

REVISTA ASTRONOMICA



OCTUBRE
DICIEMBRE
1981
N° 219

... Cuanto más comprensible parece el Universo, tanto más sin sentido parece también

Pero si no hay alivio en los frutos de nuestra investigación, hay al menos algún consuelo en la investigación misma. Los hombres no se contentan con consolarse mediante cuentos de dioses y gigantes, o limitando sus pensamientos a los asuntos cotidianos de la vida. También construyen telescopios, satélites y aceleradores, y se sientan en sus escritorios durante horas

interminables tratando de discernir el significado de los datos que reúnen.

El esfuerzo para comprender el Universo es una de las pocas cosas que eleva la vida humana por sobre el nivel de la farsa y le imprime algo de la elevación de la tragedia

"Los Tres Primeros Minutos del Universo"
Steven Weinberg
Premio Nobel de Física 1979

**REVISTA
ASTRONOMICA**

Nº 219

OCTUBRE-DICIEMBRE DE 1981

TOMO LIII

AG ISSN 0044 - 9253

**REGISTRO NACIONAL
DE LA PROPIEDAD
INTELECTUAL Nº 92.576**

La dirección de la Revista no se responsabiliza por las opiniones vertidas por los autores de los artículos publicados o por los datos contenidos en ellos.

**DISTRIBUCION GRATUITA
A LOS SEÑORES ASOCIADOS**

Patricias Argentinas 550 (1405) Bs.
As. - T.E. 88-3366

DIRECTOR:

Lic. Alejandro Di Baja (h)

SECRETARIOS:

Sr. Carlos Rúa

Sr. Damián Zanette

REDACTORES:

Sr. Ambrosio Juan Camponovo

Lic. Alejandro Di Baja (h)

Dr. Angel Papetti,

Sr. Carlos Rúa

Sr. Mario Vattuone

TRADUCTORES:

Lic. Alejandro Di Baja (h)

Dr. Angel Papetti

Sr. Mario Vattuone

CANJE Y SUSCRIPCIONES:

Srta. Flora Clauré

Sr. Eduardo De Tommaso

EFEMERIDES:

Ing. Cristián Rusquellas

COMISION DIRECTIVA

PRESIDENTE

Dr. Fernando P. Huberman

VICE-PRESIDENTE

Ing. Cristián Rusquellas

SECRETARIO

Prof. Luciano Ayala

PRO-SECRETARIO

Srta. Lilliana Graciela Quarleri

TESORERO

Sr. Eduardo De Tommaso

PRO-TESORERO

Ing. Benjamín Trajtenberg

VOCALES TITULARES

Sr. Carlos Antonioli

Lic. Alejandro Di Baja (h)

Sr. Guillermo Lücke

Dr. Angel Papetti

Sr. José María Requeijo

Sr. Mario Vattuone

VOCALES SUPLENTES

Srta. Flora Beatriz Clauré

Sr. Roberto Remi Frommel

COMISION REVISORA DE CUENTAS

Sr. Claudio Cuello

Sr. Carlos E. Gondell

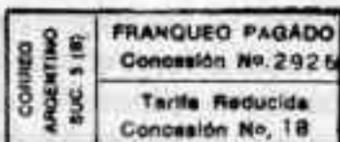
Dr. Fernando Larumbe

Impreso en

Agencia Periodística CID

Avda. de Mayo 666, 2º,

Tel. 30-2471 Bs.As.



REVISTA ASTRONOMICA



Fundador : CARLOS CARDALDA

**Organo de la Asociación Argentina
Amigos de la Astronomía**

SUMARIO

LOS AGUJEROS NEGROS

Y SUS IMPLICANCIAS ASTROFISICAS, PARTE II

por David L. Block

pág. 2

LOS TROYANOS

por el Dr. Juan Carlos Muzzio

pág. 6

NUESTRO CONOCIMIENTO DE LAS ESTRELLAS

A TRAVES DEL TIEMPO

por el Dr. Jorge Sahade

pág. 9

CONSIDERACIONES SOBRE EL FENOMENO OVNI

por el Lic. Alejandro Di Baja (h)

pág. 17

EFEMERIDES 1982 (reducidas)

compaginadas por el Ing. Cristián Rusquellas

pág. 21

Nuestra Portada:
*Galaxia Espiral
M81 en la
Constelación de la
Osa Mayor*



Los Agujeros Negros y sus Implicancias Astrofísicas

Parte II

por David L. Block, Boyden Observatory, South Africa

Traducido de "Sky and Telescope" de agosto de 1975, con autorización de Sky Publishing Corporation y conformidad del autor

En el número anterior consideramos una de las más excitantes predicciones de la relatividad general, el destino de una estrella masiva que puede sufrir un colapso gravitacional hasta producir un agujero negro después de agotar su combustible nuclear. Tal como vimos, un agujero negro es una región del espacio dentro de la que una estrella (u otro cuerpo) ha colapsado, y en la que las fuerzas gravitatorias son tan intensas que ni la materia, la luz, ni señal de ningún tipo pueden escapar. La única esperanza de detectar un agujero negro observacionalmente, depende de su influencia gravitatoria en la materia circundante.

Consideremos el concepto del campo gravitatorio externo de un agujero negro. Para clarificar ideas mediante un artificio familiar, imaginemos la siguiente conversación entre Sagredo y Salviati, quienes eran protagonistas en los famosos "Diálogos acerca de dos nuevas ciencias" de Galileo.

Sagredo: No puedo entender, Salviati, qué significa el campo gravitatorio externo de un agujero negro. Seguramente, si la curvatura del espacio-tiempo es una manifestación directa de la presencia de materia, y si toda la materia desaparece dentro del agujero, y dado que ningún evento interior puede influenciar nada afuera, cómo puede aún entonces ser curva la geometría exterior?

Salviati: Examinemos su razonamiento más detalladamente. Usted está en lo cierto en afirmar que una vez que una estrella en colapso ha pasado su radio gravitatorio, ninguna señal o radiación puede escapar.

Una analogía caprichosa pero útil es considerar un peso colocado sobre una membrana de goma, haciendo que ésta se deforme. Suponga que el peso fuera comprimido en un volumen cada vez más pequeño. La membrana se combaría cada vez en mayor medida, hasta que eventualmente se pondrían en contacto dos secciones de la membrana, resultando una "superficie atrapada" de la que no podría escapar la luz.

La curvatura del espacio-tiempo exterior a un agujero negro resulta entonces del colapso original para

formar el agujero, y consecuentemente depende de las condiciones iniciales. En nuestra analogía, si bien se forma una superficie atrapada, la membrana exterior a ésta aún estaría curvada.

Sagredo: Muy bien.

Aumento de Materia por los Agujeros Negros

D. Lynden-Bell de Cambridge University ha sugerido que un agujero negro masivo y rotante puede hallarse en el centro de nuestra galaxia. Incluso ha adelantado la hipótesis de que la caída de materia hacia agujeros negros centrales de galaxias puede producir los cuasares. Esa caída posiblemente convierta al agujero negro en "un cuerpo blanco brillante", el que, por supuesto, brillaría sólo por la luz emitida por el gas fuera del horizonte de sucesos (Fig. 6).

La producción de radiación por acumulación de materia (cayendo hacia un agujero negro) es un procedimiento mucho más eficiente si la materia que cae tiene algún momento angular, lo que resulta en la formación de un "disco de acumulación" alrededor del agujero negro. Antes que el gas llegue realmente al horizonte de sucesos, podría calentarse tanto (10^{10} a 10^{12} grados Kelvin) que emitiría rayos X y aún rayos gamma; este calentamiento se debería a la compresión, ondas de choque y turbulencia. Una partícula en órbita alrededor de un agujero negro no rotacional de Schwarzschild puede emitir solamente alrededor del 5,7 % de su masa como radiación gravitatoria antes de caer en el agujero. Empero, para una partícula co-rotando con un agujero negro de Kerr, puede llegar a emitirse tanto como un 42,3 % de su masa. Esto es así porque en la geometría de Schwarzschild no existen órbitas estables muy relativistas, mientras que en la geometría de Kerr sí.

Varios científicos han estudiado qué aspecto tendrían para diversos observadores agujeros negros en sistemas binarios. Usando un modelo

de acumulación newtoniano N. I. Shakura y R. A. Sunyaev encontraron que la estructura del disco de radiación y el carácter de la radiación dependen principalmente del ritmo de caída de masa en el borde exterior del disco.

Si este ritmo es de 10^9 a 10^8 masas solares por año, el agujero negro sería un poderoso emisor de rayos X, irradiando de 10^{37} a 10^{38} ergios por segundo. Si el ritmo del flujo excede 10^{12} masas solares por año, el disco alrededor del agujero negro sería más luminoso que la componente visible del sistema binario. Kip S. Thorne, I. D. Novikov, A. G. Polnarev, y otros han computado recientemente los efectos de la relatividad general en la región interior del disco. Para más detalles acerca del proceso de acumulación y su significado, ver el artículo de Thorne en "Scientific American" de diciembre de 1974.

Si consideramos la hipótesis de Lynden-Bell de que los cuasares son agujeros negros que están acumulando materia, debemos recordar que no está totalmente aceptado que los cuasares estén a las enormes distancias correspondientes a sus corrimientos al rojo. Geoffrey Burbidge y otros han sugerido que el corrimiento al rojo en algunos casos podría ser intrínseco antes que cosmológico. Por otra parte, algunos cuasares han sido localizados en remotos conglomerados de galaxias, y objetos con corrimientos al rojo muy grandes son inestables frente a un colapso. Pero si los cuasares están realmente a distancias cosmológicas, son en promedio los objetos más lejanos conocidos, más luminosos que las más brillantes galaxias por dos órdenes de magnitud. Esta alta luminosidad es particularmente notable teniendo en cuenta el pequeño tamaño de los cuasares, tal como resulta por la rapidez de sus variaciones luminosas.

Aparte del modelo de acumulación de Lynden-Bell, se han hecho intentos para explicar los corrimientos al rojo observados en las líneas de absorción en los espectros de los cuasares mediante el efecto "del tubo de pasta de dientes". En éste, una estrella que cae hacia un agujero

ro negro es destrozada por fuerzas gravitatorias de marea. Si la ruptura ocurre dentro de la ergoesfera (definida en el artículo anterior), una parte de la estrella podría ser despedida del agujero con una velocidad v , tal que la relación v/c sea no-despreciable, siendo c la velocidad de la luz. Esto extraería una cantidad sustancial de energía rotacional de la ergoesfera. Empero, este proceso puede extraer sólo una fracción de la masa-energía del agujero.

¿Podrá conducir directamente a un cuasar el colapso gravitacional de un cuerpo esféricamente simétrico? Esta parecería ser una manera de explicar los enormes corrimientos al rojo en los espectros de los cuasares. Empero, análisis teóricos por W.L. Ames y Thorne muestran que las líneas espectrales estarían muy ensanchadas, y que el brillo de los cuasares debería caer exponencialmente; ambas predicciones contradicen las observaciones. Este modelo, por supuesto, es bien diferente del de Lynden-Bell, en el que la luminosidad surge de la caída de materia hacia un agujero negro central.

Mecánica de los Agujeros Negros

Analícemos ahora la mecánica de los agujeros negros, tal cual fue formulada por J.M. Bardeen, B. Carter, y S.W. Hawking en 1973. Se encuentra una semejanza entre estas leyes y las leyes de la termodinámica; en particular, el *área superficial*, y la *gravedad superficial* de un agujero negro tienen una gran analogía con la *entropía* y la *temperatura*, respectivamente. La entropía de un sistema termodinámico aislado es una medida de su desorden, y puede o bien permanecer constante o aumentar. J. Bekenstein de Princeton University ha sugerido que el concepto de la entropía de un agujero negro es una medida de la *información* acerca del interior del agujero negro, la que es inaccesible a un observador exterior.

Por ejemplo, a medida que un agujero negro se aproxima al equilibrio, los efectos de las condiciones iniciales son borrados. El agujero termina en un estado final caracterizado únicamente por su masa, carga eléctrica, y momento angular. La pérdida de información acerca de las peculiaridades iniciales del agujero se refleja en un aumento gradual de la entropía.

REVISTA ASTRONÓMICA

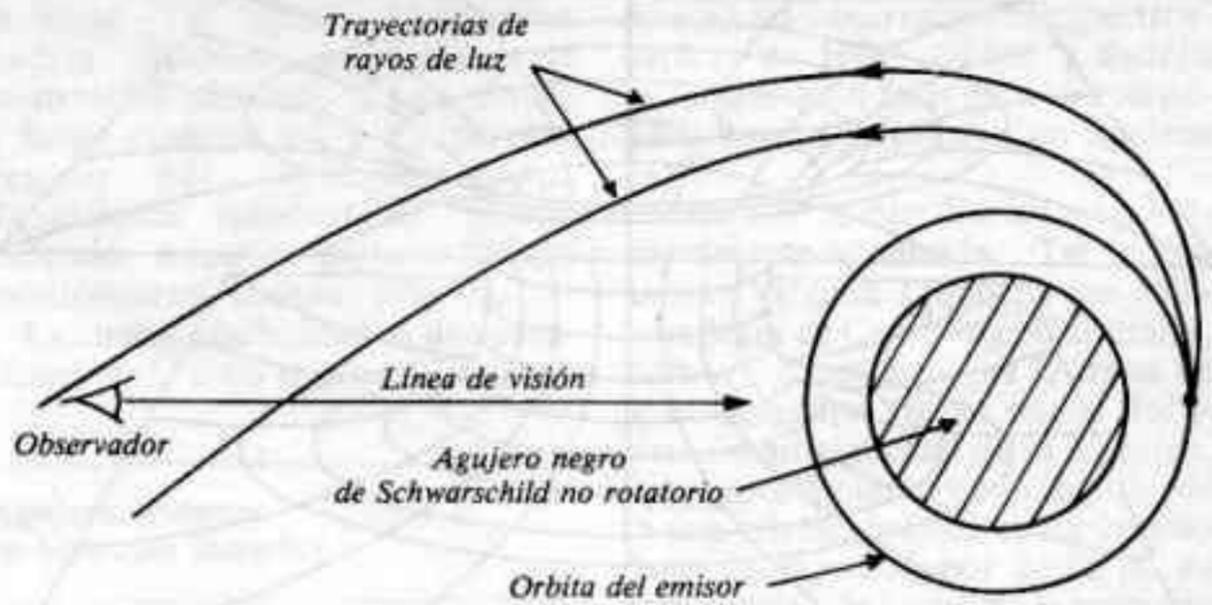


Fig. 6. La luz propagándose a lo largo de geodésicas nulas, y pasando muy cerca de un agujero negro de Schwarzschild no rotatorio, es fuertemente desviada por el campo gravitacional; la luz emitida en la cara oculta del agujero puede ser vista por un observador en el infinito. De hecho, el grueso de la radiación observada está dirigida hacia adelante.

En un sistema aislado, la suma de las áreas superficiales de todos los agujeros negros no puede nunca disminuir; el área superficial de un agujero no puede disminuir en ningún proceso. En forma análoga, la entropía de un sistema sólo puede permanecer constante o crecer. De hecho, estos análisis sugirieron la formulación de las cuatro leyes de la mecánica de los agujeros negros.

La Ley Cero afirma que la gravedad superficial de un agujero negro estacionario es constante sobre su horizonte de sucesos, y está unívocamente caracterizada por su masa, carga, y momento angular. (Aquí el término "estacionario" no implica irrotacional, sino que se refiere al estado final después de que el agujero se haya asentado.)

La Primera Ley, como la primera ley en termodinámica, es una ley de conservación. La Segunda Ley afirma que el área superficial de cualquier agujero negro no puede disminuir con el tiempo, mientras que la Tercera Ley afirma que es imposible reducir la gravedad superficial a cero mediante ninguna secuencia finita de operaciones.

Retornemos brevemente al diálogo.

Sagredo: ¿En qué consiste esta plática acerca de la gravedad superficial de un agujero negro?

