

*Esto es Boletín*

# EL UNIVERSO

Año I - Santiago de CHILE, Julio - Agosto de 1958 - N.º 7



Nebulosa espiral NGC 3031 - M 81 en la Osa Mayor. (Fotografía obtenida con el telescopio de 200 pulgadas de El Monte Palomar).

Organo Informativo de la Asociación  
CHILENA de ASTRONOMIA

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE

UNIVERSITY



UNIVERSITY

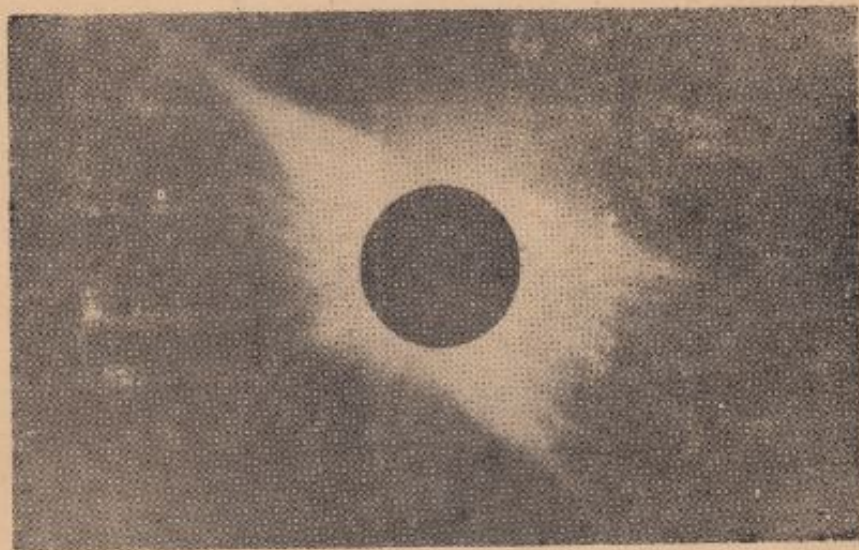
## EL UNIVERSO

Homenaje de  
"EL UNIVERSO"

a toda esa legión  
de astrónomos que, en los cincuenta años de  
existencia del Observatorio Foster han entregado  
a Chile y al mundo el fruto de su ciencia.



PRIMERA CONVENCION LATINOAMERICANA  
de AFICIONADOS a la ASTRONOMIA



12 al 19 de Octubre de 1958





Año I - Julio - Agosto de 1958 - N. 7  
Órgano Informativo Oficial de la Asociación  
Chilena de Astronomía

DIRECTOR:  
Pedro Arredondo Márquez

COORDINADOR:  
Ramón Gomila Caldentey

ASESORES ESPECIALIZADOS:  
Dr. Erich P. Heilmäier K.  
Ing. Tito Figari Goma

REDACTORES:  
Ing°. Juan Gatica Salinas  
Ing°. Miguel Valdez Larrea  
Arqt°. Sergio López Velásquez

## Cincuentenario del Observatorio Astrofísico "Manuel Foster" de la Pontificia Universidad Católica de Chile

El Observatorio Astronómico «Manuel Foster» de la Universidad Católica de Santiago cuenta con un Telescopio reflector cuyo espejo es de 95 centímetros de diámetro, montado según el sistema Cassegrain y equipado con un Espectrógrafo lumínico de gran precisión.

Cincuenta años se cumplirán desde su fundación, esto significa otros tantos años al servicio de los estudiosos chilenos y de la ciencia mundial, al aportar valiosos datos de estos cielos.

Casi una generación completa ha pasado por el camino de la vida desde la fundación del Observatorio, enclavado en una cima del cerro San Cristóbal, en pleno corazón de Santiago. La ciudad ha cambiado, el bullicio de las calles se ha centuplicado, pero el silencio allá arriba, en el Foster, sólo interrumpido por el tic-tac de los cronómetros, se mantiene incólume, marcando el paso inmutable de las estrellas y grabando en la placa sensible todos los secretos de aquellos otros soles que arden a muchos años de luz de nuestra Tierra.

