

Doctor Arcadio Poveda Ricalde.

ESTRELLAS DOBLES Y MÚLTIPLES: COSMOGONÍA Y EVOLUCIÓN*

Arcadio POVEDA RICALDE
Miembro de El Colegio Nacional

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

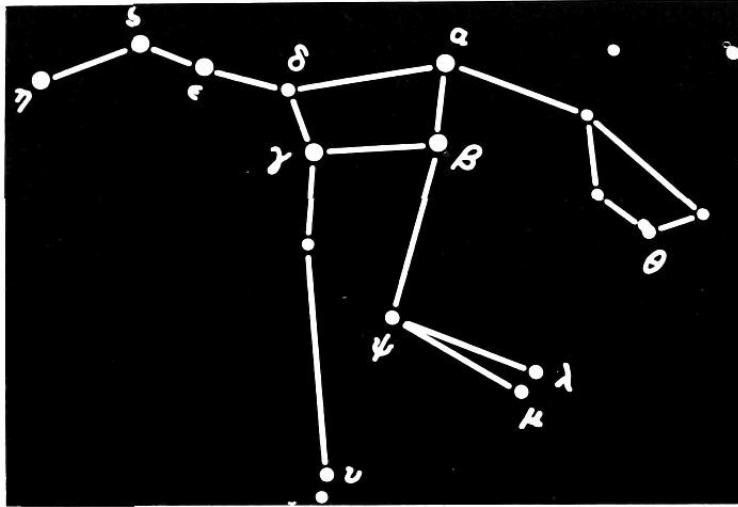
* Conferencia inaugural en El Colegio Nacional, 1990.

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 pre-estelar, 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: las observaciones del gas que rodea a las estrellas jóvenes indican que



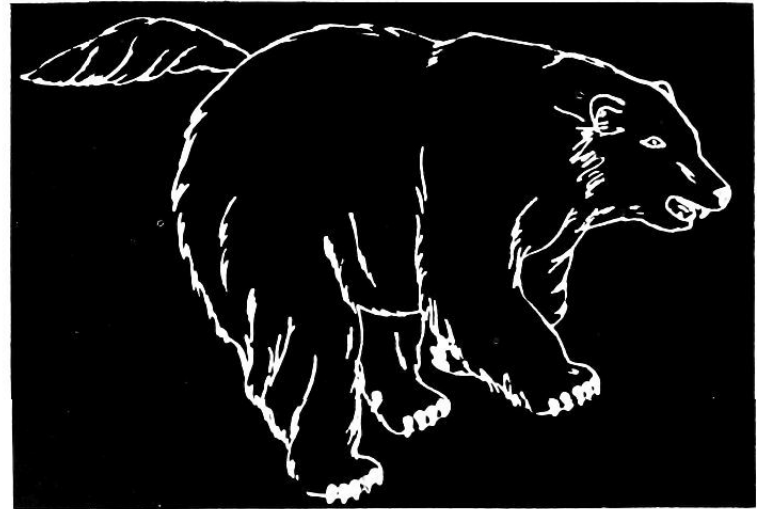
R. Monocerotis y la nebulosa variable de Hubble. Esta nebulosa de forma cometaaria tiene la peculiaridad de ser variable, según lo demostró E. Hubbe; en el vértice se encuentra la estrella, también variable irregular, *R. Monocerotis*. Esta estrella es unas 30 veces más luminosa en el infrarrojo que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