Salviati: Para responder a su pregunta, Sagredo, consideremos la aceleración de una partícula que se encuentra co-rotando rigidamente con el agujero negro. Puede demostrarse que a medida que la partícula se aproxima infinitesimalmente cerca del horizonte de sucesos, la aceleración (tal como sería medida por el reloj de un observador exterior) tiende a un valor límite, la gravedad superficial del agujero.

Sagredo: Es apropiado en este sentido hablar de la gravedad superficial del agujero negro. ¿Es cierto, Salviati, que la temperatura efectiva de un agujero negro es 0° absoluto?

Salviati: Suponga, por el contrario, Sagredo, que no fuera así.

Sagredo: Tengo la respuesta. El agujero no podría estar en equilibrio con la radiación de cuerpo negro, dado que no podría emitirse radiación del agujero mientras que siempre alguna radiación cruzaría el horizonte de sucesos hacia el agujero.

Salviati: De acuerdo. La temperatura efectiva de un agujero negro es cero.

Hay dos clases de procesos en los agujeros negros: aquellos que aumentan y aquellos que mantienen fija la masa irreductible del agujero (la masa resultante luego de extraerse toda la energía rotacional). Se dice que las transformaciones son *reversibles* si el agujero negro puede retornar a su estado original. No podemos disminuir la masa de un agujero negro sin disminuir simultáneamente su carga eléctrica, su momento angular, o ambos. Las transformaciones reversibles cambian la masa, la carga, o el momento angular, o cualquier combinación de ellas, dejando fija el área superficial. Por otro lado, las transformaciones que *aumentan* el área superficial son *irreversibles*, dado que por la segunda ley de la mecánica de los agujeros negros el agujero no puede retornar a su área superficial originalmente menor.

Como otro ejemplo de extracción de energía de un agujero negro, consideremos la siguiente analogía descrita por Charles W. Misner,

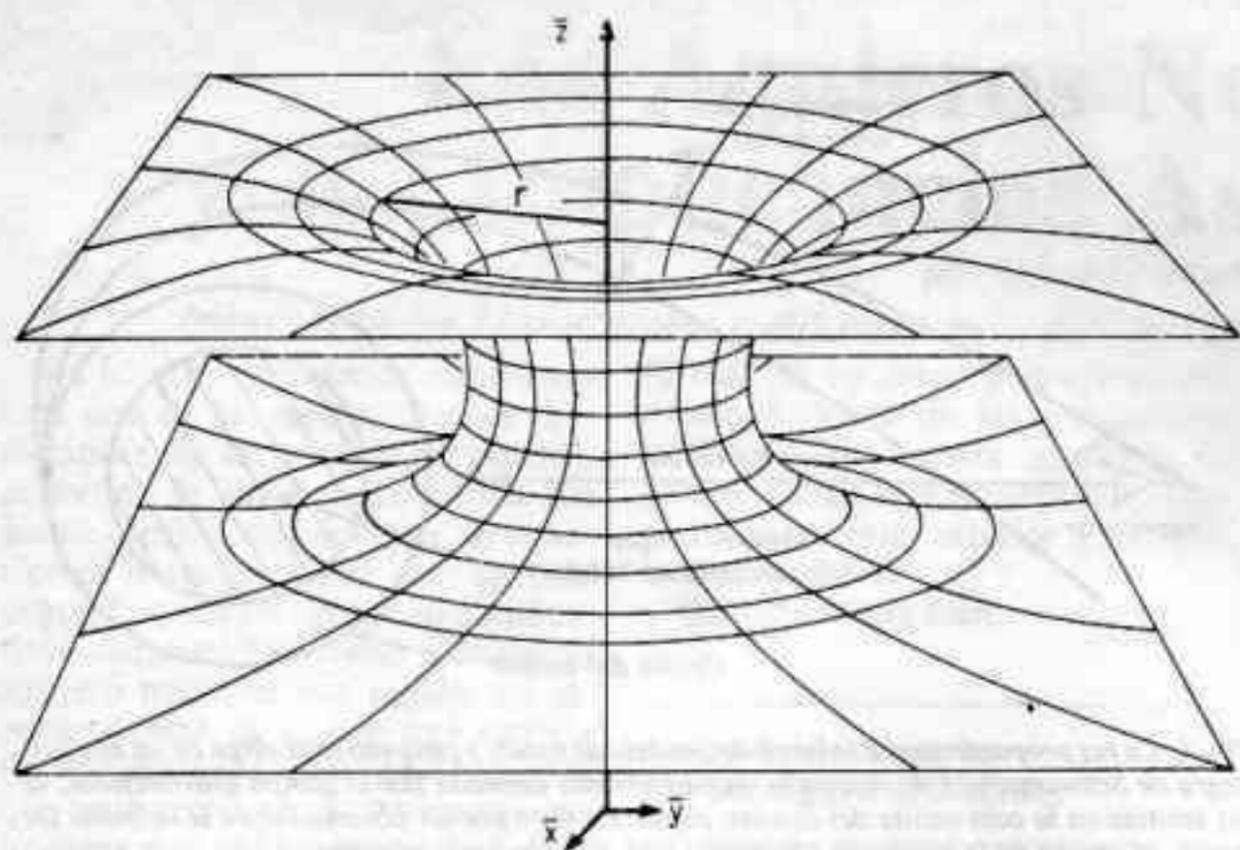


Fig. 7: Geometría del espacio-tiempo en los alrededores de un agujero negro no rotatorio. El túnel, con un horizonte de sucesos en su centro, conecta dos universos planos separados. Si bien no resulta posible comunicarse a través de un túnel de este tipo, la situación es sorprendentemente diferente para un agujero negro rotatorio de Kerr. Después de haber pasado por el radio gravitacional de un agujero negro de Kerr, la materia puede, después de haber encontrado un túnel topológico, fluir hacia otro universo o bien emerger en un lugar distante de nuestro propio universo. Reproducido de "Gravitation" por C. W. Misner, K.S. Thorne, y J. A. Wheeler, cortesía de W. H. Freeman and Co.

Kip S. Thorne, y John Archibald Wheeler.

Imaginemos una comunidad altamente civilizada que haya construido una gran ciudad sobre una esfera rígida rodeando a un agujero negro irrotacional. Todos los días, un millón de toneladas de basura es transportada fuera de la ciudad hacia un vaciadero. Allí la basura es cargada en vehículos transbordadores, los que uno tras otro son arrojados hacia el centro del agujero. Cada transbordador describe una espiral descendente hacia una órbita cerca del horizonte de sucesos.

Ahora bien, si un vehículo descarga su contenido de basura en un cierto "punto de eyección", el vehículo retrocederá de la eyección y retornará a la ciudad con mayor energía que la que tenía cuando partió. Este exceso de energía puede ser depositado en un gigantesco volante adyacente al volcador de basura. El volante es empleado para generar electricidad mientras que el vehículo emprende su próximo viaje. De esta manera, los habitantes de la ciudad no sólo utilizan al agujero negro para convertir toda la masa en reposo de la basura en energía cinética de los vehículos, sino que, además, obtienen electricidad de ella. El principal problema es arquitectónico: ¿cómo construir una esfera alrededor de un agujero negro?

Singularidades Físicas

El desarrollo inicial de la relatividad general y la teoría de la gravitación tuvo lugar, esencialmente, sin relación con la teoría cuántica. La relatividad general clásica considera al espacio-tiempo como una estructura completamente determinista, definida hasta distancias arbitrariamente pequeñas. Por el contrario, la relatividad general cuántica predice violentas fluctuaciones de la geometría a distancias del orden de 10^{-33} centímetros, siendo la curvatura en esas regiones muy pequeñas del orden de 10^{66} centímetros por centímetro.

Luego, la descripción general que hemos estado discutiendo de un colapso esféricamente simétrico permite la posible objeción de que hemos ignorado los efectos cuánticos. Roger Penrose señala que esta objeción no se aplica a cuerpos muy masivos. "Si asumimos la existencia de un horizonte de sucesos absoluto sobre el cual las curvaturas y densidades permanecen pequeñas, es muy difícil de creer que una descripción clásica (no cuántica) del fenómeno no sea ampliamente adecuada".

De hecho, si la esfera en colapso tiene una masa de 10^{11} soles (el equivalente de una galaxia grande), su densidad media cuando cruza el radio crítico (de Schwarzschild) es

menor que la del aire. Sólo para cuerpos en colapso de aproximadamente una masa solar o menos, la densidad en esa etapa excede la densidad en el núcleo atómico.

Una región en la que se predicen violentas fluctuaciones en su geometría es la singularidad en el centro del agujero negro. (En este artículo solamente tratamos las singularidades físicas, y no singularidades que pueden eliminarse matemáticamente mediante una adecuada transformación de coordenadas). Wheeler, de Princeton University, ha sugerido que toda vez que el espacio-tiempo esté muy curvado, como en el centro de un agujero negro, el campo gravitatorio debe estar cuantificado. En otras palabras, la Naturaleza puede evitar la singularidad del colapso cambiando completamente las leyes físicas en ese entorno.

Hay una analogía histórica para la necesidad de una teoría cuántica de la gravitación. El modelo del átomo de Rutherford, introducido al principio de este siglo, sufría de una singularidad, dado que clásicamente los electrones cargados negativamente en órbita alrededor del núcleo cargado positivo deberían describir una espiral descendente, destruyendo consecuentemente la estructura del átomo. Para superar esta dificultad, Niels Bohr en 1913 hizo la suposición de que los estados de energía del átomo estaban cuantificados.

Aún no se ha logrado una teoría cuántica completa de la gravitación. No obstante, debe remarcarse que una tal teoría aplicada a un colapso gravitatorio afectaría solamente la región del espacio-tiempo en las vecindades de la singularidad.

Han sido descubiertos varios poderosos y hermosos teoremas concernientes a las singularidades. El teorema de Hawking-Penrose afirma que en algún lugar debe haber una singularidad del espacio-tiempo donde las leyes de la física dejan de valer. Pero nuestro universo debe satisfacer ciertas condiciones.

Primero, la dirección hacia el futuro del tiempo debe ser siempre clara y distinguible de la del pasado. Muchos lectores estarían más contentos si, por el contrario, la flecha del tiempo no apuntara siempre hacia el futuro! Segundo, la densidad de la masa más la energía nunca debe ser negativa. Esta suposición está avalada por toda la experiencia física. Las otras dos condiciones son que el múltiple espacio-tiempo no

sea "excesivamente simétrico", y que el múltiple contenga una superficie atrapada.

Podemos aclarar las dos últimas condiciones. La propia existencia de galaxias implica que debieron haber ocurrido apartamientos de una total simetría en todos los tiempos durante la historia del universo. Una superficie atrapada es una superficie bidimensional cerrada (por ejemplo, la superficie de una esfera) con la propiedad de que rayos emitidos perpendicularmente a la superficie hacia adentro convergen, y rayos emitidos perpendicularmente hacia afuera también convergen.

El famoso teorema de Penrose afirma que en un colapso realista no esférico, puede alcanzarse un estado más allá del cual no es posible comunicación alguna con el mundo exterior. Una vez que ha sido pasado el radio gravitacional, uno de dos o ambos eventos "patológicos" pueden ocurrir. La geometría del espacio-tiempo puede desarrollar una singularidad, tal como ocurre en un colapso con simetría esférica, o bien puede resultar que un puente o "cueva de gusano" una nuestro universo con otro universo con el que previamente no teníamos contacto alguno.

La materia está sentenciada a chocar con la singularidad solamente en el caso de un agujero negro irrotacional. Esto no es necesariamente así en la situación más general de un colapso no-esférico, en el que solamente algunos de los fotones que dejan la superficie atrapada deben chocar con la singularidad.

Enumeremos las cuatro posibilidades básicas concernientes a la naturaleza de la singularidad de un colapso realista no esférico. La primera es que la singularidad puede ser una región de fuerzas gravitatorias de marea infinitas, las que comprimen la materia en colapso hasta densidad infinita. Una segunda posibilidad considera la singularidad como una región del espacio-tiempo en la que *terminan* geodésicas nulas (las trayectorias de los rayos de luz en un múltiple espacio-tiempo cuatridimensional), no debido a fuerzas gravitatorias infinitas, sino debido a alguna otra patología más sutil.

Tercero, la singularidad puede ser suficientemente limitada en "tamaño" e influencia de modo que toda o casi toda la materia consigue evadirla. La materia, por supuesto, no puede retornar a través del horizon-

te de sucesos por el que originalmente entró. En cambio, el material podría alcanzar un estado de contracción máxima, si bien finita, y luego explotar hacia alguna otra región del espacio-tiempo. Tendríamos entonces un puente uniendo nuestro espacio-tiempo múltiplemente conexo. (Fig. 7).

La cuarta posibilidad es una combinación de estas tres.

Agujeros Negros en Sistemas Binarios

Se ha propuesto que los agujeros negros podrían existir en los núcleos de galaxias o en el centro de cúmulos globulares. Empero, la perspectiva más promisoría de confirmar observacionalmente la existencia de agujeros radica en ciertos sistemas estelares binarios.

Se han dedicado amplias discusiones a las fuentes de rayos X tales como X-1, en la Pequeña Nube de Magallanes, que son miembros de binarias (ver la edición de noviembre de 1974 de *Sky and Telescope*, página 290). En un tal sistema, el agujero negro (si alguno se encuentra presente) es ópticamente invisible, pero debido a la extracción de materia de la estrella primaria, puede emitir rayos X. Si bien podemos observar espectroscópicamente sólo la estrella primaria, el período y la amplitud de la variación de su velocidad radial dan información acerca de la masa de la componente invisible, suponiendo que podemos de alguna manera estimar la inclinación de la órbita y la masa de la componente primaria.

Si, de esta manera, se encuentra que la masa de la componente invisible es, al menos, de cuatro masas solares, sabemos que no puede ser una enana blanca o una estrella neutrónica. Y si el flujo de rayos X es intenso y varía rápidamente, no puede ser una estrella ordinaria sino un objeto muy compacto. Sería entonces atractivo, aunque no necesariamente obligatorio, identificar al componente invisible con un agujero negro.

Este parece ser el caso de Cygnus X-1, el que forma un sistema binario con la estrella de novena magnitud HDE 226868. Ya en 1971 se interpretó el período de sus pulsos de rayos X de 0,073 segundos como resultado de la rápida rotación de una estrella colapsada, presumiblemente un agujero negro. En 1972 C.T. Bol-

ton, del David Dunlap Observatory, estudió las observaciones espectroscópicas de HDE 226868 y dedujo una masa de 14 soles para su compañera, lo que implicaba un agujero negro.

Pero aún la cuestión no está definitivamente derimida. Tal como anotan Virginia Trimble y sus colaboradores en Cambridge University, Bolton ha supuesto que la masa de la componente visible puede deducirse sin ambigüedad de su espectro. Este procedimiento no es seguro para una estrella bañada en un intenso flujo de rayos X por parte de su compañera. De hecho, si la primaria es una estrella de poca masa de tipo B (0,3 a 0,5 masas solares), la secundaria caería dentro del rango de las estrellas neutrónicas y enanas blancas, y no necesitaría ser un agujero negro.

Thorne ha resumido recientemente sus puntos de vista respecto de Cygnus X-1 en el artículo de *Scientific American* descrito precedentemente:

"Actualmente nos enfrentamos con una situación que es habitual en astronomía. Un modelo, en el que un agujero negro se encuentra en órbita alrededor de una estrella normal, puede explicar fácilmente las observaciones: la luz y los rayos X desde Cygnus X-1. Los otros modelos, que proponen, o bien una enana blanca o una estrella neutrónica como compañero, han sido eliminados por las observaciones. Podrían idearse, empero, explicaciones alternativas que satisfagan los datos observacionales. Esta situación conduce a los astrónomos hacia la etapa final en la búsqueda de agujeros negros: el intento de acumular más información de mejor calidad y de nuevos tipos, información que (yo espero!) gradualmente elimine los modelos alternativos y cierre el caso del agujero negro."