El cincuentenario del Observatorio encuentra al eminente astrofísico, Dr. Erich Paul Heilmäier K. como su Director, quien ha ocupado muchas noches —en años de pacientes investigaciones— estudiando el espectro de una de las estrellas más notables del hemisferio austral, Beta Crucis.

La Cruz del Sur, la constelación más hermosa y la más característica de nuestro

cielo, ha entregado por intermedio de su estrella B-Crucis más de una satisfacción a su esforzado y paciente observador.

«El Universo», nuestro sencillo Boletín ha querido sumarse al jubilo de este cincuentenario y es por esto que, con la publicación de un interesante trabajo de su Director, rinde un homenaje a tan significativa fecha.—

## Ubicación de los grupos observadores del eclipse de Sol del 12 de Octubre

Tanto en el Instituto de Física como en la Asociación se ha tomado todas las medidas del caso para que las diferentes delegaciones extranjeras puedan captar el eclipse en las mejores condiciones posibles. Se ha elegido como punto de observación más apropiado, un montículo cerca de Esmeralda. Ese punto será la central de coordinación para las comunicaciones radiales que gentilmente ha proporcionado el ejército; como también para los aviones que tendrán a su cargo algunas fotografías del fenómeno desde mar adentro. Otros puntos, con sus respectivos grupos de observadores estarán instalados en Pichilemu, lugar en que se ubicará la expedición Suiza.



## NOTICIAS Y COMENTARIOS

### Charlas del Sr. G. Alcaíno en la Universidad Austral

Con el objeto de dar a conocer las actividades de la Asociación Chilena de Astronomía, el 11 de Septiembre ppdo. se dirigió a la Universidad Austral de la Ciudad de Valdivia, nuestro consocio Sr. Gonzalo Alcaíno B., quien dictó tres charlas los días 13, 14 y 16, sobre los temas «Historia de la Astronomía y Sistema Solar», «Sistemas Estelares» y «Teorías modernas del Universo».

Cabe destacar la excelente acogida que se le dispensó al Sr. Alcaíno y el éxito alcanzado en sus charlas, las cuales dieron motivo a encomiables comentarios, tanto en esa Universidad como en el diario «El Correo de Valdivia».—

### Visita del Sr. Secretario del "Centro de Investigaciones Astronómicas" de Valparaíso

Recientemente recibimos al Sr. Secretario del «Centro de Investigaciones y Astronomía de la Universidad Católica de Valparaíso», quien viajó hasta la Capital en visita de cortesía e invitar a nuestra Institución a la Exposición Astronómica que ese prestigioso Centro ha organizado para la semana del 12 al 19 de Octubre y solicitar la presencia de un conferencista.

Debido a que esa Exposición en el vecino Puerto coincide con la celebración de la Primera Convención Latinoamericana de Astronomía, el cincuentenario del Observatorio Manuel Foster de la U. C. de Santiago y la Exposición de Astronomía a la cual concurren casi todos los países del mundo, el Sr. Secretario designó como representante de ese Instituto, para los efectos de la Convención, a nuestro Vicepresidente Sr. Miguel Valdez, quien aceptó tan honrosa como delicada misión quedando, desde luego, inscrito en los registros que le dan plenos derechos a participar, en nombre de la prestigiosa Sociedad porteña en la gestación de la Liga Latinoamericana de Aficionados a la Astronomía.

### Sociedad Interplanetaria CHILENA

Recientemente fué constituida, bajo el patrocinio de la Asoc. Chilena de Astronomía, la Sociedad Interplanetaria Chilena que agrupará a todas las personas interesadas en esta nueva rama de la Física.

Presidente de esta Sociedad es el prestigioso Ingeniero Sr. Ernesto Mayer, quien ha dictado varias conferencias en el Auditorio de Física de la U. C.

