% de las jóvenes tienen separaciones menores o iguales que 6400 UA, en tanto que el 90% de las viejas tienen separaciones menores que unas 1000 UA. Finalmente, podemos ver de la tabla que entre las binarias jóvenes hay algunas con separaciones mayores de 100000 UA, en tanto que entre las viejas no hay ninguna con separación mayor que 6400 UA.

Los resultados anteriores muestran claramente el efecto de la destrucción de binarias con el transcurso del tiempo: al pasar de 3500 millones de años (la edad de las jóvenes) a 7000 millones de años (la edad de las viejas) notamos que las binarias más separadas, y por lo tanto más débilmente ligadas, ya han desaparecido o han sido muy mermadas entre la población de estrellas viejas, en comparación con las jóvenes.

En conclusión, el efecto disociativo de los encuentros de los sistemas binarios y múltiples con las estrellas y con otras concentraciones de masa nos muestra que las estrellas, a medida que envejecen, pierden a sus compañeras con excepción de aquellas que, por haber nacido de la misma condensación a través de la fisión, tienen separaciones pequeñas y fuertes energías de amarre.

Nuestro sistema solar, que se encuentra rodeado por una extensa nube de cometas, acabará por perderlos a causa del mismo efecto disociativo. Por la misma razón, *Némesis*, la hipotética compañera del Sol, de haber existido, no pudo habernos acompañado durante mucho tiempo.

CONTESTACIÓN
POR EL SEÑOR MARCOS MOSHINSKY

Nos encontramos hoy reunidos con el propósito de recibir al doctor Arcadio Poveda Ricalde como miembro de El Colegio Nacional. Antes de comentar su obra y, en particular, la interesante plática que acabamos de escuchar, vale la pena reflexionar un poco sobre la actividad a la que el doctor Poveda ha dedicado tantos años de labor.

La astronomía bien podría calificarse como la madre de todas las ciencias. Su origen seguramente data de la prehistoria. Pero fueron dos civilizaciones que se desarrollaron en parajes desérticos, la mesopotámica y la egipcia, las que nos legaron los primeros conocimientos, preservados por escrito, sobre estos temas.

Uno bien puede imaginar el asombro de los observadores, en las noches claras junto al Tigris o el Nilo, ante la regularidad del desplazamiento de las estrellas y la constante relación que mantenían entre sí, excepto por el movimiento de unos cuantos vagabundos, como

desde esa lejana época se denominaba a los planetas. Debemos estar agradecidos a las condiciones climáticas especiales que permitieron esas excelentes observaciones iniciales, ya que en una atmósfera como la que hoy tenemos en la Ciudad de México, la astronomía hubiera tenido que limitarse al estudio del Sol y de la Luna.

Pronto la regularidad de los cambios en la bóveda celeste permitió la medición sistemática del tiempo y, en particular, determinar el cambio anual en las estaciones, tan fundamental para la agricultura de todas las civilizaciones, incluyendo las mesoamericanas.

Con los griegos, la astronomía se vuelve un acicate para las demás ciencias y en particular para las matemáticas, y las órbitas de los planetas, aunque dentro de una visión errada en donde la Tierra era el centro del Universo, se describen con gran precisión con ayuda de ciclos y epiciclos. Aparecen también algunas hipótesis heliocéntricas y las primeras estimaciones del tamaño de la tierra y de su distancia a la Luna y el Sol, que permiten vislumbrar la inmensidad de nuestro Universo.

Poco agrega a ese progreso el imperio romano y la Edad Media en Europa, aunque en la periferia de ese continente los árabes rescatan del olvido a mucho de lo que la cultura griega

creó en todos los campos pero, en particular, el de la astronomía.

Es en los siglos XVI y XVII en donde la astronomía da el gran salto hacia la modernidad, para emplear la palabra que está hoy de moda. Los nombres de Copérnico, Kepler, Galileo, que culminan con Newton, representan a los padres no sólo de esa disciplina, sino de todo el enfoque que hoy caracterizamos con el nombre de ciencia.

No es posible resumir los avances de la astronomía a partir de la época que acabo de mencionar, pero sí se puede afirmar que, a finales del siglo XX, su papel de vanguardia sigue vigente. Basta citar la observación de la radiación residual de la gran explosión que originó el Universo, a los agujeros negros y su relación con la relatividad general y la mecánica cuántica, o a la íntima interacción entre nuestras ideas sobre las partículas elementales y los modelos cosmológicos. Aun el lego de conocimientos científicos siente más la atracción de la astronomía que la de otras disciplinas. Como ejemplo mencionaré que hace unos meses, al anunciarse una conferencia de divulgación de Hawking sobre ese tema en Barcelona, el auditorio, con capacidad de 400 personas, resultó insuficiente porque se presentaron cerca de 4000.