Si bien se han predicho muchos resultados teóricos interesantes, aún continúa la búsqueda óptica de agujeros negros. Tomó 34 años desde la predicción de una estrella neutrónica en 1934 hasta su descubrimiento por A. Hewish y colaboradores en 1968. Ya 1975 marca el 36 año desde la predicción de agujeros negros por J.R. Oppenheimer y H. Snyder en 1939.

LOS TROYANOS

Juan C. Muzzio

Observatorio Astronómico de la Universidad Nacional de La Plata
y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

I. Introducción

Los asteroides Troyanos son a veces mencionados en los libros de astronomía general, pero casi nunca con una adecuada explicación de por qué constituyen una interesante familia de pequeños planetas. Esto es explicable, pues una cabal comprensión del fenómeno que ejemplifican requiere el conocimiento previo de algunos aspectos de la mecánica celeste que escapan al propósito de los textos elementales.

Analizaré aquí el fenómeno de los Troyanos comenzando con algunas nociones básicas de mecánica celeste (sección II) y describiendo los resultados clásicos del problema restringido de los tres cuerpos (sección III). La sección IV describe los casos conocidos de Troyanos (en un sentido general) en nuestro sistema solar y la posibilidad teórica de que existan Troyanos de Saturno. La última sección señala las dificultades prácticas para concretar el descubrimiento de tales Troyanos.

II. Algunos resultados y métodos de la mecánica celeste

En lo que sigue, al hablar de "cuerpos" supondré que las dimensiones de los mismos son despreciables frente a las de la zona donde se realiza el movimiento (por ejemplo, el radio de la Tierra es unas 25.000 veces menor que el de su órbita alrededor del Sol), y que las únicas fuerzas que actúan sobre los cuerpos en el espacio son las fuerzas de atracción mutua, según la ley de Newton.

En estas condiciones, un problema clásico de la mecánica celeste es el "problema de los dos cuerpos", que consiste en predecir para cualquier instante las posiciones y velocidades de dos cuerpos que, partiendo de posiciones y velocidades iniciales dadas, se mueven bajo el efecto de su atracción mutua. La solución de este problema es relativamente simple y resulta que las órbitas pueden ser elipses, parábolas o hipérbolas (Figura 1). Los planetas y asteroides tienen órbitas elípticas (un caso particular de la elipse es la circunferencia, cuando ambos ejes son iguales), en tanto que los cometas pueden tener órbitas de cualquiera de los tres tipos.

Es fácil ver que, en general, no se tienen problemas de dos cuerpos, sino "problemas de n cuerpos" (donde n puede ser cualquier número entero positivo). Por ejemplo, en nuestro sistema solar, aún dejando de lado los asteroides y satélites, tendríamos un problema de diez cuerpos (el Sol y los nueve planetas). En estas condiciones el problema es extremadamente complejo y carece de una solución general exacta. De hecho, aún cuando el problema de los dos cuerpos tenía una solución relativamente simple, basta agregar un tercer cuerpo (problema de los tres cuerpos) para tener uno de los problemas más complejos que han preocupado por siglos a los mejores matemáticos.

Sin embargo, en el caso del sistema solar pueden obtenerse soluciones "casi exactas" de gran precisión. La razón de ello radica en que el Sol es el cuerpo dominante del sistema, siendo su masa unas 1.000 veces mayor que

la de Júpiter, que es el segundo en importancia en el sistema solar. En estas condiciones, si queremos estudiar el movimiento de, por ejemplo, un asteroide, es perfectamente lícito suponer como **primera aproximación** que se trata de un problema de dos cuerpos (el Sol y el asteroide) y determinar la órbita del asteroide en torno al Sol. A continuación se "perturba" esta órbita con la influencia de los otros planetas; estas "perturbaciones" son generalmente pequeñas. En otras palabras, el movimiento del asteroide está dominado por la fuerza de atracción del Sol y las fuerzas ejercidas por los otros planetas sólo producen pequeñas alteraciones (que, empero, son perfectamente detectables) sobre la órbita que se obtendría si sólo el Sol y el asteroide estuvieran presentes.

Este método permite conseguir resultados de gran precisión, y cabe recordar que ya en el siglo pasado permitió el descubrimiento de un nuevo planeta: Neptuno. Las posiciones calculadas en aquel entonces para Urano no coincidían con las observadas por lo que, independientemente, Adams y Leverrier investigaron si las discrepancias no podían explicarse por las perturbaciones de un planeta hasta entonces desconocido. Lograron predecir donde debía hallarse ese planeta en una fecha dada y, cuando Galle lo buscó, lo halló efectivamente muy próximo a la posición predicha.

III. El problema restringido de los tres cuerpos

Como ya se indicó, el problema de los tres cuerpos carece de solución sencilla si se lo plantea en forma general. Sin embargo, hay algunos resultados clásicos simples para un caso particular muy útil para comprender el fenómeno de los Troyanos: el "problema restringido de los tres cuerpos". En este caso se consideran dos cuerpos moviéndose bajo su atracción mutua en órbitas circulares y un tercer cuerpo moviéndose en el plano de estas órbitas bajo la atracción de los otros dos pero sin afectar el movimiento de estos. Por ejemplo, se podrían considerar el Sol y Júpiter como los dos primeros cuerpos y un asteroide como el tercero; con la masa de este último es despreciable frente a las de los otros dos, el asteroide se vería afectado por el Sol y Júpiter, pero estos no lo serían por aquel y se moverían según sólo su atracción mutua.

Preguntémonos ahora si hay algún punto donde podamos ubicar al tercer cuerpo (el de la masa despreciable) en forma tal que las distancias mutuas no se alteren. La respuesta es que sí: hay cinco puntos donde puede ubicarse al tercer cuerpo de modo tal que forme con los otros dos una figura que rotará, al desplazarse los cuerpos en sus órbitas, pero sin deformarse (o sea que las distancias mutuas permanecen inalteradas). Estos son los llamados puntos de Lagrange, en honor a su descubridor, y están indicados en la Figura 2 con las designaciones L_1 , L_2 , L_3 , L_4 y L_5 . Los tres primeros están alineados con los dos cuerpos más masivos (soluciones colineales) y los dos restantes forman triángulos equiláteros con aquellos cuerpos, o sea, distan de cada uno de esos cuerpos una distancia igual a la que separa a estos últimos entre sí (soluciones equiláteras).

Hemos considerado sólo dos cuerpos masivos y en movimiento circular, pero en la realidad habrá otros cuerpos (planetas) y el movimiento será, en general, elíptico y no puramente circular. Es decir, habrá perturbaciones que afectarán los resultados citados para el caso ideal considerado y es natural, pues, preguntarse si las mismas no afectarán substancialmente el resultado obtenido. Una respuesta definitiva requiere un análisis detallado de cada caso particular, pero si las perturbaciones son pequeñas puede obtenerse una respuesta confiable investigando "la estabilidad" del movimiento. Esto es, supongamos que ubicamos al tercer cuerpo no exactamente en uno de los puntos de Lagrange sino sólo próximo a él. ¿Quedará el cuerpo oscilando en las cercanías del punto de Lagrange o, en cambio, se alejará cada vez más de él? Para visualizar mejor esto consideremos la analogía planteada en la Figura 3: a la izquierda se muestra una bola apoyada en una superficie cóncava y a la derecha una bola apoyada en una superficie convexa. En la figura ambas bolas están en equilibrio y no tendrían por qué moverse, pero sabemos por experiencia que, en tanto que la primera está segura, la segunda caerá en cuanto reciba un soplo, vibración, etc. (una perturbación). Del punto de vista de la estabilidad, si en vez de colocar las bolas en las posiciones de la figura las colocamos levemente apartadas de ellas, en el primer caso la bola quedará oscilando alrededor de la posición de equilibrio, en tanto que la segunda se alejará cada vez más de dicha posición.

Los resultados de las investigaciones de la estabilidad de los puntos de Lagrange revelan que las soluciones colineales son en general inestables. O sea, en un caso real no puede ubicarse en ellas en forma permanente un tercer cuerpo porque la más pequeña perturbación bastaría para apartarlo para siempre de allí. Los resultados para las soluciones equiláteras son más interesantes: el que sean o no estables depende de la relación de masas de los dos cuerpos mayores. En particular, si el menor de los dos cuerpos mayores tiene una masa que no supera 0,03852 de la masa del mayor entonces las soluciones equiláteras son estables; esto es, si de los dos cuerpos mayores uno es mucho más masivo que el otro, aunque el tercer cuerpo no se coloque exactamente en el punto de Lagrange L_4 ó L_5 , queda en la vecindad del punto en cuestión, oscilando alrededor de la posición de equilibrio.

IV. Los casos de Troyanos en el sistema Solar

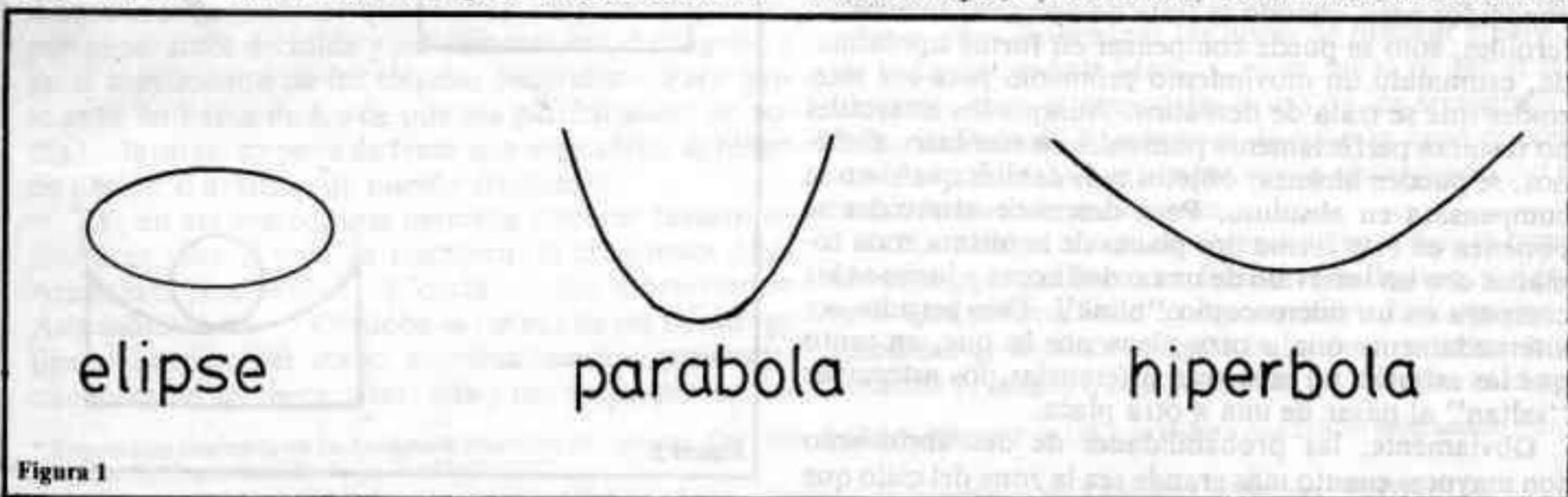
Lo más interesante de los resultados anteriores es que en nuestro propio sistema solar se dan las condiciones para comprobar prácticamente los anteriores resultados teóricos. En efecto, la masa de Júpiter es 0,001 de la ma-

sa solar, por lo que podrían ubicarse en forma estable asteroides en las vecindades de los puntos de Lagrange L_4 y L_5 del sistema Sol-Júpiter. El primero de tales asteroides fue descubierto por Wolf en 1906 y recibió el nombre de Aquiles. Para los que se descubrieron posteriormente se respetó la convención de designarlos con nombres de los héroes de la guerra de Troya (Patroclo, Héctor, Odiseo, etc.), de ahí el nombre de Troyanos. Hay actualmente veintidós Troyanos con órbitas suficientemente bien conocidas como para que se les haya asignado número de catálogo: doce de ellos se ubican en la vecindad del punto de Lagrange "precedente" (el que precede a Júpiter en su movimiento alrededor del Sol) y diez en la vecindad del punto de Lagrange "siguiente" (el que sigue a Júpiter en su movimiento alrededor del Sol). Hay además más de una docena de Troyanos aún no catalogados.

Otro caso interesante lo presenta el sistema Tierra-Luna donde la relación de masas es de 0,012, por lo que también podría albergar objetos estables en la vecindad de sus soluciones equiláteras. En este caso, la acumulación de pequeños objetos en los puntos de Lagrange da lugar a nubes que se destacan como levemente más brillantes que el cielo nocturno y que constituyen otros satélites naturales de la Tierra, además de la Luna. Este caso ha sido tratado por H.G. Marraco en Revista Astronómica N° 166, página 17 (volumen XL, Julio - Setiembre 1968).

Volviendo al caso del Sol y un planeta vemos que, por ser Júpiter el de mayor masa, en todos los otros casos los puntos L_4 y L_5 de sistema Sol-planeta serían estables. Debe recordarse, empero, que esto no garantiza la estabilidad ante cualquier perturbación. Volviendo al ejemplo de la Figura 3 y siguiendo la analogía vemos que, aún cuando la bola de la izquierda estaba en equilibrio estable, si la alejamos tanto de la posición de equilibrio que cayera fuera del cuenco, no volvería, obviamente, por sí sola a él. Es decir, las perturbaciones por otros planetas (especialmente Júpiter) podrían ser suficientemente importantes como para volver inválido este análisis simplificado.

Después de Júpiter, el planeta más masivo es Saturno y cabe preguntarse si no habrá Troyanos de Saturno. Vemos aquí la importancia de cerciorarse de que las perturbaciones de Júpiter no sean tan grandes como para modificar los resultados elementales del problema restringido de los tres cuerpos aplicado al sistema Sol-Saturno: no sólo es Júpiter más de tres veces más masivo que Saturno, sino que pasa periódicamente más cerca de los puntos L_4 y L_5 del sistema Sol-Saturno que Saturno mismo. El problema ha sido investigado recientemente en forma numérica por Everhart y sus resultados muestran que, aún teniendo en cuenta la influencia de



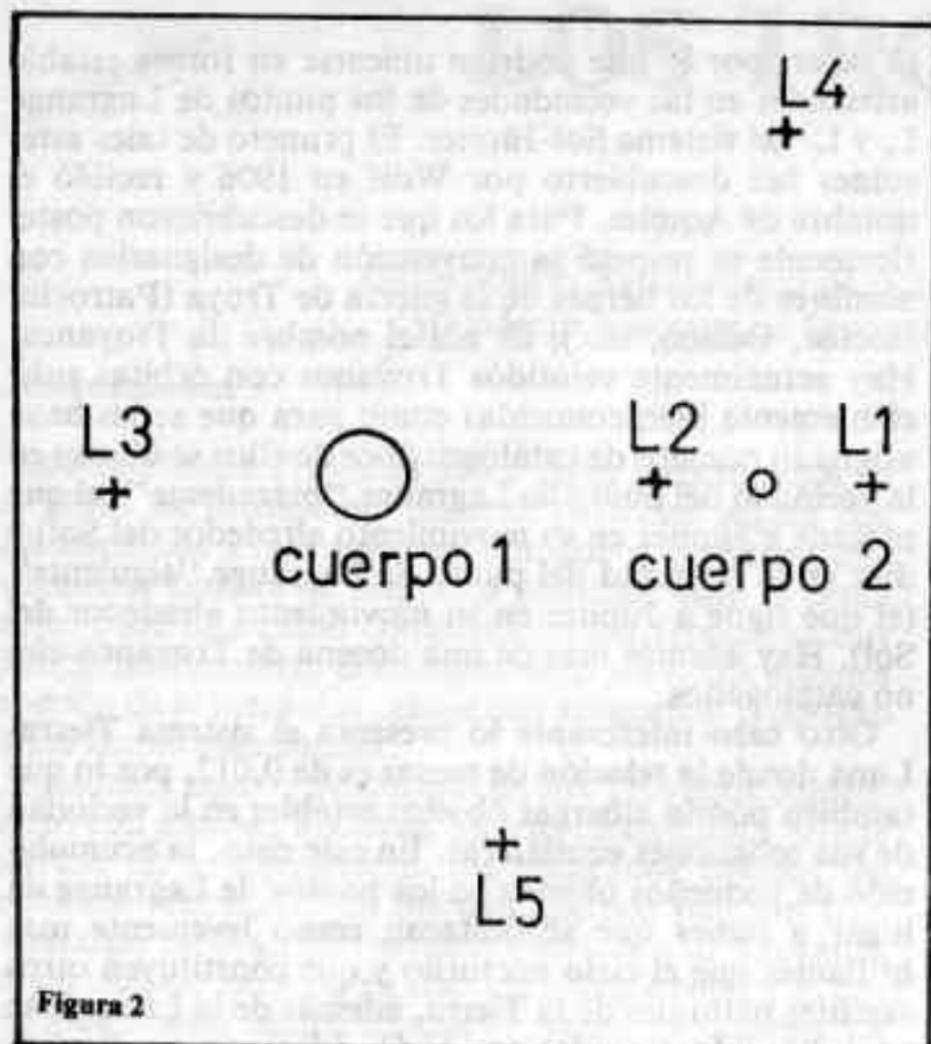


Figura 2

Júpiter, pueden existir en forma estable los Troyanos de Saturno. Tranquilizados así en el aspecto teórico, pasemos a la cuestión práctica de cómo descubrir estos Troyanos de Saturno, si es que realmente existen.