### Acusamos Recibo

Hemos recibido una conceptuosa nota de la Sra. Margarita Ots L., quien agradece el envío de «El Universo». Agradecemos sus elogiosos conceptos.—

Desde Lima (Perú) recibimos una comunicación y un interesante trabajo del Sr. Victor Estremadoyro, que daremos en fecha próxima.

### En nuestras próximas ediciones

En los números sucesivos del boletín «El Universo» daremos a la publicidad interesantes trabajos. Del Sr. Victor Estremadoyro, ingeniero peruano y Catedrático de la Universidad Católica de Lima, sobre: «Satélites Artificiales». De nuestro consocio, ingeniero Sr. Ernesto Mayer, «Estudios de la Atmósfera». Del Sr. Gonzalo Alcaíno «Teorías Cosmogónicas Modernas», etc.

En nuestras ediciones próximas continuaremos entregando en forma habitual, el curso de construcción de espejos astronómicos, a cargo de don Miguel Valdez.

### Llegada de Delegaciones

En la semana del 4 al 11 de Octubre empezarán a llegar a Santiago las primeras delegaciones extranjeras a la 1ª Convención Latinoamericana de Aficionados a la Astronomía, que se celebrará en la Universidad Católica.

La más numerosa de ellas será la del Perú que anuncia un arribo de 20 personas.



## NUESTRA IDEA SOBRE EL ORIGEN DEL MUNDO

Desde el momento en el cual la observación de los fenómenos naturales dejó de ser consecuencia únicamente de una necesidad práctica, en que dirigía al espíritu del hombre hacia la admiración y hacia el goce estético del Universo material que lo rodea, considerando en este Universo, la expresión maravillosa de una mano creadora; desde este momento nació el espíritu científico del investigador, concentrándose necesariamente en el problema del origen de nuestro mundo como problema científico. Edad y comienzo del Cosmo, origen y evolución de las estrellas, formación de un sistema planetario, he ahí los problemas céntricos de cualquiera teoría cosmogónica.

Naturalmente, una cosmogonía de por lo menos cierta probabilidad de éxito, un modelo del mundo, en algo por lo menos semejante a la realidad, no será posible si no se basa sobre leyes de la Física, las que poseen validez para todo el Cosmo y las que se pueden extrapolar hacia cualquier estado temporal del pasado y del futuro. Porque las observaciones no nos proporcionan sino una imagen instantánea del estado actual del mundo. Por supuesto que es posible considerar procesos físicos completamente nuevos, hasta el momento ignorados, pero también ellos deben estar de acuerdo con las leyes conocidas de la Física. Sin esta condición nos encontraríamos por completo en el reino de la especulación, la que se opone a las ciencias naturales y exactas. Es por eso que no debemos extrañarnos si, excepción hecha de algunos pocos intentos más o menos serios, sólo durante las últimas dos o tres décadas haya sido posible progresar hacia conocimientos sobre el origen del mundo, los que corresponderán a la realidad en sus partes principales, pero los que seguramente todavía distan mucho de una solución definitiva del problema.

Sobre la edad del Universo es posible llegar a estimaciones bastante seguras, ya que varios métodos llegan hacia el mismo resultado a través de diferentes caminos independientes entre sí. Ahí tenemos primero el descubrimiento de Hubble y otros investigadores sobre el corrimiento hacia el rojo de las líneas espectrales emitidas por las nebulosas espirales muy lejanas.

La única explicación inobjetable hasta hoy, es la basada en el efecto Doppler, según el cual un rayo luminoso aparece tanto más rojizo cuanto mayor es la rapidez con la cual el foco luminoso se aleja de nosotros. A diario observamos el mismo efecto, cuando el tono de una bocina suena tanto más bajo cuanto mayor es la velocidad del auto al alejarse. Ahora bien, este corrimiento hacia el rojo, es proporcional a la distancia de la nebulosa emisora, lo que no se explica sino mediante la expansión del Universo. Es indiferente para nuestras finalidades si esta expansión es consecuencia de una real expansión del mismo espacio en el sentido de la teoría general de la relatividad o si es consecuencia de una explosión al comienzo de los tiempos, o si tal vez, la característica gravitacional de la materia comprende al mismo tiempo una fuerza de repulsión cósmica proporcional a la distancia. De todos modos es posible calcular hacia atrás los movimientos de las nebulosas a base de la expansión observada hasta una época, cuando la materia del Universo se encontraba mucho más comprimida y más densa que hoy. Es por eso que hablamos del comienzo y de la edad del mundo. Según las últimas mediciones llegamos así, a lo sumo, a cinco mil millones de años.