La introducción anterior tiene el propósito de hacerles patente la importancia de que en una institución como El Colegio Nacional esté representada la astronomía. Durante décadas desempeñó este papel nuestro muy estimado colega el doctor Guillermo Haro, al que todavía debemos una sesión solemne para honrar su extraordinaria labor, tanto en su especialidad como en relación al progreso de la ciencia en México. Hoy tenemos la oportunidad de recibir en este recinto a otro especialista en esa rama del conocimiento, el doctor Arcadio Poveda Ricalde.

La labor de Arcadio, como lo denominaré en adelante dados nuestros muchos años de amistad, puede dividirse en cuatro partes: 1) *el astrofísico*, 2) *el promotor de la astronomía en México*, 3) *su labor de divulgación en esa ciencia* 4) *su impulso al desarrollo de la investigación en nuestro país*. Discutiré esos aspectos en el orden en que se mencionan.

El astrofísico

Arcadio, originario de Mérida, Yucatán, realizó allí sus estudios preuniversitarios para continuarlos dentro de la carrera de físico en la

Facultad de Ciencias de la UNAM de 1948-1951. Desconozco las razones que le impulsaron a escoger la astronomía como el tema de sus estudios posteriores en Berkeley, donde se doctoró en 1956, pero seguramente esto ocurrió temprano en su vida ya que a los 21 años tiene su primera publicación en esa rama de la ciencia.

Después de algunos trabajos sobre los campos magnéticos de las estrellas y sobre el medio interestelar, se concentra por algunos años en desarrollar un método para determinar las masas de galaxias esféricas y elipsoidales. Éstas se mantienen en equilibrio porque la energía cinética de sus estrellas compensa la atracción gravitatoria de las mismas. De la distribución de velocidades de las estrellas en la galaxia, Arcadio derivó un procedimiento, denominado hoy en día “Método de Poveda”, para determinar la masa total de la galaxia. La fórmula sigue siendo utilizada actualmente, a 30 años de su publicación inicial.

La aplicación de su método llevó a Arcadio en 1961 al descubrimiento de una relación entre la masa de un sistema estelar y su luminosidad total. Esta relación abarca desde cúmulos globulares hasta cúmulos de galaxias, con una variación del orden 10^{10} en el número de estrellas que contienen. La importancia de esta relación

se acentúa ante el problema de la masa invisible que parece dominar la dinámica del universo.

Otra aportación de Arcadio se relaciona con las supernovas. Para las pocas personas del auditorio que no conocen el término, su significado es el de estrellas que, al final de sus vidas, se autodestruyen en una gigantesca explosión. Las teorías en boga en la década de los sesentas presuponían que esas estrellas se deshacían de casi toda su masa, pero los trabajos de Arcadio mostraron que la masa eyectada en la explosión es de unos décimos de la masa solar y la energía visible liberada (óptica, térmica y mecánica) es de cien a mil veces menor de lo que se suponía, sin dejar por ello de ser uno de los eventos más espectaculares que puede verse en el cielo.

Las características del remanente gaseoso de la supernova fueron también analizadas por Arcadio así como un esquema evolutivo para las estrellas recién nacidas. Hemos escuchado el relato de Arcadio, que al conciliar la teoría de la contracción gravitacional con las observaciones sobre los brillos de las estrellas jóvenes, predice que éstos serían más intensos en el infrarrojo que en el visible. Motiva así el nacimiento de una importante rama de la astronomía moderna, que es el estudio de las envoltentes gaseo-

sas y polvosas en las estrellas jóvenes y su observación en el infrarrojo y en radio-frecuencia. En los problemas mencionados las radiaciones observadas en el espectro de rayos X, infrarrojos o radio-frecuencia, han corroborado los aspectos que Arcadio enfatizó en estos procesos.

Figuran también sus estudios sobre el origen dinámico de estrellas masivas de alta velocidad conocidas como estrellas desbocadas, así como sobre la función de luminosidad estelar en el cual se da una novedosa interpretación a su máximo como correspondiente a la masa estelar más pequeña que puede sostener la fusión del hidrógeno.

La línea de investigación en que Arcadio continúa trabajando actualmente con su esposa Christine Allen, concierne a las estrellas dobles y múltiples. Inicialmente mostraron que, contrario a lo que se creía, los sistemas múltiples tipo trapecio no se encuentran en expansión sino en un estado de equilibrio dinámico, en el que sólo ocasionalmente se escapa una estrella. La vida media de estos sistemas múltiples es pues comparable a la vida nuclear individual de sus estrellas y muy superior a las edades citadas normalmente en la literatura. Por otra parte, del análisis estadístico de la multiplicidad estelar como función de su brillo aparente, se concluye

que la estrella típica es en realidad triple o cuádruple, aunque la mayor parte de sus compañeras permanecen aún sin descubrir, pues sólo pueden observarse por medio de técnicas muy refinadas.