V. Dificultades prácticas para descubrir Troyanos de Saturno

Los asteroides se descubren aprovechando su movimiento aparente respecto a las estrellas. Es decir, el movimiento en torno del Sol de la Tierra y del asteroide hacen que, visto desde la primera, el segundo se vaya desplazando respecto a las estrellas. Si se toma una exposición larga con el telescopio "fijo respecto a las estrellas" estas aparecen como puntos y los asteroides como pequeños trazos y este método se usó en el pasado para descubrirlos. La desventaja del método radica en que la luz del asteroide se reparte a lo largo del trazo y no se pueden alcanzar objetos tan débiles como se lograría si se pudiera obtener una imagen puntual para el asteroide en cuyo caso toda la luz se concentraría en un mismo punto. Para lograr esto, en vez de mantener el telescopio fijo respecto a las estrellas, se lo va desplazando durante la exposición en forma tal que se compense el movimiento del asteroide. Se obtienen así placas con el asteroide con aspecto puntual y las estrellas como trazos. Esto puede hacerse en forma exacta con asteroides conocidos pero, cuando se trata de descubrir nuevos asteroides, sólo se puede compensar en forma aproximada, estimando un movimiento promedio para los asteroides que se trata de descubrir. Aunque los asteroides no resultan perfectamente puntuales en este caso, al menos, se pueden alcanzar objetos más débiles que si no se compensara en absoluto. Para descubrir asteroides se obtienen en esta forma dos placas de la misma zona tomadas con un intervalo de una o dos horas y luego se las compara en un microscopio "blink". Este permite ver alternadamente una u otra placa por lo que, en tanto que las estrellas no muestran diferencias, los asteroides "saltan" al pasar de una a otra placa.

Obviamente, las probabilidades de descubrimiento son mayores cuanto más grande sea la zona del cielo que

abarca la placa. Esto hace recomendable el empleo de telescopios Schmidt, pues brindan imágenes de gran calidad sobre campos de varios grados. Tienen además la ventaja de su corta distancia focal, lo que hace que el tamaño de la zona sobre la que se reparte la luz (por la compensación imprecisa del movimiento de los asteroides a descubrir que mencionamos antes) sea menor que con distancias focales largas y, por ende, se puedan alcanzar objetos más débiles.

Supongamos ahora que los asteroides Troyanos de Saturno sean de tamaño y albedo similares a los de Júpiter. Al estar los primeros aproximadamente al doble de distancia del Sol y de la Tierra que los segundos en la situación más favorable para el descubrimiento (la oposición) resulta que los Troyanos de Saturno serán unas 3 magnitudes más débiles que los de Júpiter. Si recordamos que los más brillantes de estos últimos tienen (siempre en la oposición) magnitudes del orden de 16, concluiremos que se debe alcanzar magnitud 19 para obtener alguna posibilidad de éxito. Esto está muy cerca del límite que permite alcanzar, por ejemplo, la cámara Schmidt del Observatorio Interamericano de Cerro Tololo (Chile), que yo suelo emplear; por ello, para evitar pérdidas de luz por las dificultades de compensar el movimiento del asteroide, deben usarse tiempos de exposición lo más cortos posibles, empleando las emulsiones más sensibles de que se disponga, incluso "horneándolas" para aumentar su sensibilidad.

Si el número de Troyanos de Saturno fuera similar al de Júpiter (y sería lógico que fuera menor) difícilmente se pueda esperar encontrar más de uno de magnitud próxima a 19 en cada zona de $5^\circ \times 5^\circ$ cubierta por una placa Schmidt. Es pues necesario obtener placas en varias zonas distintas para tener una razonable posibilidad de éxito.

En resumen, un programa que apunte a descubrir Troyanos de Saturno requerirá tomar una considerable cantidad de placas exigiendo al máximo las posibilidades de los telescopios y materiales fotográficos actuales. Pese a las dificultades, y tal vez a causa de ellas mismas, el problema es apasionante y quizás no pase mucho tiempo antes de que estas búsquedas den resultados positivos.

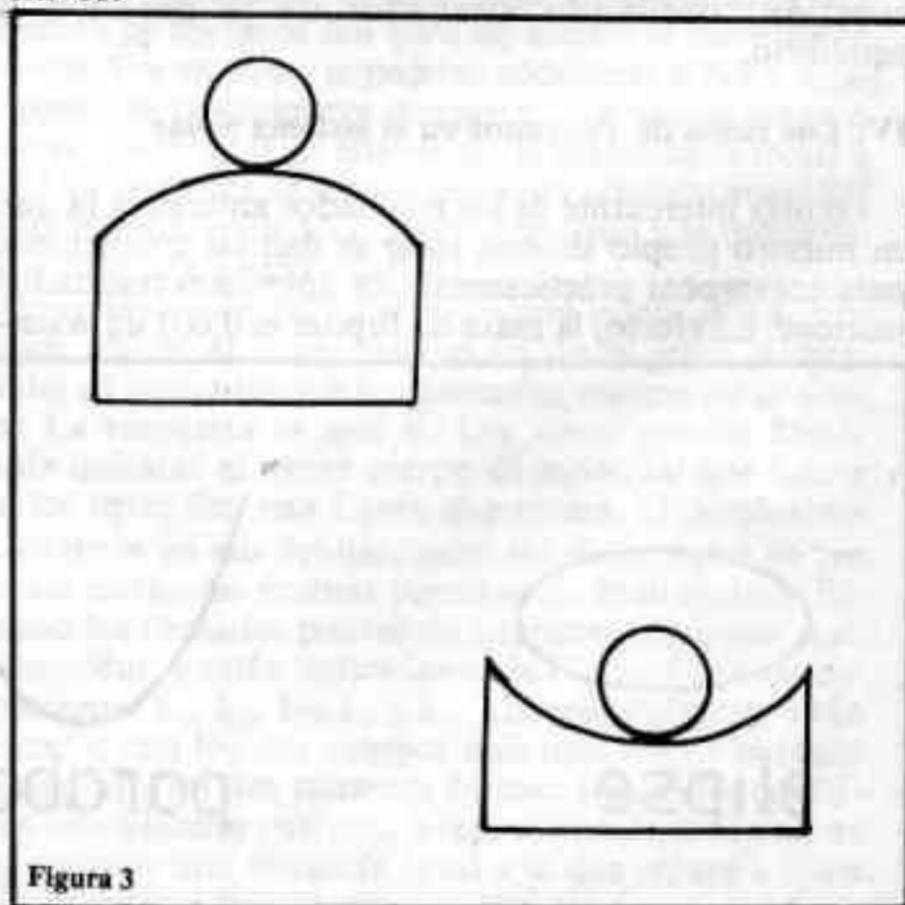


Figura 3

Nuestro conocimiento de las estrellas a través del tiempo

por el Dr. Jorge Sahade*

Instituto de Astronomía y Física del Espacio, Buenos Aires



1) Galileo Galilei, quien introdujo el telescopio a la Astronomía, inaugurando una nueva época.

Permítaseme que comience mi exposición expresando mi agradecimiento al señor Presidente de la Academia Nacional de Ciencias por la invitación, que me hace sentir muy honrado, de ocupar la Cátedra de la Academia en ocasión de un nuevo aniversario de su fundación. Aniversario que es propicio para hacer una pausa y meditar y admirar una vez más la convicción y la pasión que impulsaban a Sarmiento a concretar actos fundamentales de gobierno que tendían a que los argentinos participáramos decidida y activamente «en el progreso y en el movimiento de las ciencias naturales». Para Sarmiento no había dudas de que esa participación no podía soslayarse, so pena de tener que «renunciar al rango de nación o al título de pueblo civilizado».

Y, en ese marco, que permitía avizorar futuros de grandeza para el país, se inscriben las creaciones de la Academia Nacional de Ciencias y del Observatorio Astronómico de Córdoba -a los cuales me siento tan ligado sentimental como espiritualmente-, creaciones que merecen ser destacadas, una y mil veces, por su sig-

nificado, por sus proyecciones, no siempre comprendidas, por su importancia decisiva en el logro del nivel cultural y científico de la Argentina de nuestros días.

Y dado que la Academia y la tradición astronómica argentina tienen tanto en común, tal vez no sea desacertado desarrollar hoy un tema relacionado con la Astronomía en un acto que es a la vez un homenaje y un recuerdo a los que proyectaron la Academia, a los que la hicieron posible y a los que le dieron vida activa a través de más de un siglo.

He pensado que en lugar de tomar un tópico demasiado especializado o hablarles del pasado, del presente y del probable futuro de la Astronomía argentina era más apropiado exponerles un tema general de la problemática de la más antigua de todas las ciencias. Si ustedes me lo permiten, me propongo tocar, en una revista rápida, algunos aspectos de nuestro conocimiento de las estrellas a través del tiempo, mencionando resultados recientes que tienen particular interés.

El espectáculo maravilloso del firmamento tachonado de puntos luminosos, que poseen brillos y colores diversos y distribuciones aparentes sobre la esfera celeste que apelan a la imaginación, la vista magnífica de la Vía Láctea...deben haber despertado desde el primer momento el interés y la curiosidad del hombre. Es natural, pues, pensar que la Astronomía, es decir, el estudio de los movimientos y naturaleza de los cuerpos celestes, haya debido ser una preocupación normal desde que el hombre apareciera sobre nuestro planeta. Pero no sólo la curiosidad y la avidez por saber y entender dan nacimiento y auge a la Astronomía. La sucesión del día y de la noche, que regula las horas de trabajo y de descanso, las estaciones, que tienen vinculación con las épocas de cosecha, la necesidad de poder orientarse en los viajes por tierra y, luego, los requerimientos de la navegación oceánica, la necesidad de contar con un calendario adecuado...proporcionan aspectos prácticos relacionados con el desenvolvimiento normal de las actividades humanas que justifican también el interés por la Astronomía.

Por otra parte, las actividades de carácter religioso tenían necesidad de la Astronomía: en el caso del islamismo, para determinar las horas de oración y para fijar la dirección de la Meca, y, en lo que se refiere al cristianismo, para establecer las horas de los servicios y la fecha de Pascua. Y, entonces, la religión aparece como otra de las fuerzas que promueven la observación y el estudio de los cuerpos celestes.

Por último, los interrogantes eternos del ser humano en lo que se refiere a su futuro, a su destino, y el misterio que rodea a todo lo desconocido, hicieron que se vinculara el destino de cada individuo, primero a los planetas y, luego, a la posición de las estrellas en el mo-

* Exposición realizada en la Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, el 11 de septiembre de 1981, en el Acto Académico programado para celebrar el 112° aniversario de su fundación.

* Miembro de la Carrera del Investigador Científico del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

mento del nacimiento. Así, la Astrología, también sirvió de impulso para la observación del cielo, pero, en este caso, en busca de augurios y configuraciones de significado particular que pudieran dar respuesta a las inquietudes de los poderosos de la sociedad primitiva.

Menciona Pannekoek en su «Historia de la Astronomía» que Al-Battani, el más grande de los astrónomos árabes, decía que la ciencia astronómica es la más noble y perfecta de las ciencias y sigue, jerárquicamente considerada, a la religión.

Antes del siglo XVII no existía el telescopio y los instrumentos que utilizaban los astrónomos estaban dotados simplemente de círculos graduados y de miras para determinar posiciones de las estrellas relativas al horizonte o a círculos máximos como el ecuador o los meridianos celestes o la eclíptica. Y esto que acabamos de señalar en forma esquemática y concisa bosqueja el sentido y el alcance de la labor de los astrónomos de los primeros tiempos, a saber, observación de posiciones de la Luna y los planetas; alturas exactas del Sol; configuraciones aparentes de las estrellas y asignación de nombres a dichas configuraciones así como a las estrellas más brillantes; movimientos de los planetas; eclipses; catálogos de posiciones y de brillos de las estrellas; tablas numéricas para la Astrología. Pero, como es natural, no podían pasar inadvertidas la aparición de una supernova o la de un cometa brillante; también se llegó a detectar variabilidad en el brillo de algunas estrellas, y se comprobó que las estrellas no son fijas sino que están dotadas de movimiento propio, es decir, que se desplazan en el espacio. Y en conexión con la Astronomía de los primeros tiempos, creo que debemos mencionar algunos nombres, tales como:

Shih-Shen (400 A.C.), que produjo un catálogo de 122 constelaciones con 809 estrellas;

Aristarco de Samos (siglo III-II A.C.), que aparentemente sugirió un universo heliocéntrico;

Hiparco (162-126 A.C.), el astrónomo más grande de la antigua Grecia, que produjo un catálogo de alrededor de 850 estrellas con las posiciones en longitud y latitud eclípticas;

Ptolomeo (siglo II), que produjo un catálogo de 1022 estrellas, que incluían las de Hiparco, y propuso un sistema geocéntrico del mundo que fue aceptado durante más de un milenio;

Muhammed al-Battani (siglos IX-X), que realizó numerosas observaciones y propuso métodos para resolver el triángulo esférico;

Al-Sufi (siglo X), que produjo el primer catálogo con magnitudes;

Ulugh Beg (siglo XV), autor de un catálogo propio, no copiado de Ptolomeo;

Copérnico (siglo XVI);

Tycho Brahe (siglo XVI), que efectuó una larga serie de observaciones planetarias y propuso un sistema del mundo, intermedio entre el de Ptolomeo y el de Copérnico.

Ahora bien, ¿qué era una estrella para los antiguos? El análisis científico que puede conducir a conclusiones acerca de la naturaleza de los objetos celestes sólo llegó a ser posible recién en el siglo XIX. En la antigüedad, cualquier teoría acerca de lo que es una estrella era producto de la imaginación o respondía a concepciones filosóficas. Así, por ejemplo, la escuela jónica, fundada por Tales de Mileto, enseñaba que las estrellas están constituidas por fuego, y, dentro de esa concep-

ción, Anaximandro (610?-546? A.C.), el astrónomo más célebre de la escuela, suponía que la Tierra tiene la forma de un cilindro y que en su atmósfera giran varias ruedas horadadas por tubos que permiten ver el fuego exterior en forma de Sol, de Luna o de estrellas.