El segundo método para determinar edades se basa en la radio-actividad de ciertos elementos. La velocidad de desintegración radio-activa se caracteriza mediante la vida media, es decir, el tiempo durante el cual se desintegra exactamente la mitad de la cantidad dada. Conocemos muy bien estos tiempos medios y sabemos que son independientes de condiciones físicas externas; de ahí que es posible calcular el comienzo de la desintegración a base de la razón actual entre cantidad de elemento inicial y la del producto final, si se encuentran en cualquier parte indicios de un elemento radio-activo y de sus productos de desintegración. Por medio de las mediciones más diversas efectuadas con minerales y meteoritos, se llega así igualmente a la edad de la Tierra y de los cuerpos deshechos en meteoritos. Son 4.5 mil millones de años con bastante precisión. Del hecho de que este valor coincide con el



anterior podemos deducir que la Tierra y con mayor razón el Sol se haya formado bien al comienzo de toda evolución cósmica.

Las transformaciones radio-activas aquí citadas permiten además, afirmar algo sobre la edad de los elementos radio-activos mismos. Así, por ejemplo: la concentración de los dos isótopos de uranio  $U^{235}/U^{238}$  es actualmente  $1/139$ . Debido a la desintegración mucho más rápida del  $U^{235}$  que la de  $U^{238}$ , esta concentración debe haber sido mucho mayor en tiempos pasados. De acuerdo con las bien conocidas reglas de la frecuencia de los elementos, la aludida razón de ambos isótopos debe haber sido, en un comienzo, igual a  $1/5$ . Así es fácil calcular que también la formación del uranio se haya producido unos 4.5 mil millones de años atrás.

Así mismo, el balance energético de las estrellas y el equilibrio de movimiento de cúmulos estelares, proporcionan otra posibilidad para estimar su edad. Muchas investigaciones al respecto nos conducen al resultado de que en el Universo existen muchos objetos con toda seguridad; más jóvenes que algunos pocos miles de millones de años, pero ninguno, con seguridad, de edad mayor. Unos cuatro o cinco mil millones de años representan, por consiguiente la edad del Universo bastante bien fundada por las observaciones.

Retrocedamos hacia el comienzo de la expansión, hacia el comienzo del mundo. En ese momento la masa total del Universo se hallaba comprimida de una manera no diferenciada hacia una nebulosa primitiva, dentro de un volumen mínimo, de tal modo, que a la temperatura de diez millones de grados podían desarrollarse todas las reacciones nucleares. Esto significa que la materia misma no podía haber comenzado sino en ese momento, y este instante representa el acto de la creación divina.

Según Milne, esta nebulosa primitiva posee forma esférica y las partículas en su interior se mueven con velocidades comprendidas entre cero y las del rayo luminoso. Estas partículas escapan en su movimiento de la esfera, de tal modo que después de algún tiempo, las más veloces se encuentran más alejadas de su posición inicial; las más lentas más hacia el inte-

rior y las dotadas de velocidades más pequeñas aún; quedarán todavía dentro de la esfera. De este modo, se forma un estado de movimientos en el cual las velocidades son proporcionales a las distancias, es decir, el mismo estado que observamos en el alejamiento de las nebulosas espirales. Para la explicación de los impulsos iniciales que hacen volar a la materia del Universo como a los fragmentos de una granada, v. Weizsacker completó las ideas de Milne. Supone que en el interior de la esfera inicial y gracias a las temperaturas extremadamente altas, se hayan producido reacciones nucleares, las que llegaron a la formación de elementos pesados partiendo de los protones. Finalmente esta producción de energía se hizo tan grande que llevó hacia la explosión primitiva, la que marca el comienzo del estado actual del Universo.