Arcadio y Christine han analizado también la interacción gravitatoria de las estrellas dobles vecinas al Sol con las nubes moleculares y los efectos de disociación que propician estas últimas. Asimismo han estudiado las características del halo de nuestra galaxia que se extiende hasta una distancia de 325 000 años luz y contiene alrededor de 10^{12} masas solares.

La colaboración de Arcadio y Christine muestra que ellos, como las estrellas, no viajan solos.

El promotor de la astronomía en México

Los candidatos a miembros de El Colegio Nacional son juzgados no sólo por sus aportaciones científicas, sino también por el impulso que han dado en México a las actividades en su especialidad, como ilustra la figura señera del doctor Ignacio Chávez. En este aspecto la labor de Arcadio tiene un brillo de primera magnitud. Como director del Instituto de Astronomía de la UNAM, impulsó notablemente no sólo la astro-

nomía teórica y observacional, sino también la investigación y el desarrollo instrumental como una alternativa viable y necesaria para el progreso de la investigación astronómica. Basta hoy en día pasear por el amplio edificio que alberga al Instituto para notar el cambio con los dos pisos de la Torre de la Ciencia, en donde se encontraba cuando él tomó posesión de la dirección. Más importante es el nivel de la investigación que se realiza allí, que lo caracteriza como uno de los mejores centros científicos de la UNAM, a la altura de lo bueno que hay en cualquier parte del mundo.

Desde luego el mayor orgullo de Arcadio en esta labor de promoción, fue la creación del Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir. Todos los que lo hemos visitado lo recordamos con profunda admiración. Construir una instalación científica de esa magnitud, venciendo los obstáculos de la naturaleza, representa la culminación de un extraordinario esfuerzo. Se agrega a la belleza del lugar donde está instalado, las condiciones excepcionales para la observación astronómica y la dedicación de todos los que trabajan allí. Además el grupo de apoyo al observatorio en Ensenada, se convirtió en el núcleo de la muy activa investigación científica que hoy en día se centra en esa ciudad.

Labor de divulgación de la astronomía

Arcadio se ha distinguido también por su labor de divulgación y docencia. En la primera sus publicaciones y conferencias exceden al centenar. Con Christine Allen y José de la Herrán establecieron desde 1979 en la revista *Ciencia y Desarrollo* la sección permanente “Descubriendo al Universo”.

En la docencia su labor continuada de varias décadas, y las tesis que dirigió, contribuyeron a la formación de muchos de los que hoy son científicos distinguidos dentro y fuera de la astronomía.

Impulsor del progreso científico

Además de sus muchas contribuciones a la investigación, promoción y difusión de la astronomía, una de las labores más relevantes de Arcadio ha sido su impulso al desarrollo científico en general.

Fue co-promotor y co-fundador del Centro de Investigación Científica y Educación Superior (CICESE) de Ensenada, del Centro de Investigación en Óptica (CIO) en León y del Centro de Tecnología Electrónica e Informática (CETEI) en

México, D. F., asimismo fungió como Coordinador de la Investigación Científica de la UNAM en 1985-1987 y director (1981-1982) del Centro de Investigación de Física y Matemáticas Aplicadas (CIFMO).

Es claro que por su amplia gama de méritos, el doctor Arcadio Poveda Ricalde representa una adquisición valiosa para El Colegio Nacional y me uno a las palabras de bienvenida del presidente en turno, doctor Casas Campillo, al expresar el beneplácito por su entrada a nuestra Institución.

ÍNDICE

Presentación, por el doctor Carlos Casas-Campillo.....	7
Estrellas dobles y múltiples: cosmogonía y evolución.....	15
Contestación, por el doctor Marcos Moshinsky.....	49

Se terminó de imprimir el 30 de agosto de 2013 en los talleres de Impresos Chávez de la Cruz, S. A. de C. V., Valdivia 31, Col. Ma. del Carmen, C. P. 03540, México, D. F. Tel. 5539 5108. En su composición se usó el tipo Garamond de 10.5:12.5, 9.5:12.5 y 8.5:10.5 puntos. La edición consta de 1000 ejemplares. Captura: Ma. Elena Pablo Jaimes. Composición de textos: Rebeca Rodríguez Jaimes y Laura Eugenia Chávez Doria. Editor: Hildebrando Jaimes Acuña.