La posición de la escuela jónica parte de la base de que el universo es geocéntrico y, por consiguiente, tiene que hablar de un fuego externo que ocupe un determinado volumen alrededor de la Tierra. En la escuela pitagórica, en cambio, la idea básica es que el fuego se encuentra en el centro del universo y, siguiendo esa línea de pensamiento, Filolao de Tarento, que vivió entre los años 500 y 400 antes de Cristo, enseñó que el Sol es un globo transparente que recibe su luz y su calor de ese fuego central y del fuego que se suponía existente «fuera de los cielos». Para Filolao, la Tierra describe, en un día, una órbita alrededor de ese fuego central. Y ya por la misma época, unos cinco siglos antes de nuestra Era, Heráclito de Efeso admitía que el Sol es una masa en ignición que se enciende al despuntar el día y se apaga en el ocaso, siendo, cada día, un nuevo Sol el que ilumina la Tierra.

Conceptos tales como los del fuego central fueron cediendo paso a teorías más racionales, más acordes con los resultados de las observaciones. El proceso culminó cuando Copérnico propusiera, en la primera mitad del siglo XVI, el sistema heliocéntrico del mundo, que constituyó, por cierto, una concepción más elaborada y más acabada que cualesquiera de las teorías heliocéntricas sugeridas con anterioridad. Con Copérnico, quedan rotas las vallas que limitaban las dimensiones del universo y se abre el camino que conduce a nuestra comprensión actual del mismo.

Pero aún tienen que transcurrir algunos siglos antes de que podamos penetrar en el conocimiento de las estrellas. En el interín se dan casos como el de John Goodricke que redescubriera la variabilidad de brillo de la estrella Agol (beta Persei) y ofreciera como explicación de dichas variaciones -que resultó correcta- la interposición periódica de un objeto oscuro entre la estrella brillante y el observador. Pero es evidente que la mera observación del cielo a ojo desnudo no proporciona elementos para descifrar la incógnita que plantean las estrellas acerca de su naturaleza, ni para descifrar en forma completa el mensaje que transportan los rayos de luz que nos envían. Eso recién resulta posible en el siglo XIX gracias a una serie de avances técnicos y de hechos que podemos resumir en el siguiente listado:

Principios del siglo XVII: invención del telescopio refractor (Zacharias Janssen, Holanda, 1604, o antes, en Italia)

Fines del siglo XVII: descubrimiento de la refrangibilidad de la luz de distintos colores (Isaac Newton, 1666); invención del telescopio reflector (J. Gregory, 1663; I. Newton, 1668);

Mediados del siglo XVIII: construcción de lentes acromáticas (John Dollond, 1757);

Siglo XIX: auge de la construcción de telescopios astronómicos; observación del espectro solar (Fraunhofer, 1814); invención de la placa fotográfica (1839); enunciación de las leyes de Kirchhoff (1859); fabricación de placas fotográficas secas de gelatina con bromuro de plata (1871).

Es innecesario destacar la importancia de los telescopios y de la placa fotográfica para la investigación

astronómica. Mediante los telescopios podemos observar objetos que no podemos distinguir a simple vista, tanto más débiles cuanto mayor sea el diámetro del telescopio, y, mediante la placa fotográfica podemos registrar imágenes para su estudio detenido y profundizado en el gabinete y para su preservación a los fines de referencias y comparaciones futuras.

Los primeros telescopios usados con fines astronómicos, con los cuales Galileo descubrió las manchas solares, la rotación del Sol, detalles de la superficie lunar, los satélites mayores de Júpiter, los anillos de Saturno, estrellas débiles en algunas regiones como Orión y las Pléyades, y pudo observar que las aparentes nubes luminosas de la Vía Láctea no son sino un conjunto numeroso de estrellas, etc., tenían objetivos no mayores de 5 centímetros de diámetro. Pensemos que el telescopio más grande actualmente en uso es un reflector de 6 metros de diámetro, pensemos en las técnicas que se han incorporado en el siglo XX -célula fotoeléctrica, tubo de imágenes, pantalla de rayos catódicos, computadoras, etc.- y pensemos en la relativamente reciente incorporación al dominio observable de nuevas zonas del espectro electromagnético mediante radiotelescopios y detectores infrarrojos y mediante satélites que permiten estudiar el espectro en el rango de energías correspondiente al extremo ultravioleta y a radiación X y gamma, para aquilatar lo que el astrónomo ha ganado en posibilidades entre 1609 y 1981, es decir, en casi cuatro siglos que han transcurrido desde que Galileo dirigió su telescopio hacia la bóveda celeste.

La observación del espectro solar por Joseph von Fraunhofer, que hemos mencionado como uno de los hitos que jalonan el camino del progreso, constituyó un acontecimiento extraordinario por sus implicaciones y marca el comienzo de la era de la Astrofísica. Isaac Newton había producido un espectro solar en 1672, pero en condiciones tales que no podía observar sino meramente la descomposición en colores de la luz solar: había hecho pasar el haz de luz por una abertura circular y luego por el prisma. Recién Wollaston, en 1802, y Fraunhofer, en 1814-15, utilizaron una ranura estrecha y rectangular como fuente secundaria de luz y pudieron observar que el espectro solar no era simplemente una banda coloreada sino que ésta estaba surcada por líneas oscuras. Wollaston observó 7 líneas y creyó que eran límites entre los distintos colores y, aparentemente, no les asignó mayor importancia. Fraunhofer, en cambio, contó alrededor de 600 líneas oscuras y dibujó (la observación era visual) poco más de 300 de ellas; a las más intensas las designó con las primeras ocho letras del alfabeto, letras que se utilizan aún hoy en día para designarlas, en particular para designar a las dos componentes D₁ y D₂ del sodio y a las componentes H y K del calcio ionizado.

Fraunhofer encontró, además, que los espectros de la Luna y de los planetas exhiben las mismas líneas oscuras que el espectro solar y que, entre las estrellas, algunas tienen espectros semejantes al del Sol y otras tienen espectros diferentes.

Como es bien sabido, si describimos la luz como un fenómeno ondulatorio, a cada color corresponde una determinada longitud de onda. Mediante redes de difracción que construyó Fraunhofer, le fue posible a éste asignar longitudes de onda a un buen número de líneas del espectro solar. Hoy esas longitudes de se expresan en Angstroms ($1\text{Å} = 10^{-8}\text{cm}$) en honor de quien, por primera vez, proporcionara valores patrones de longitud de onda, en 1868.

¿Cuál es el significado de las líneas oscuras que aparecían en los espectros de objetos celestes? Pudo encontrarse la explicación recién unos 50 años después de planteado el interrogante. Y aquí hubo también pasos intermedios pero esta vez en los laboratorios.

A mediados del siglo XIX ya se sabía que cada elemento químico en estado de incandescencia emite un espectro característico de líneas brillantes o de emisión. Las experiencias de laboratorio, particularmente de Foucault, Kirchhoff y Bunsen mostraron, además,

1) que los líquidos y los sólidos (y después se encontró que también los gases opacos) emiten un espectro continuo;

2) que si entre una fuente de espectro continuo se interpone una llama de sodio, el espectro continuo aparece surcado por dos líneas oscuras, exactamente en la posición en que hubieran aparecido las dos líneas brillantes del espectro de la llama de sodio, las que, a su vez, se correspondían con las líneas que Fraunhofer denominara D (D₁ y D₂) en el espectro del Sol (Leon Foucault, 1848). La conclusión de que en el Sol debe existir sodio fue obvia.

La experimentación en el laboratorio continuó, y en 1859 el eminente físico Gustav Robert Kirchhoff pudo enunciar ante la Academia de Ciencias de Berlín su famosa ley que resume los resultados obtenidos y da respuesta al interrogante respecto al significado de las líneas oscuras en el espectro solar. La enunciación de Kirchhoff impartió un impulso tremendo a la espectroscopía de los objetos celestes.

La ley de Kirchhoff establece que «la relación entre el poder de emisión y el poder de absorción para los rayos de una determinada longitud de onda es constante para todos los cuerpos a la misma temperatura», y sus corolarios son los siguientes:

«a) los rayos emitidos por una sustancia excitada de una u otra manera dependen de la sustancia y de la temperatura;

b) cada sustancia tiene un poder de absorción que es máximo para los rayos que tiende a emitir.»

La Tabla 1 da la lista de las líneas más intensas observadas por Fraunhofer en el espectro solar, las letras con que las designó y los elementos a los que corresponden.

Tabla 1
Líneas más intensas observadas por Fraunhofer en el espectro solar

Desig.	Long. de onda (Å)	Identificación
A	7600	0 atm.
B	6867	0 atm.
C	6563	H
D	5890,96	Na I
E	5200	Fe I
b	5184,75,67	Mg I
F	4861	H
G	4300	Fe I
h	4226	Ca I
H, K	3933,68	Ca II

Teniendo en cuenta su ley, Kirchhoff pudo in-

terpretar el Sol como una esfera (sólida o líquida) caliente al rojo, rodeada de una capa gaseosa más fría, la cual contiene los elementos terrestres. Pocos años más tarde, en 1869, Thomas Andrews demostró que la materia, por encima de una cierta temperatura crítica, no podía existir sino en estado de gas; por consiguiente, todo el Sol debía encontrarse en estado gaseoso.

De modo, pues, que nos encontramos con que el Sol y las estrellas son esferas, o cuasiesferas, de gas, donde podemos distinguir el "interior", que es responsable del espectro continuo, y la "atmósfera", que produce las líneas oscuras o de absorción.

En el caso particular del Sol, cabe mencionar y destacar que los eclipses totales habían permitido visualizar a su alrededor, la existencia de una envoltura tenue que se extiende a distancias que, a veces, alcanzan varios radios solares y sobre la cual Plutarco (siglo II) había llamado la atención: es lo que se denomina **corona**. Más aún, la utilización del espectroscopio en los eclipses totales posteriores al de 1842 permitió llegar a la conclusión de que el Sol está rodeado de lo que se denomina ahora una "atmósfera exterior", en la cual distinguimos la **cromósfera**, que se extiende hasta unos 1600 kilómetros por encima de la **fotósfera**, zona que tiene un espesor de 500 kilómetros y en la cual se forman el espectro continuo y el espectro de líneas de absorción, la **corona**, y una **región de transición** entre la cromósfera y la corona, que tiene unos 500 kilómetros de espesor.

El espectro de la cromósfera es un espectro de líneas de emisión en el que predominan el hidrógeno y el helio. En la época en que se estudió por primera vez el espectro de una prominencia, no se había aún descubierto la existencia en la Tierra del elemento "helio", y Sir Joseph Norman Lockyer, en 1868, atribuyó a un elemento desconocido que llamó «helio», una línea intensa que encontró en dicho espectro y que también aparecía en el espectro de la cromósfera.

El espectro de la corona es asimismo un espectro de emisión y durante largo tiempo fue un problema identificar los elementos a que correspondían sus líneas, por lo que fueron atribuidas también a un elemento desconocido que C.A. Young, en 1869, llamó "coronio". Bengt Edlén, en 1941, encontró que, en realidad, las líneas del espectro de la corona correspondían a transiciones prohibidas de átomos altamente ionizados, tales como Fe X, Fe XIV y Ca XV. Dado que la presencia de estos iones requiere temperaturas de excitación muy elevadas, del orden de millones de grados, no se podía haber pensado de entrada que estarían presentes en un objeto cuya temperatura superficial es inferior a los 6000°, y la identificación fue finalmente posible porque se encontraron líneas del "coronio" en el espectro de la estrella simbiótica y nova recurrente RS Ophiuchi.

Las líneas de la cromósfera requieren temperaturas de excitación superiores a los 10000° y las de la corona, temperaturas de unos dos millones de grados. Y, en la región de transición, el rango de temperaturas se estima entre 50000° y 600000°.

La cifra que hemos mencionado de dos millones de grados para la corona ha quedado corroborada -si es que necesitaba corroboración- por la observación del Sol desde satélites, que ha permitido obtener imágenes de la corona en el rango de energías que corresponde a radiación X. Y la temperatura necesaria para emitir en X es precisamente del orden del millón de grados. Con

esas fotografías del Sol desde satélites se ha descubierto la existencia de los así llamados "agujeros coronales", que son zonas de brillo superficial relativamente pequeño en X.

Un aspecto más con respecto al Sol. Es sabido que muchos cometas desarrollan una cola cuando se aproximan al Sol y que dicha cola generalmente apunta en dirección opuesta a aquél. Newton había sugerido que las colas de los cometas eran producidas por la fuerza de repulsión de la luz del Sol.

En verdad, los cometas presentan dos tipos de cola, las de tipo I, que son finas y alargadas, y las de tipo II, que son anchas, difusas y curvadas. En estas últimas, la presión de la radiación parece ser el mecanismo responsable de las mismas; su composición es de partículas sólidas de unos 10⁻⁴ centímetros de diámetro. Las de tipo I, en cambio, que están compuestas de moléculas ionizadas, en su mayor parte monóxido de carbono, son el resultado de la radiación corpuscular del Sol, o "viento solar", como se lo llama, que, a la distancia de la Tierra, consiste en un flujo de hidrógeno ionizado, es decir, de protones y electrones, con una densidad de 1 a 10 partículas por centímetro cúbico y velocidades de alrededor de 400 kilómetros por segundo. El mecanismo que opera en la producción de las colas de tipo I fue sugerido por Ludwig Biermann en 1950.

Los agujeros coronales parecen ser las regiones donde se origina el viento solar de alta velocidad.

La presencia de un campo magnético produce lo que se llama el efecto Zeeman, descubierto por Pieter Zeeman en 1896, que consiste en que las líneas del espectro aparecen divididas en dos o tres componentes, según que la luz emerja paralela o perpendicularmente al campo magnético. Las componentes están polarizadas y la separación depende de la intensidad del campo magnético y del átomo de que se trate. Mediante filtros polarizantes es posible fotografiar las componentes separadamente y determinar la intensidad del campo magnético. El primer astrónomo que determinó campos magnéticos en el Sol fue George Ellery Hale en 1908, descubriendo campos de varios miles de gauss en zonas de manchas. En el Sol existe un campo general débil, del orden del de la Tierra, y regiones donde hay concentración de campos magnéticos cuyas intensidades son del orden de los kilogauss.

El Sol es la estrella que se encuentra más cerca de nosotros y, por consiguiente, es posible observarla en detalle, fotografiar su superficie, utilizar un poder resolvente grande en las observaciones. ¿Existen posibilidades, en el caso de las estrellas, de obtener información semejante a la que se tiene para el Sol?

Desde luego, la utilización de la técnica espectroscópica permite obtener abundante información. Por de pronto, según ya hemos visto, podemos hablar de composición química. No todas las estrellas tienen el mismo espectro, pero las diferencias no implican necesariamente diferencias en los elementos presentes o en la proporción en que se encuentran los mismos sino diferencias en las condiciones físicas de las atmósferas respectivas. En 1863 Sir William Huggins había concluido que en el Sol, en las estrellas y en la Tierra están presentes los mismos elementos químicos.

Dada la diversidad de espectros estelares, era natural que una de las tareas iniciales que se emprendiera al nacer la Espectroscopía Estelar fuera la de clasificar los

espectros de alguna manera. La primera clasificación espectral se debió al Padre Pietro Angelo Secchi, quien la propuso luego de examinar los espectros de más de 4000 estrellas, tarea que realizó en el intervalo 1863-68.

El sistema de clasificación espectral del Padre Secchi fue ampliado en el Observatorio de Harvard, donde se recurrió a la observación masiva de espectros estelares, mediante el uso de prisma objetivo. El nombre de Annie J. Cannon está asociado con esta gigantesca labor que permitió establecer un sistema unidimensional de clasificación que se materializa finalmente en un catálogo que contiene 359082 entradas y que fue publicado entre 1918 y 1924, con dos extensiones posteriores: es el famoso y aún hoy utilizado **Catálogo Henry Draper**. El sistema de clasificación establece, en realidad, una escala de temperaturas que se indica en la Tabla 2.

Tabla 2
Escala de Temperaturas de la
Clasificación Espectral

Tipo Espectral	Temperatura
O	50000°
BO	25000
AO	11000
FO	7600
GO	6000
KO	5100
MO	3600
M5	3000
R	3000
N	3000
S	3000

Los tipos espectrales son designados O, B, A, F, G, K, M, R, N, S y, para cada tipo, hay subdivisiones numeradas de 1 a 10, y, a veces, con fracción decimal.