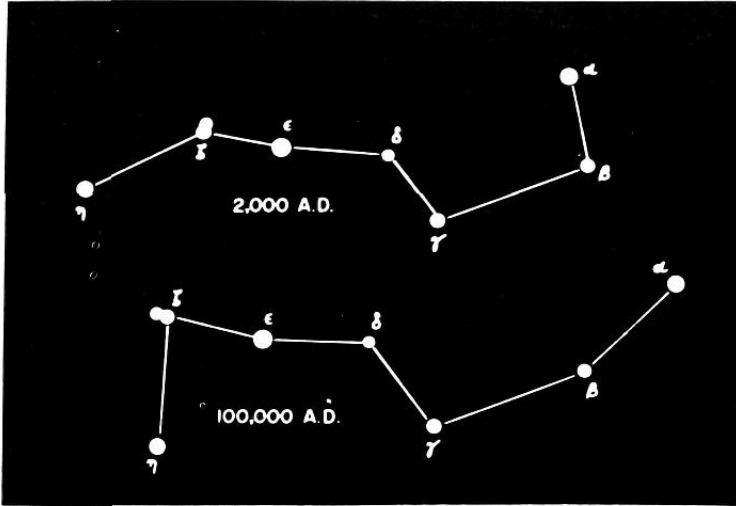
Figura. 1



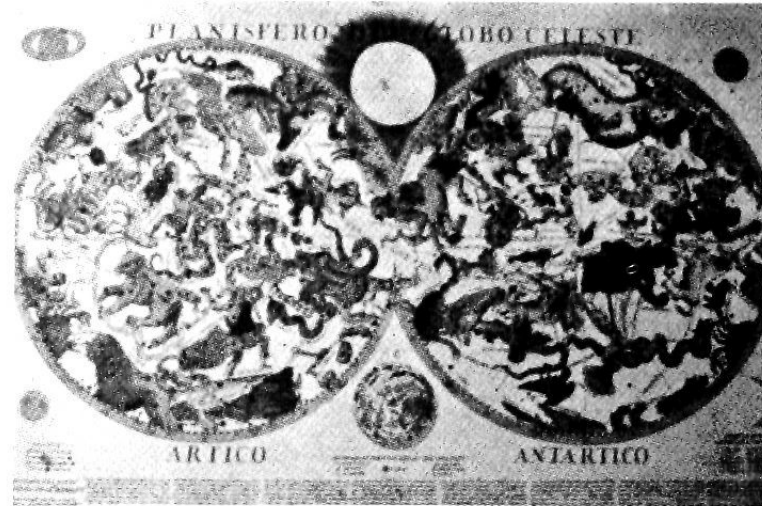
a) Las estrellas que definen la constelación han sido unidas por segmentos. (Norton Scientific.)

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





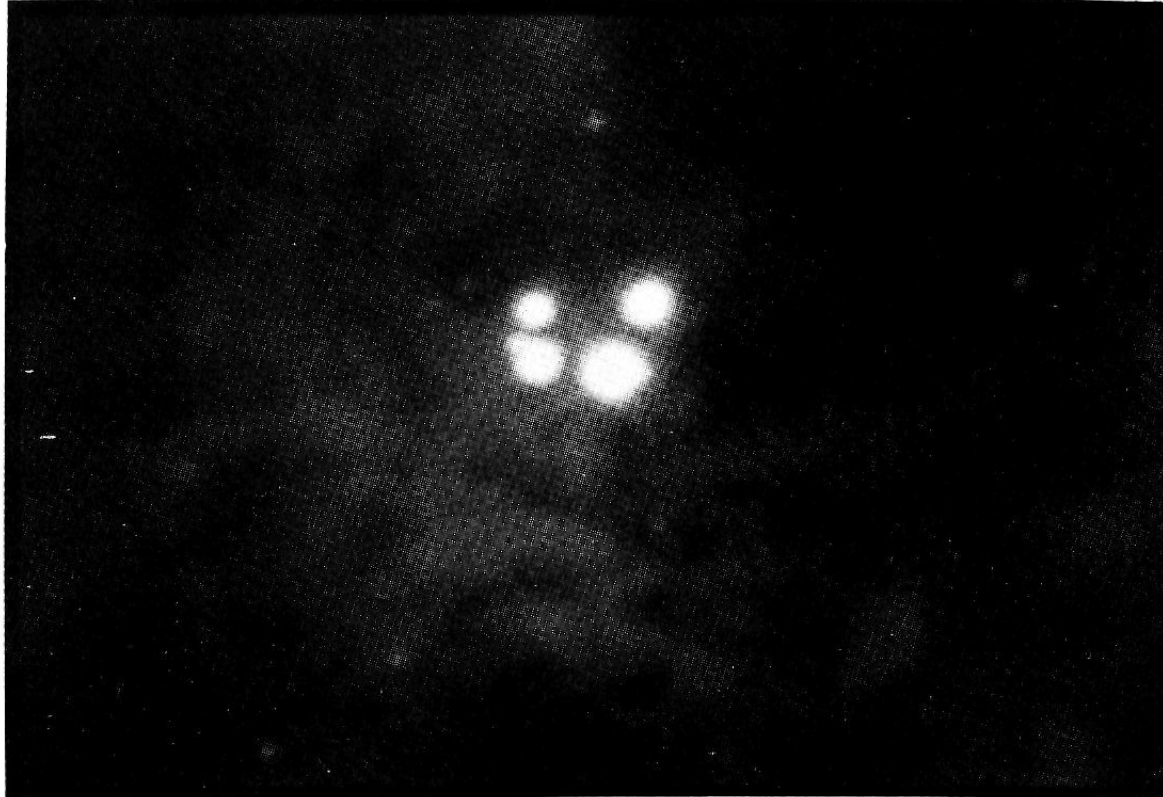
c) Algunas de las estrellas de esta constelación sí forman un verdadero enjambre estelar, el cúmulo de la Osa Mayor, cuyos componentes tienen un origen común y viajan juntas en el espacio. Nótese cómo al proyectar los movimientos de estas estrellas hacia el año 100 000 A. D., conservan sus posiciones 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.)

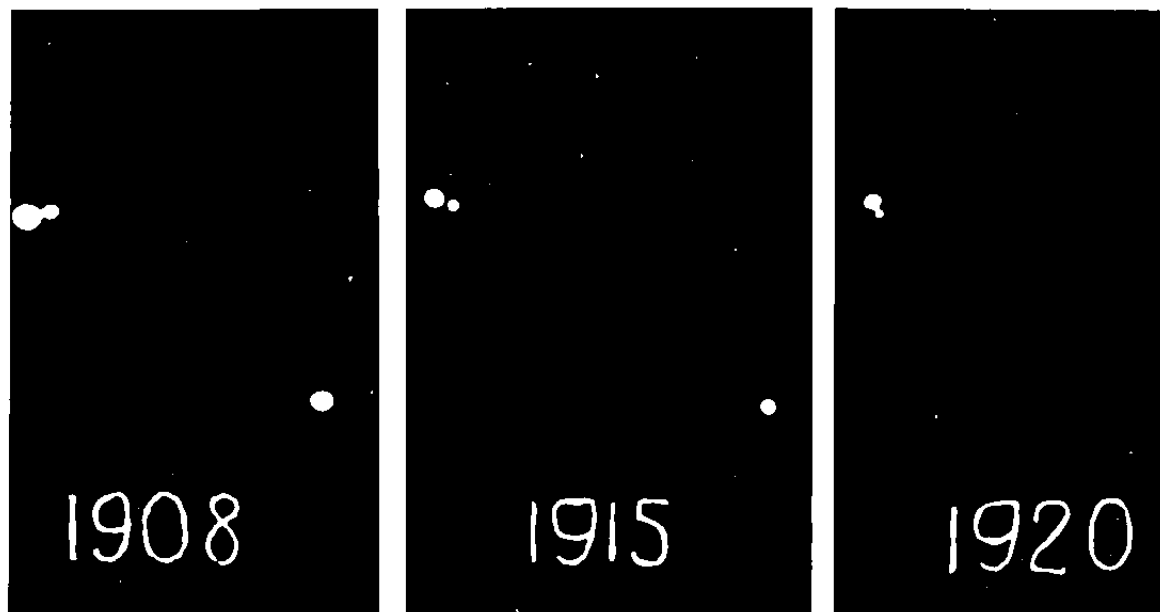
La Constelación de la Osa Mayor.