En 1911, el astrónomo danés Ejnar Hertzsprung tuvo la idea de averiguar qué tipo de relación existe entre los colores (o temperaturas o tipo espectral) y las luminosidades de las estrellas de varios cúmulos y dibujó un gráfico tomando los colores sobre las abscisas y las luminosidades sobre las ordenadas. Por otra parte, dos años más tarde, en 1913, el astrónomo norteamericano Henry Morris Russell emprendió una tarea similar considerando las estrellas en la vecindad del Sol y representando gráficamente magnitudes absolutas contra tipo espectral. La relación entre las luminosidades y las temperaturas superficiales de las estrellas genera el diagrama que después fue denominado **diagrama de Hertzsprung-Russell** y que se utiliza en todo momento en Astronomía, particularmente cuando se habla de evolución estelar.

El diagrama de Hertzsprung-Russell hizo evidente que existen estrellas de temperatura superficial idéntica, o sea, de igual brillo por unidad de superficie, y radios que difieren en factores de casi 2000, y que era, por lo tanto, necesario tratar de llegar a un sistema de clasificación bidimensional, en que uno de los parámetros fuese la luminosidad. Un sistema tal fue propuesto en 1942 por William W. Morgan y Philip C. Keenan, del Observatorio Yerkes. En este sistema de clasificación, denominado originariamente MKK, cada estrella queda definida por un tipo espectral y una clase de luminosidad, que se indica con un número romano; se han podi-

do distinguir seis o tal vez siete clases de luminosidad. Tres décadas atrás, en 1913, Adams y Kohlschutter habían ya encontrado que dentro de un mismo tipo espectral existen líneas que son sensibles a la luminosidad y varían con ella. Con que así, el espectro de una estrella también proporciona información acerca de sus luminosidad, o sea que es posible determinar paralajes espectroscópicas o sea distancias, en base al espectro.

Otro tipo de información que se puede obtener de un espectro resulta de la aplicación del principio enunciado por Christian Doppler en 1842 y que dice que si una fuente de luz se aproxima o se aleja del observador las ondas de luz se comprimen o dilatan, respectivamente, y, por lo tanto, cambia la longitud de onda con que se las observa. Por consiguiente, la posición de las líneas espectrales nos dirá si un objeto se acerca o se aleja de nosotros, o sea, nos dirá cuál es su velocidad radial, es decir, cuál es la componente de su velocidad espacial en la dirección de la visual. La aplicación del principio Doppler nos permite detectar y estudiar sistemas binarios cerrados o espectroscópicos, es decir, sistemas binarios cuyas componentes están tan próximas entre sí que no se pueden ver separadas, con el telescopio, y su carácter de binarias sólo se puede detectar por las variaciones periódicas de velocidad radial.

La primera binaria espectroscópica fue descubierta en 1889 por E.C. Pickering: se trata de la estrella Mizar (zeta Ursae Majoris), cuyo período orbital es del orden de 20 días. La segunda fue Algol (beta Persei), descubierta por H.C. Vogel en el mismo año; este descubrimiento confirmó la teoría de Goodricke con la cual explicaba las variaciones periódicas de brillo que experimenta la estrella y que ya hemos mencionado. Los períodos de las variaciones de brillo y de las variaciones de velocidad radial coincidían.

Actualmente se conocen más de 4000 variables de eclipse y unas 1000 binarias espectroscópicas tienen elementos orbitales determinados.

La espectroscopía estelar es una técnica muy generosa en el rendimiento de información. No creo que sea necesario que hoy me extienda en cada una de las posibilidades que ofrece, sino que tal vez baste que haga una enumeración como la que sigue, aunque no sea exhaustiva:

determinación de la velocidad de rotación,
presencia e intensidad de campo magnético,
extensión, estructura y densidades de la atmósfera,
eyección de material,
pulsaciones,
estructura gaseosa en sistemas binarios cerrados,
masas y, eventualmente, densidades medias, en el caso de binarias cerradas.

Además, en el caso de binarias cerradas que, a la vez, sean variables de eclipse,

elipticidad de las componentes,
presencia de manchas estelares,
oscurecimiento hacia el limbo,
radios de las componentes.

En lo que se refiere al interior de las estrellas, hemos indicado que el primer paso en la dirección correcta, fue llegar a la conclusión de que aquél debía ser gase-

oso. Como consecuencia, las investigaciones teóricas subsiguientes se ocuparon de analizar las propiedades de las esferas de gas en equilibrio y determinar cómo varían la densidad, la presión y la temperatura en función de la distancia al centro. Estas comienzan en 1870 con J. Homer Lane, son consideradas por A. Ritter (1878) y por Lord Kelvin (1887), entre otros, y culminan en 1907 con la famosa obra de R. Emden intitulada "Esferas Gaseosas", clásico en la materia.

Las configuraciones que se consideran en un principio corresponden a los casos de equilibrio convectivo - concepto introducido por Lord Kelvin en 1862-, particularmente en el supuesto de esferas politrópicas, en que la presión y la densidad están vinculadas entre sí a través del denominado índice politrópico n mediante la expresión

$$P = K \cdot \rho^{\frac{n+1}{n}}$$

El concepto de equilibrio radiativo, que fue propuesto por primera vez por J.A. Sampson en 1894 y desarrollado por K. Schwarzschild en 1906 para una atmósfera estelar, fue aplicado por Arthur S. Eddington al caso de los interiores de las estrellas. La primera exposición detallada de esta teoría es presentada por Eddington en 1926, en su libro "Constitución interna de las estrellas".

Los problemas fundamentales que se enfrentaban en el terreno de los interiores estelares eran

- 1) ¿Cómo varían la densidad, la presión y la temperatura en función de la distancia al centro?
- 2) ¿Existe alguna relación entre la masa, la luminosidad y el radio?
- 3) ¿Cuál es el mecanismo de transporte de energía?
- 4) ¿Cuáles son las fuentes de la energía que irradia una estrella?

¿Cuáles son los mecanismos que operan?

Cuando se desarrolló toda la teoría de las esferas gaseosas, la fuente de energía del Sol y de las estrellas era totalmente desconocida. En 1854, Hermann von Helmholtz -y, luego, también Lord Kelvin- había pensado que el Sol se va contrayendo por efecto de su propia gravedad y, en consecuencia, los gases sufrían una contracción y se calentaban. Pero esta teoría tenía sus graves problemas. Se supuso después que la energía resultaba de la transformación de masa en energía, de acuerdo a la ley de Einstein $E = m c^2$, pero se desconocía por completo el proceso que operaba. La incógnita quedó develada recién en 1938 cuando Carl Friedrich von Weizsäcker y Hans A. Bethe, mostraron que el mecanismo de producción de energía en el Sol y en las estrellas es la transformación, mediante reacciones nucleares, de cuatro átomos de hidrógeno en un átomo de helio, lo que produce una pérdida de masa inferior al 1%, equivalente a $6,4 \times 10^{18}$ ergios por gramo de material.

Existen dos ciclos de reacciones nucleares que pueden producir esa transformación, el ciclo denominado CNO, en que el carbono, el nitrógeno y el oxígeno actúan como catalizadores, y la reacción protón-protón. El ciclo CNO es efectivo para temperaturas mayores de 10 millones de grados, mientras que la reacción protón-protón lo es para temperaturas de 10 millones de grados

para abajo.

Una vez que el H del núcleo se ha agotado y la temperatura de éste ha alcanzado los 100 millones de grados, entran en juego otras reacciones nucleares que transforman el helio en carbono. Y así sucesivamente.

La conclusión de que la energía estelar se genera en reacciones nucleares que dependen de la temperatura y composición del núcleo, introdujo un cambio profundo en la Astronomía en la década del 40, fundamentalmente porque ya se podía calcular y hablar de evolución estelar.

Se acepta que las estrellas se forman a expensas del medio interestelar por condensación gravitacional. Dentro de este concepto, una estrella en proceso de formación, una estrella que no ha llegado aún a su configuración de equilibrio, es una estrella que todavía se está contrayendo. Y conocemos estrellas que aparentemente se encuentran en esa etapa de su vida: las llamadas estrellas T Tauri constituyen un buen ejemplo para mencionar, y hay otros.

Por cierto, también se han encontrado estrellas en las etapas avanzadas de su evolución y las enanas blancas y los pulsares o estrellas de neutrones caen en esa categoría. Se trata de estrellas que han agotado las fuentes de energía nuclear en su interior, son pequeñas y muy densas, y la radiación que emiten proviene de la energía térmica, por lo menos en el caso de las enanas blancas.

Los radios de las enanas blancas son del orden del centésimo del radio del Sol, es decir, del orden del radio de la Tierra, y las densidades medias del orden del millón de veces la densidad del agua. En 1914 cuando se descubrió la primera enana blanca, la compañera de Sirio, no estábamos preparados para aceptar densidades tan grandes en el universo y se pensó que había algún error en los cálculos o en las mediciones.

Las estrellas de neutrones, por su parte, estarían caracterizadas por radios de 10 a 20 kilómetros y por densidades unas 100 billones de veces mayores que la del agua.

Hace un momento nos habíamos formulado una pregunta relacionada con el tipo de conocimiento que podríamos obtener acerca de las estrellas en comparación con el caso del Sol y tratamos de responder desde el punto de vista de un espectroscopista estelar "clásico". Pero hay otra pregunta que debe surgir de inmediato ¿Qué han agregado las observaciones con satélites?

Recordemos, ante todo, que mediante cohetes y satélites podemos sortear la barrera de absorción que resulta de la existencia de una atmósfera terrestre y obtener datos en el extremo ultravioleta y en los rangos de energía correspondientes a radiación X y gamma. La Tabla 3 indica los rangos de energía en que proporcionan información los equipos a bordo de algunos satélites importantes.

De los resultados obtenidos quisiera destacar dos que tienen relación con nuestro tema y que pueden resumirse así:

- 1) todas las estrellas pierden masa;
- 2) hay estrellas que poseen regiones de transición y coronas.

Ya se sabía desde hace algunas décadas que las estrellas o por lo menos, que algunas estrellas, deben perder masa en alguna o algunas etapas de su evolución. Esta conclusión era sugerida por la observación de

Tabla 3

Algunos satélites astronómicos importantes

Satélite	Fecha lanzamiento	Longitud de onda	Rango de energías
Uhuru	Dic. 1970		2-10 keV
Copérnico	Agosto 1972	912-3000 A	
HEAO-1	Agosto 1977		0.2-150
IUE	Enero 1978	1150-3200	
HEAO-2 (Einstein)	Noviem. 1978		0.1-1.5
HEAO-3	Sept. 1979		radiación γ

estrellas de tipo tardío (estrellas de temperatura superficial relativamente baja) como alfa Herculis (sg M5 con compañera visual gGO a 47 segundos de arco), de estrellas con líneas de perfil P Cygni, y de estrellas que muestran el efecto de dilución, es decir, de estrellas con líneas de absorción que se originan en una atmósfera extendida, a varios radios de distancia del centro de la estrella. Por otra parte, el hecho de que la etapa enana blanca es una etapa en la cual la estrella, según la teoría, debe tener una masa menor que 1,2 a 1,4 masas solares, sugiere que las estrellas de masa mayor que deben haber sido progenitoras de las enanas blancas actuales, deben haber perdido el exceso de masa en alguna época, durante su evolución.

Pero las observaciones no convencionales, particularmente en el ultravioleta, han mostrado que todas las estrellas, de cualquier clase de luminosidad, pierden masa a través de lo que se ha dado en llamar "viento estelar". Los montos de pérdida de masa van desde unos 10^{-4} ó 10^{-5} hasta 10^{-8} masas solares por año; en general, parecen ser proporcionales a la luminosidad de las estrellas, pero los valores muestran una gran dispersión, la que debe estar vinculada al hecho de que dos estrellas que poseen tipos espectrales similares pueden poseer vientos estelares completamente diferentes. La velocidad de que está animado el material en las capas más externas de la atmósfera exterior llega, en algún tipo de estrellas, a valores que sobrepasan los 3000 kilómetros por segundo.

En cuanto a la presencia de cromósfera, coronas y regiones de transición, podemos mencionar que la presencia de líneas de emisión de calcio ionizado en estrellas de tipo tardío fue interpretada por Olin C. Wilson y M.K. Vainu Bappu, en 1957, como indicación de la existencia de cromósferas. El ancho de esas líneas de emisión está correlacionado con la magnitud absoluta de las estrellas, y la intensidad de las mismas, o sea, la actividad cromosférica, decrece con la edad del objeto. Pero la existencia de regiones de transición y de coronas en las estrellas recién resulta incuestionable cuando los espectros ultravioletas muestran, en muchos casos, la presencia de líneas de resonancia (líneas relativamente intensas más fácilmente excitables) correspondientes a iones que requieren temperaturas de excitación del orden de los 100000 grados.

Si la evidencia apunta a la existencia de regiones de transición, debemos suponer que más hacia afuera debe haber una corona. Y esto fue confirmado por las observaciones con los satélites HEAO, cuya sensibilidad es superior a la del Uhuru. Esas observaciones sugieren

que las estrellas de todos los tipos espectrales irradian en X. Y nos encontramos, entonces, con que las estrellas en general, tienen una estructura atmosférica semejante a la del Sol: una atmósfera propiamente dicha, una cromósfera, una región de transición y una corona, con un perfil de temperaturas que, en términos generales, ha de ser similar.

¿Qué mecanismo produce el aumento de temperatura en la atmósfera exterior de las estrellas?

¿Qué mecanismos producen la pérdida de masa que experimentan las estrellas en forma de viento estelar?

Ludwig Biermann, en 1946, para la cromósfera, y Martin Schwarzschild, en 1948, para la corona, sugirieron que, en el caso del Sol, el calentamiento es producido por disipación de las ondas acústicas que serían generadas en la envoltura convectiva, por el campo de velocidades que se produce y que se muestra en las granulaciones de la superficie.

P. Ulmschneider (1971) ha expresado dudas acerca de la posibilidad de lograr, a la distancia de la corona, un flujo de energía acústica tal como el que se requiere, y, además, parece que no hay evidencias de propagación de ondas acústicas en la corona. En cambio, existen evidencias observacionales de que la forma y extensión de la corona solar está vinculada con la intensidad del campo magnético. En realidad, ésta es una conclusión que hace años se repetía cada vez que se mostraban fotografías de coronas tomadas en ocasión de distintos eclipses.

Friedrich Meyer piensa, entonces, que resulta probable que el calentamiento de la corona sea también de origen magnético, y que se libere energía magnética al desenrollarse el flujo retorcido (por efecto de la rotación solar) que proviene de lo profundo de la zona de convección. Meyer supone que pequeñas estructuras de campo magnético retorcido pueden esconder la forma más importante de transporte de energía en la atmósfera exterior del Sol.

Algunos astrónomos, como Tom Ayres, piensan que, dado que en las estrellas, coronas importantes no se corresponden necesariamente con cromósferas importantes, los mecanismos de calentamiento de la corona y de la cromósfera deben ser distintos. De todos modos, como la teoría de los interiores estelares nos enseña que las estrellas con temperaturas superiores a los 6500° en la superficie, carecen de envoltura convectiva, y, sin embargo, poseen atmósferas exteriores, resulta aparentemente más realista la idea que ha sugerido Meyer para explicar el origen de la energía que produce el calentamiento de la cromósfera y de la corona.

Pero si la energía mecánica que calienta las capas de las atmósferas exteriores de las estrellas está vinculada a los campos magnéticos, ¿significa eso que todas las estrellas poseen campos magnéticos?

La presencia de campos magnéticos puede ser detectada y su intensidad puede ser medida cuando el espectro es de líneas angostas, pero aún en este tipo de espectros no siempre se han podido encontrar evidencias de que existan. Sin embargo, puede haber regiones activas en la superficie de una estrella, como pequeños bolsones de campo magnético, donde la intensidad de ese campo sea elevada, algo semejante a lo que pasa en el Sol. Y en ciertas estrellas se puede detectar la existencia de manchas estelares.