Figura. 2



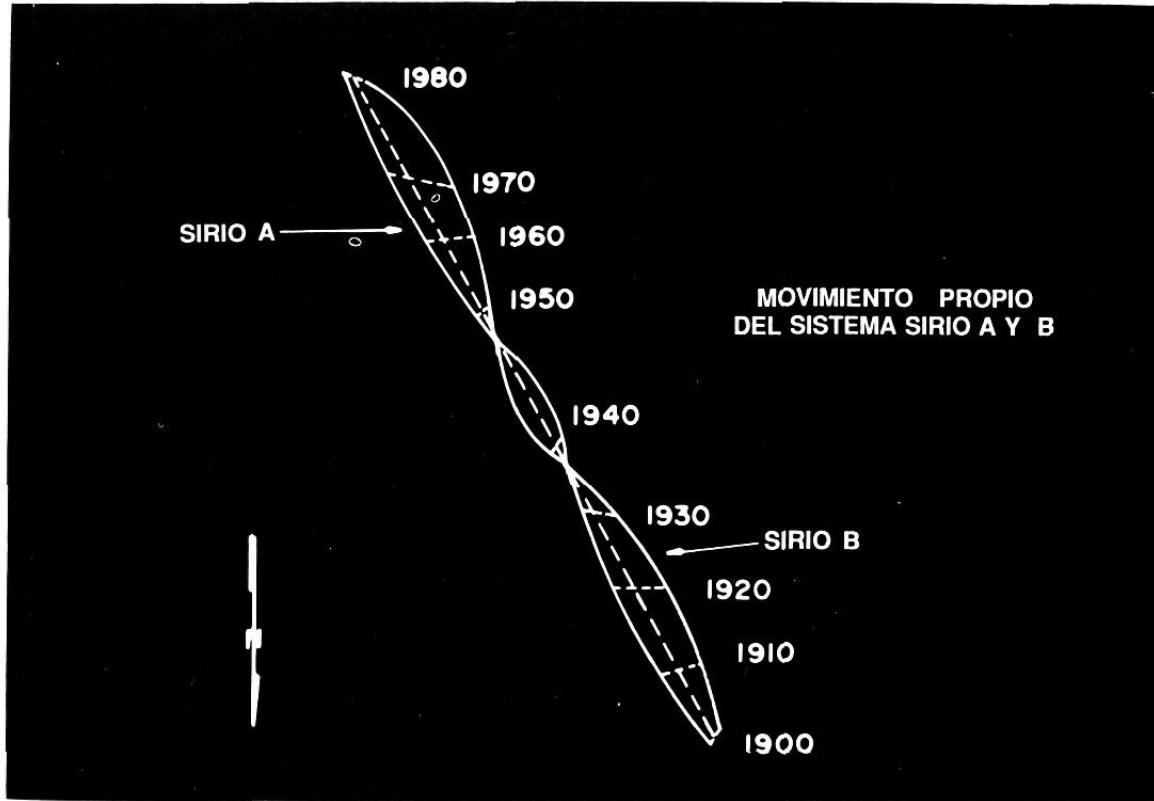
El Trapecio de Orión inmerso en la nebulosa del mismo nombre. Esta estrella múltiple fue la primera en reconocerse como tal. (Foto: J. de la Herrán con el telescopio de 2 m del Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir.)

Figura. 3



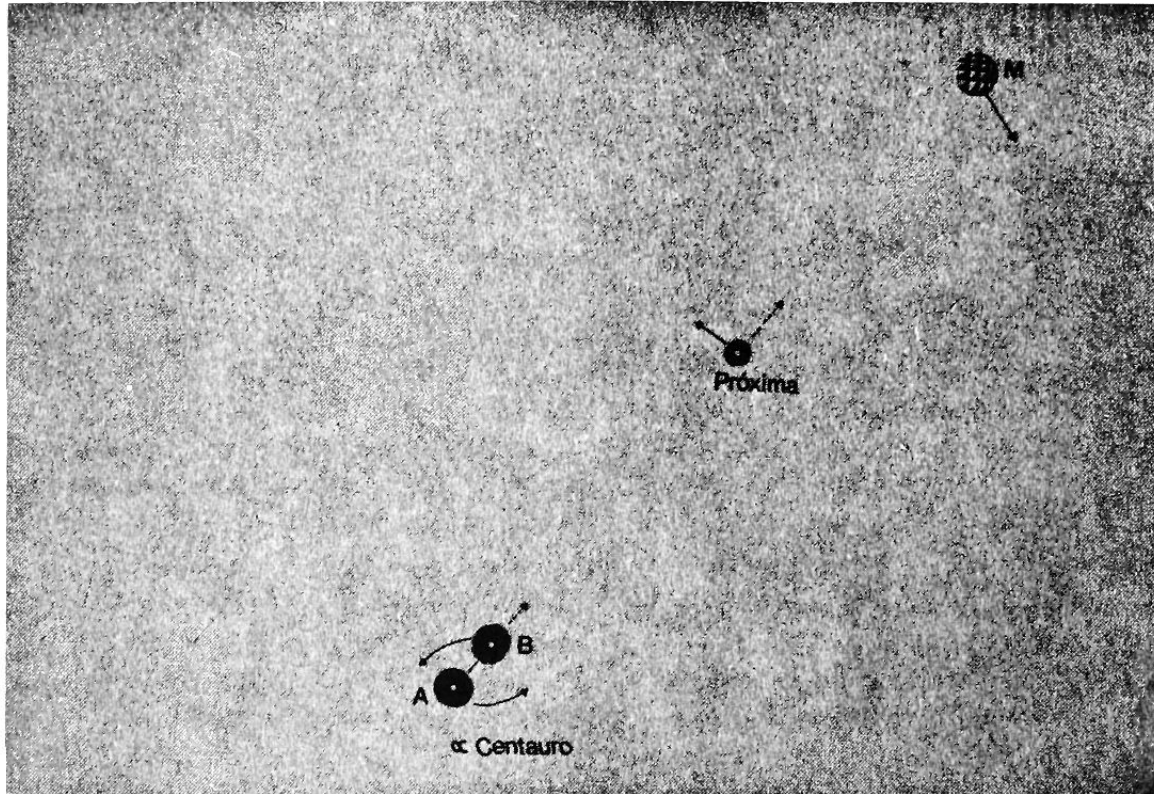
La estrella doble Kruger 60, muestra claramente el movimiento orbital descubierto por primera vez por W. Herschel. Nótese que en el intervalo de 1908 a 1920 la compañera débil de este par ha recorrido aproximadamente un cuarto de revolución, de donde se sigue que su periodo aproximado es de unos 48 años.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

Figura. 4



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



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 *Centaurus* 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 *Centaurus*, esto es, a disociar al Sistema Triple.

Figura. 6

| 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.

éste no parece estar cayendo hacia ellas, sino al contrario, está alejándose, como si en lugar de contraerse las estrellas estuvieran expandiéndose. Este 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 incursionado 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 laborado 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 paraláctico) 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 estrellas 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 estrella visibles). Pero éste 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 gigantescas manchas (parecidas a las manchas solares) 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 gigantescas 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 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 sencilla: 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 12 000 unidades astronómicas (una unidad astronómica es igual a 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 cosmológico 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 3×10^5 cm.). 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 cumulativo 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 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 3 500 millones de años. Para propósitos de comparación, recordemos que la edad del Sol y de los planetas es de 4 500 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 7 000 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 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 6 400 UA, en tanto que el 90% de las viejas tienen separaciones menores que unas 1 000 UA. Finalmente, podemos ver de la tabla que entre las binarias jóvenes hay algunas con separaciones mayores de 100 000 UA, en tanto que entre las viejas no hay ninguna con separación mayor que 6 400 UA.

Los resultados anteriores muestran claramente el efecto de la destrucción de binarias con el transcurso del tiempo: al pasar de 3 500 millones de años (la edad de las jóvenes) a 7 000 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.