Si bien la idea del calentamiento magnético es

atractiva, es indudable que tal vez existan varios mecanismos que actúen al mismo tiempo y que la importancia relativa de los mismos varíe según el caso. Linsky enumera como posibles mecanismos contribuyentes el campo magnético, la rotación, la zona de convección y la gravedad y la presión en la base de la corona.

Y en lo que se refiere a la pérdida de masa, al viento estelar, ¿cómo se origina? ¿qué lo produce? En realidad, no lo sabemos. Durante un tiempo se creyó que la presión de la radiación en las líneas de resonancia constituía el mecanismo de generación e impulso. Ahora sabemos que no es así y si bien pensamos que una vez generado el viento estelar, la presión de la radiación le imprime impulso, no tenemos la menor idea de cómo se origina ni a qué nivel. A este respecto vale la pena recordar que las observaciones de la corona solar desde la plataforma espacial Skylab, mostraron

a) que las zonas que irradian intensamente en X tienen estructura cerrada en forma de lazo;

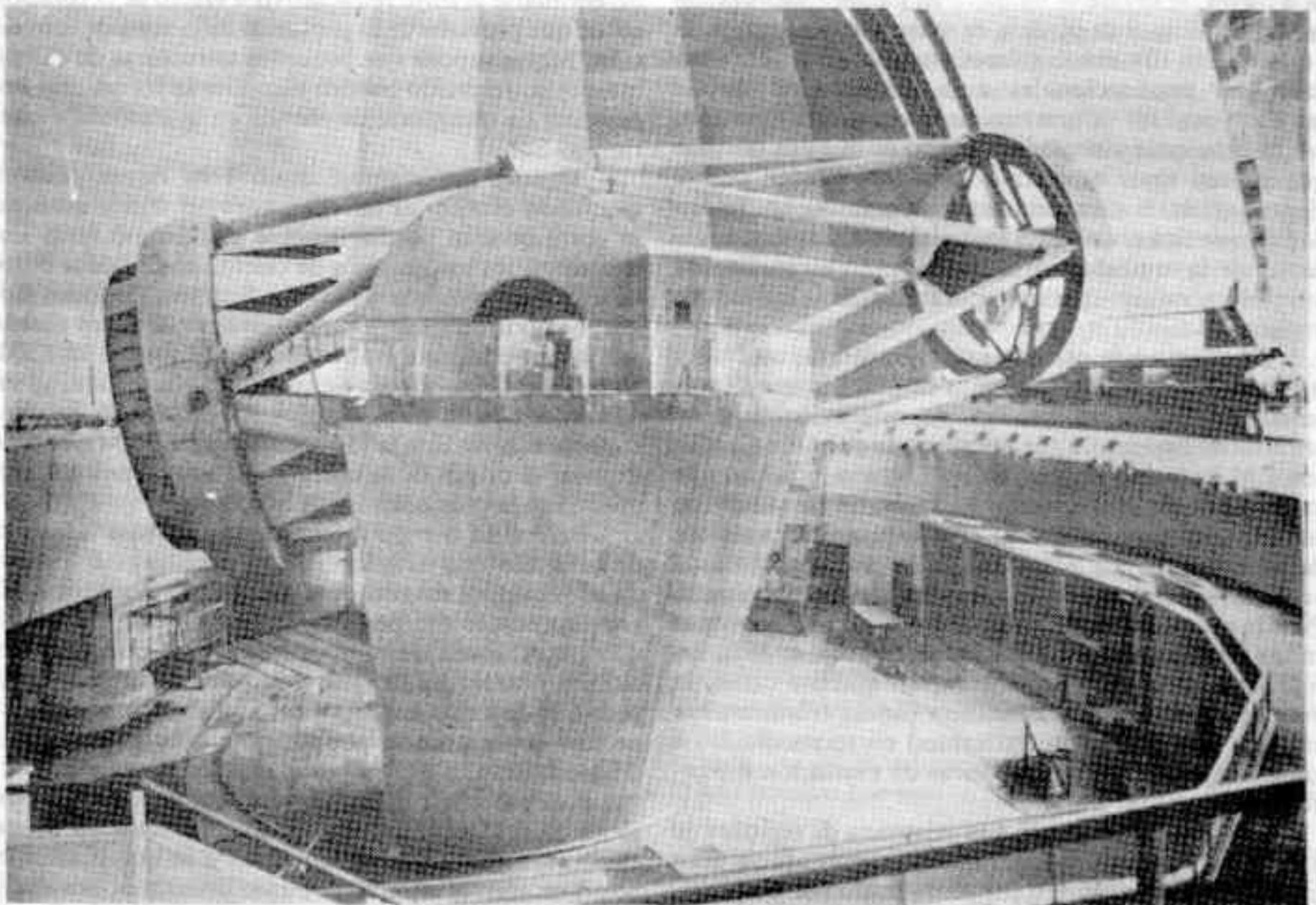
b) que las zonas que irradian débilmente en X, tienen campo magnético débil y estructura abierta y son origen de viento solar de alta velocidad. Parecería, pues, que el campo magnético también juega un papel importante en la generación del viento estelar. Y, una vez más, es posible que no sea necesario que el campo magnético general sea elevado, sino que bastaría que haya pequeñas concentraciones de campo intenso.

Hasta hace algún tiempo se pensaba que los elementos que intervienen en definir la configuración de equilibrio de una estrella y su atmósfera son la gravedad, la rotación, las fuentes de radiación térmica, los mecanismos de transporte de la energía, la presión de la

radiación, la zona convectiva, pero ahora es evidente que igualmente importantes deben ser las fuentes de radiación no térmica, las cuales parecería que deben estar vinculadas de alguna manera a los campos magnéticos. Cuáles son las fuentes de radiación no térmicas que generan los vientos estelares que dan lugar a pérdidas apreciables de masa, y generan formaciones coronales y otros fenómenos, es un interrogante ligado a la problemática de hoy en la astronomía estelar.

Quisiera terminar esta exposición destacando que la capacidad del hombre para razonar, para indagar, para deducir, para producir teorías que expliquen hechos de observación... ha estado y estará siempre presente; y que las circunstancias de que aparezca una mente excepcional que se interese por un problema determinado o de algún progreso técnico que permite obtener información particular, es lo que da lugar a los grandes saltos en nuestro conocimiento. Con que así, la técnica y la ciencia están siempre unidas y avanzan juntas corriendo las fronteras de nuestro saber. Pero, en realidad, se trata de algo que es como un círculo: los avances técnicos generan progresos científicos, pero los primeros no pueden producirse sin que la ciencia, que nutre a la tecnología, haya alcanzado previamente el nivel adecuado.

En los últimos años el cúmulo de nuevos conocimientos que ha provenido de la utilización de la tecnología espacial en la investigación astronómica es tan enorme que aún no se ha dicho todo respecto a muchos problemas. Por otra parte, aún quedan abiertos los caminos para nuevas conquistas y las posibilidades para ir desplazando los límites de nuestro saber más y más. ¿Qué podremos decir mañana?



2) Reflector soviético de 6 m. de diámetro actualmente el más grande del mundo.

Consideraciones respecto del fenómeno "OVNI"

por el Lic. Alejandro Di Baja (h)

La palabra "ovni", formada con las iniciales de las voces "objeto volador no identificado", nace como traducción literal del término inglés equivalente "ufo" (unidentified flying object). Si bien el término resulta suficientemente claro en cuanto a su significado, existe una gran confusión general, debido principalmente al carácter sensacionalista de algunos medios masivos de información, y a la acción consciente o inconsciente de pseudoinvestigadores que adolecen de formación científica y que abordan el tema de una manera parcial, tendenciosa y generalmente no objetiva. De todo lo cual resulta que para el hombre común hoy en día "ovni" es sinónimo de nave extraterrestre tripulada. Lo más pernicioso de esta situación es que un tema de la trascendencia filosófica y científica como la eventualidad de un contacto con hipotéticos viajeros siderales, se ha visto manoseado hasta el punto de perder ése su carácter trascendente, y pasar simplemente a formar parte de la crónica casi cotidiana de los diarios más sensacionalistas, generalmente junto a noticias policiales o deportivas. El hombre común ha perdido la perspectiva crucial de este tema, abrumado por el cúmulo de informaciones tendenciosas, y ha acabado incorporando a los "platos voladores" al marco de su vida cotidiana, asignándole el mismo grado de importancia que, digamos, a una información deportiva. La acción pertinaz de no pocos supuestos "investigadores" poco escrupulosos del tema, contribuye aún más a agravar la confusión. Ya no sólo el mercado está inundado de revistas especializadas carentes del más mínimo rigor científico, sino que además ahora se montan "espectáculos" relacionados con el tema. Hace un par de años un conocido "investigador" del fenómeno "ovni" en nuestro medio montó un "espectáculo" audiovisual, en el que a modo de "ambientación" requirió la colaboración de un grupo de música "rock" local a los efectos de lograr el clima adecuado. Estas "ambientaciones" de música electrónica y afín no son más que versiones tecni-

ficadas de los buhos, bolas de cristal y amuletos diversos de las hechiceras y curanderas inescrupulosas de antaño.

Frente a este panorama distorsionado, el lector culto se siente seguramente desorientado y confundido, ya que le resulta casi imposible discernir las informaciones serias de las que no lo son. En el presente artículo el autor tratará de clasificar de forma coherente todas las posibles explicaciones del fenómeno "ovni"; se comenzará con las más sencillas correspondientes a fenómenos meteorológicos, y progresivamente se irá aventurando en las más osadas. No se pretende realizar una estimación de las probabilidades de cada caso, sino sólo mostrar el amplio espectro de posibles explicaciones, dentro del cual la hipótesis extraterrestre es una de ellas, por cierto la más fascinante.

Fenómenos Atmosféricos y Astronómicos

Seguramente la mayoría de las observaciones de "ovnis" corresponden a esta categoría, la que podemos subdividir en:

- a) Fenómenos atmosféricos convencionales.
- b) Fenómenos astronómicos convencionales.
- c) Fenómenos atmosféricos menos frecuentes.

Dentro de los fenómenos convencionales, podemos citar nubes de formas caprichosas y cambiantes, en especial a la salida y la puesta del Sol; deformación de la imagen solar al ponerse bajo el horizonte; espejismos en los caminos causados por la reflexión de luces en capas de aire de diferentes densidades; etc. Los objetos astronómicos que más a menudo son confundidos con supuestas naves espaciales son el planeta Venus en las épocas de mayor brillo y especialmente cuando se encuentra bajo en el horizonte; y estrellas fugaces en especial si se trata de bólidos de gran luminosidad acompañados de estruendo al producirse su desintegración en la atmósfera.

Fenómenos atmosféricos menos frecuentes resultan las auroras bore-

ales y australes, intensificadas en épocas de intensa actividad solar, y los halos solares, los que pueden asumir formas bastante complicadas. Finalmente cabe considerar fenómenos de la alta atmósfera cuya explicación eventualmente desconozcamos aún.

En general los fenómenos agrupados en esta primera categoría no presentan gran interés ya que su carácter de "ovni" sólo se debe a la falta de información (o formación) del testigo respecto a lo que está observando. Un presunto "ovni" de este tipo dejaría de serlo si la observación hubiese sido hecha por un profesional (meteorólogo, astrónomo, físico, etc.), con la excepción claro está, de los fenómenos de alta atmósfera eventualmente desconocidos.

Fenómenos relacionados con objetos o artefactos voladores

A menudo son confundidos con "ovnis" objetos voladores de fabricación humana debido a condiciones de visibilidad desfavorables, o bien simplemente por una falta de información o conocimiento del observador. Dentro de esta categoría podemos citar los globos sonda, aviones, helicópteros, satélites artificiales, etc. Puede tenerse una idea de la predisposición de la población para ver "ovnis" en el hecho hoy habitual de que cada vez que se lanza un cohete sonda con fines meteorológicos, los que a menudo dispersan nubes de bario, se alerta a la población sobre la naturaleza de la experiencia a los efectos de prevenir malinterpretaciones.

En este grupo podemos incluir una noticia aparecida durante 1979 en la prestigiosa publicación norteamericana sobre óptica "Applied Optics". En ella se daba cuenta de un interesantísimo estudio realizado sobre unos insectos. Se comenzó comprobando que las épocas de mayor frecuencia de observaciones de "ovnis" en cierta región de EE.UU., coincidían curiosamente con las épocas de migración de estos insectos parecidos a polillas. Un es-

tudio más detallado reveló que estos pequeños insectos emigraban en bandadas de miles de individuos (en forma análoga a las formaciones de algunas aves), y que las migraciones eran preferentemente nocturnas. La investigación posterior se encaminó hacia la estructura quitinosa del cuerpo de estos insectos y sus propiedades dieléctricas. Se llegó así a la conclusión que debido a la particular característica de sus cuerpos, estos insectos podían —bajo condiciones de sequedad ambiental favorables— debido al roce con el aire cargarse eléctricamente como un condensador y presentar fenómenos luminosos análogos en cierta medida a los llamados "Fuegos de San Telmo" conocidos y temidos por los supersticiosos marineros de antaño. Las bandadas de insectos resultaron así presentar formas luminosas cambiantes que se desplazaban raudamente por los cielos nocturnos, provocando los múltiples reportes de observaciones de "ovnis".

El ejemplo anterior pone de manifiesto cómo el análisis desprejuiciado y científico del problema permite arribar a conclusiones satisfactorias y consistentes. Sería ingenuo suponer, en una burda generalización, que todas las observaciones de "ovnis" se deben a bandadas de insectos, pero este estudio demuestra que dentro del término genérico "ovni" seguramente se agrupan una cantidad de fenómenos de explicaciones muy diversas. No resulta pues aventurado afirmar que aún restan comprender fenómenos de la alta o baja atmósfera que presenten formas luminosas similares a las causadas por aquel inocente insecto de hábitos migratorios.

Muy recientemente, el 14 de junio de 1980, en nuestro Aeroparque Metropolitano numerosos testigos —y algunos muy calificados como pilotos comerciales con más de 20 años de experiencia— avistaron un fenómeno luminoso de características en principio desconocidas. Lamentablemente la inexistencia de instrumentos de observación en la cabina del aeroparque impidió obtener más información que el mero reporte visual. Un comunicado de la fuerza aérea informó que el suceso no era atribuible a ningún fenómeno meteorológico conocido. Al no existir registros permanente que permi-

tieran proseguir la investigación, no pudo avanzarse en la misma y la noticia —aparecida en primera página de diarios serios— dio pie a innumerables especulaciones.

Hipótesis más aventuradas

En los dos grupos anteriores se han clasificado los fenómenos atmosféricos, astronómicos, biológicos, o simples artefactos de fabricación humana, que pueden dar cuenta de efectos luminosos de variado grado de complejidad, susceptibles de confundirse con "ovnis". Si bien la mayoría de los reportes de observaciones de "ovnis" consisten en formas luminosas de color y aspecto cambiantes y generalmente de contornos difusos, todo lo cual induce a pensar en algún tipo de explicación comprendido en los dos grupos anteriores, también existe un porcentaje de relatos de características mucho más exóticas. Algunos observadores afirman haber observado inequívocos artefactos artificiales voladores de tecnología aparentemente no convencional, e incluso hay reportes de eventuales encuentros con "humanoides". El autor no pretende realizar un análisis teórico de los argumentos para inclinarse ya sea a favor de la veracidad de tales relatos —y las implicancias que encierran— ni esgrimir una posición escéptica que rechace de plano los mismos. **En el presente estado de nuestro conocimiento científico, tanto en lo referente a las teorías de formación planetaria, como a la formación de la vida, sencillamente no sabemos lo suficiente como para poder afirmar categóricamente si la vida —y menos aún la vida racional— es un fenómeno común esparcido por doquier en el Cosmos, o si es el producto de una serie increíblemente compleja de circunstancias fortuitas cuya repetición a distancias accesibles desde la Tierra es virtualmente imposible.** Cualquier valoración al respecto está necesariamente embebida de una fuerte dosis de apreciaciones subjetivas con un marcado contenido en última instancia emotivo.

En su lugar el autor tomará uno de estos relatos exóticos y lo someterá a un análisis lógico desde el punto de vista de la informática. Esto consiste en líneas generales en someter

al relato a una serie de preguntas que admitan como respuestas sí o no, con lo que se va encasillando iterativamente al episodio en "casilleros" mutuamente excluyentes. En realidad, esto no pareciera ser más que un juego dialéctico, pero tiene por objeto mostrar al lector las variadas posibilidades —además de la extraterrestre— que subyacen bajo un relato de este tipo.

Tomemos a modo de ejemplo un relato ampliamente difundido —incluso por TV— al promediar 1978, que daba cuenta de la experiencia supuestamente vivida por tres individuos que se encontraban pescando en un bote en la provincia de San Luis. Según el relato, habría descendido una nave espacial, de cuyo interior bajara un personaje de aspecto humano, y tras saludar a los ocupantes del bote —ante el estupor de éstos— habría ascendido nuevamente a la nave, alejándose raudamente.

Evidentemente un relato de este tipo no cuadra entre los dos grupos anteriores. Procedamos entonces a analizar desde un punto de vista lógico la información. La primera pregunta, un tanto obvia, es si el testigo miente o es sincero. Los defensores acérrimos de la naturaleza extraterrestre de los "ovnis" generalmente descartan esta primera posibilidad, manifestando que el gran número de reportes elimina la posibilidad del fraude. Esto en principio pareciera ser estadísticamente aceptable; sin embargo si meditamos más detenidamente sobre la compleja psicopatología humana, advertimos que no podemos descartar de plano la posibilidad de fraudes.

Seguramente un porcentaje abrumadoramente mayoritario —si no total— de los lectores de esta revista se manifestará incapaz de asesinar con fines de robo, cometer violaciones de menores, u otras perversidades semejantes; no obstante basta hojear la sección policial de los periódicos para comprobar que éstos y otros actos de barbarie son una realidad cotidiana de la especie humana. Frente a estos hechos salvajes, la invención de un relato exótico a los efectos de obtener publicidad personal en los medios de difusión, es en definitiva una "ingenua travesura". Afortunadamente existen hoy en día métodos bastante confiables para

poder determinar si un individuo (y mejor aún en el caso de un grupo de individuos) miente o no respecto a un relato de este tipo. Si bien siempre persiste un margen de duda, como en todo análisis científico, en general los fraudes adolecen de contradicciones internas que es posible poner en evidencia. De todos modos siempre queda un porcentaje de relatos, cuyos testigos aparentemente son sinceros y no resulta posible encontrar un indicio de que mientan deliberadamente. Si no es posible encontrar contradicciones en el relato, todo lo que podemos afirmar es que aparentemente el testigo es sincero. La siguiente opción consiste en saber si el objeto que el testigo afirma haber observado tuvo una existencia concreta más allá de la mente del observador, es decir si realmente existió objetivamente, ya sea como imagen óptica o como objeto material, o si fue el resultado de una alucinación o de un estado hipnótico. La única forma de dilucidar este punto es a través de la existencia de algún registro objetivo, como ser tomas fotográficas claras o huellas inequívocas. Finalmente aún en el caso de contar con un registro fotográfico del objeto, cabe preguntarse si el objeto en cuestión era realmente un objeto material (nave, etc.) o bien alguna suerte de imagen tridimensional proyectada. Una cámara fotográfica no es capaz por sí sola de responder a esta dualidad, ya que ella registra sólo un aspecto parcial de un objeto, cual es su contorno luminoso, y es incapaz de distinguir entre éste y una simulación (por ejemplo una proyección holográfica). Una analogía muy sencilla permite quizás aclarar mejor este punto.

Si tomamos una tarjeta postal, digamos de Londres, y con el equipo adecuado la fotografiamos por ejemplo en película diapositiva, al proyectar posteriormente ésta, difícilmente pueda distinguirse de una toma efectuada realmente en Londres; ¿podríamos convencer a algunos amigos de que estuvimos en Inglaterra! Volviendo a nuestro tema, para dilucidar esta última posibilidad será necesario contar entonces con alguna otra evidencia complementaria del registro fotográfico, como ser huellas en el suelo, o bien algún trozo del objeto.

En caso negativo siempre persistirá la duda de si se trató realmente de un objeto material o de una imagen proyectada (¿deliberadamente?; ¿por quién?).

El siguiente cuadro ilustra esquemáticamente el análisis realizado. Cada casillero da lugar a posibles explicaciones. Como dijera al principio, el autor no pretende realizar un análisis ponderado de la viabilidad de las diversas explicaciones (más allá de las meteorológicas y astronómicas que explican la gran mayoría de los casos más sencillos). En su lugar simplemente comentará algunas generalidades, las que en todo caso motivarán reflexiones personales más profundas de parte de los lectores.

El primer casillero, correspondiente al fraude, evidentemente no aporta nada positivo al tema (en todo caso contribuye a un estudio estadístico sobre conductas enfermizas del ser humano). Los casos interesantes son aquellos en los cuales el testigo no miente deliberadamente. La primera posibilidad dentro de este subgrupo la constituye el testigo que no obstante ser absolutamente sincero, ha sido víctima de una alucinación, o bien sufrido un trance hipnótico. Estados de ansiedad o miedo extremos pueden llegar a falsear nuestros sentidos haciéndonos creer observar algo objetivamente inexistente. En general ante lo desconocido, el hombre experimenta temor, y su reacción es impulsiva e instintiva, todo lo cual contribuye a que sus sentidos le provean de una impresión falseada del fenómeno. La posibilidad de que el o los testigos hayan sido deliberadamente sometidos a un trance hipnótico, crea más interrogantes de los que resuelve. En efecto, cabe preguntarse quién o quiénes producirían estos estados y con qué objeto.

Si seguimos avanzando en el cuadro, descartando la hipótesis de las alucinaciones debido, por ejemplo, a una evidencia fotográfica, tenemos la posibilidad de que el objeto observado haya sido una imagen proyectada. Como en la hipótesis del trance hipnótico, quedan las mismas preguntas sin resolver (quién y para qué proyectaría las imágenes). Finalmente si algún rastro deja prueba de la existencia objetiva del objeto, llegamos al caso

concreto de un encuentro con algo desconocido. La hipótesis extraterrestre es sin duda la más publicitada, no obstante se suelen mencionar otras no menos exóticas, tales como viajeros del tiempo, o una hipotética civilización terrestre no humana (eventualmente habitante de las profundidades oceánicas, o cavernas subterráneas).

Conviene decir algunas palabras respecto a los hipotéticos viajeros del tiempo. A menudo se escucha decir a los pseudoinvestigadores del fenómeno "ovni" que a partir de la Teoría de la Relatividad de A. Einstein, se han abierto las puertas para la posibilidad de viajar en el tiempo. En realidad esta afirmación es otra de las tantas falacias producto de la vulgarización de conceptos científicos que tienen un significado bien concreto. En el marco de la Teoría de la Relatividad, el viaje en el tiempo tal como es mencionado en las novelas de ciencia-ficción, o como explicación para el fenómeno "ovni" en el sentido de ser naves provenientes del futuro, no es permitido. Lo que sí surge de los trabajos de Einstein es que el intervalo de tiempo entre dos eventos no es un invariante al pasar de un sistema de coordenadas a otro. La única alternativa de "viaje en el tiempo" en el marco de la Teoría General de la Relatividad la constituye la del astronauta viajando en una nave con movimiento acelerado hasta alcanzar velocidades cercanas a la de la luz, el que vuelve de regreso a la Tierra al cabo de un viaje a alguna distante galaxia, por ejemplo. Con aceleraciones adecuadas, ese viaje puede demorar escasos 50 años medidos en tiempo "propio" del astronauta; al regresar a la Tierra, empero, encuentra que ésta ha envejecido algunos millones de años. Desde el punto de vista del astronauta, éste ha viajado al futuro, pero resulta un viaje sin retorno. La hipótesis de que los "ovnis" sean naves tripuladas por humanos del futuro requiere empero, un viaje al pasado y, concebiblemente con retorno.

Debe quedar claro que en el marco de nuestras actuales concepciones sobre el Universo esto no es posible. En rigor, más allá de la validez de una teoría (en este caso la Relatividad General), la posibilidad del viaje en el tiempo (hacia el pasado)

va en contra de uno de los principios más firmes de la física, y se diría en contra de toda nuestra lógica estructural; ya que la posibilidad de viajar hacia atrás en el tiempo viola el principio de causalidad. Si bien la evolución de la física y del pensamiento científico en general, ha atravesado procesos de profundas revisiones, la evidencia de la posibilidad de viajar hacia el pasado requeriría un cuestionamiento total de nuestra concepción del Universo, cuestionamiento que probablemente alcanzara a nuestra propia capacidad lógica para interpretar la realidad. A la luz de nuestros conocimientos actuales el viaje en el tiempo (hacia el pasado) debe ser descartado.

Conclusiones

El tema "ovni" es un tema abierto, por lo que el lector no puede pretender obtener de este artículo una conclusión terminante sobre el particular. Dejando de lado la **inmensa mayoría** de las observaciones que responden a explicaciones atmosféricas, astronómicas o a artefactos convencionales, queda un pequeño margen que encuadra dentro del esquema de la figura 1, admitiendo como explicaciones o bien el fraude, o alguna de las hipótesis exóticas mencionadas (alucinación, hipnosis, proyecciones de imágenes, nave espacial). Dentro de éstas la alternativa extraterrestre es seguramente la más fascinante, ya que su verificación pondría al ser humano frente al encuentro —de consecuencias filosóficas, científicas, y aún morales y religiosas difíciles de anticipar— con otras criaturas racionales necesariamente mucho más adelantadas que la humanidad. Contrariamente a lo que predicen los pseudoinvestigadores sensacionalistas y siempre detractores de la ciencia, la comunidad científica no rechaza esta posibilidad, sino en realidad aspira a que algún día se produzca, ya que justamente aquellos hombres que han cultivado en mayor medida su intelecto y se han acercado a la cúspide del saber humano, son los que en mayor grado comprenden las profundas implicancias que sobre la Humanidad toda traería aparejado el eventual encuentro con seres racionales culturalmente al menos unos milenios más avanzados que el Hombre.

El autor considera que el tema "ovni" debería ser analizado con nivel científico por equipos profesionales a través de grupos organiza-

dos por las instituciones científicas oficiales de los diversos países. Sería una manera eficaz de echar luz sobre el tema y terminar con el sensacionalismo pseudocientífico que, a falta de organismos de investigación oficiales, ve libre el camino para su accionar inescrupuloso. Lo acontecido en nuestro aeroparque metropolitano en junio de 1980 demuestra además la importancia de contar con un instrumental adecuado mínimo en las torres de aeropuertos. Un pequeño telescopio refractor con montaje azimutal de apenas 50 mm. de diámetro y unos 50 a 100 aumentos habría permitido sin duda determinar si el extraño fenómeno observado se trataba realmente de un objeto material de forma y contornos definidos, o si por el contrario era alguna suerte de manifestación luminosa difusa producto de algún fenómeno atmosférico extraño. Por otra parte un simple telémetro habría permitido determinar si el objeto se encontraba realmente sobre la cabecera de la pista de aterrizaje, o si en realidad se trató de una cuestión de perspectiva, y el fenómeno aconteció en la alta atmósfera.

Finalmente sería además deseable que junto con el telescopio y el telémetro se contara con una cámara fotográfica siempre cargada, y en lo posible, factible de acoplarse al telescopio, o bien provista de un poderoso teleobjetivo, a los efectos de registrar fotográficamente el fenómeno para su posterior análisis.

La ausencia de estos elementos mínimos en la cabina del aeroparque impidió todo registro complementario de la mera observación visual, por lo que no pudo lograrse una explicación satisfactoria del fenómeno. Ello no impidió por supuesto, que los pseudoinvestigadores sensacionalistas más conocidos explotaran inmediatamente el hecho. Hojeando la sección "espectáculos" de los diarios metropolitanos de aquellos días, el lector podrá comprobar cómo a poco de producido el fenómeno, el mismo era utilizado como "gancho" para promocionar los ya mencionados espectáculos audiovisuales sobre el tema, en los que se anunciaban "revelaciones exclusivas" sobre lo acontecido en nuestro aeroparque.

La formación de un organismo oficial integrado por profesionales de las disciplinas afines (meteorólogos, astrónomos, físicos, psicólogos, etc.), constituyéndose en el centro natural de recepción de la in-

formación que aporten los testigos ocasionales, permitiría paulatinamente eliminar —o al menos minimizar— la influencia que tienen actualmente los pseudoinvestigadores inescrupulosos sobre la opinión pública.

Algunos de los testigos ocasionales, suelen mostrar signos de haber pasado por experiencias traumáticas, las que —independientemente de la naturaleza verdadera del fenómeno que realmente presenciaron— en algunos casos llegan a causar desequilibrios psíquicos transitorios. Por esta razón debería procurarse muy especialmente que el organismo oficial mencionado demostrara una sensibilidad y un tacto especial para con los testigos. En definitiva, se debería transmitir confianza y un deseo sincero de tratar de explicar lo que el testigo ha visto. Nada resulta más negativo y contraproducente que tratar peyorativamente **apriori** al testigo haciéndolo sentir como un individuo torpe e ignorante que simplemente ha visto un fenómeno meteorológico convencional (por más que la mayoría de las veces resulte así **a posteriori**).

Finalmente, el autor considera que los resultados de las investigaciones deberían ser accesibles a la opinión pública en forma franca y total, lo que permitiría acabar con el mito de que detrás del fenómeno "ovni" intervienen "secretos de estado", "razones de seguridad", "secreto militar", u otras formas de ocultamiento de una supuesta verdad develada pero mantenida en absoluta reserva.

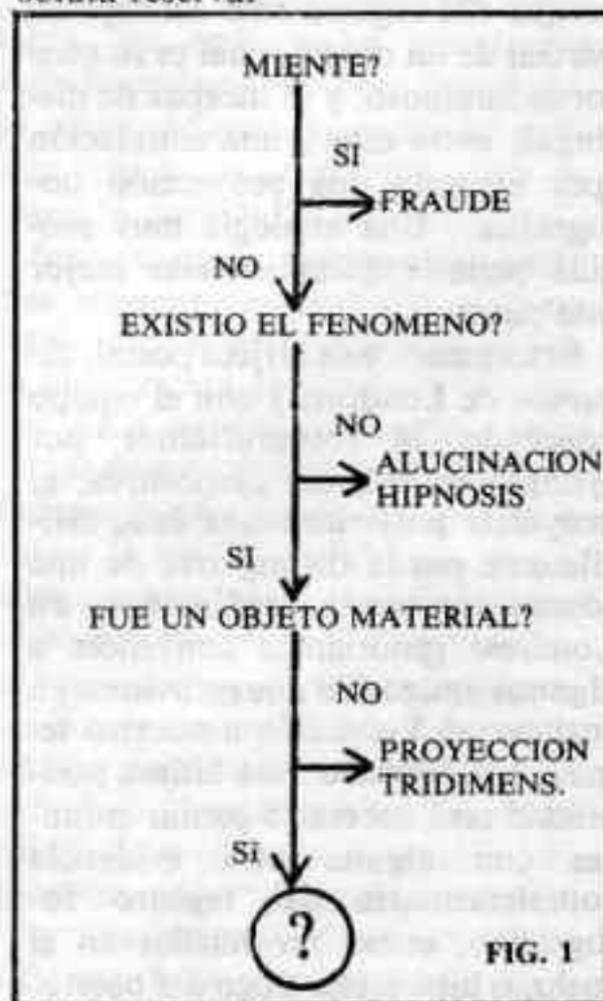


FIG. 1