Es cierto que esta teoría de la explosión no explica todos los detalles que se encuentran por medio de las observaciones de los últimos años. En especial evita el problema de la estructura del espacio y de la interacción gravitacional de los corpúsculos materiales en el espacio. Es posible que la expansión de las nebulosas espirales represente una característica del espacio mismo. Einstein y De Sitter buscaron soluciones de esta naturaleza, pero solo Friedman, y ante todos Lemaitre las encontraron en forma satisfactoria.

El estado inicial del mundo de Lemaitre comienza con un radio de  $10^{27}$  cm., su masa es de  $10^{55}$  gr. y su densidad de  $10^{-27}$  gr/cm<sup>3</sup>. Según que consideremos como correcto para la densidad actual del Universo el valor de  $10^{-28}$  o  $10^{-29}$ ; hoy en día el radio del Universo se ha justamente duplicado y aún quintuplicado.

En el Universo en expansión de Lemaitre un rayo luminoso ya no puede dar la vuelta al mundo en una forma cualquiera. Pero, depende del progreso de la expansión para conocer la fracción de la circunferencia del Universo, que podría recorrer el rayo luminoso. Al incrementarse el radio del mundo hasta un 3 por mil, el rayo luminoso podría todavía volver hacia su punto de partida, pero solamente después de un tiempo infinitamente largo. Hasta el 7% el rayo alcanzó todavía hasta las antípodas, es decir, en estos tiempos era toda-



vía posible comunicarse con todos los objetos del Universo, mediante señales luminosas o por radio. Desde aquel entonces, nuestro horizonte se está achicando cada vez más.

Otra teoría completamente diferente, desarrollada por Jordan y Dirac, supone que la materia no se forma sino durante el transcurso de la expansión, es decir, que hasta hoy en día todavía perdura la creación desde la nada. De acuerdo con esta idea el Universo nació con dos neutrones dentro de un pequeño espacio expansivo del radio de la longitud elemental atómica. Durante la expansión la energía de gravitación disminuye continuamente y es necesario que materia nueva se forme en la misma proporción para mantener el balance energético. Diez segundos más tarde el radio del Cosmos ya había crecido hacia el radio solar. En ese momento el Universo había alcanzado una masa total ligeramente más pequeña que nuestra Luna. Las partículas creadas en esos instantes ya tenían una masa de un millón de toneladas pero el radio en el momento de su origen espontáneo, solamente de un milímetro, se agrandó a cien metros por causa de la interacción de los demás cuerpos del Universo. En el estado actual del mundo, la materia aparece de inmediato bajo la forma de estrellas enteras y Jordan considera como tales estrellas en realidad nuevas a las Supernovas.

Punto de partida de estas consideraciones son varios hechos empíricos, los que no pueden ser casuales según Jordan. Así, por ejemplo, el radio del Universo es de más o menos  $10^{10}$  longitudes elementales, si lo consideramos como espacio curvo y esférico, y la edad del mundo es igualmente de  $10^{10}$  tiempos elementales. Entendemos como tiempo elemental el tiempo que se demora un rayo luminoso para recorrer la longitud elemental, es decir, el radio del electrón).

Además la masa total del Universo es igual a  $(10^{10})^2$  masas elementales que es la masa del protón, y la relación entre la atracción electrostática y gravitacional entre protón y electrón es más o menos  $10^{40}$ . Pero, según Jordan, esta razón ni siquiera representa un valor constante, sino que es un valor que crece con la edad del mundo. En la misma medida en que el mundo en-

grandece o envejece, se cambia también la relación entre fuerzas gravitacionales y eléctricas y por consiguiente la masa aumenta. Por supuesto, que esta teoría cosmogónica de Jordan, mantenida en sus aspectos principales también por Hoyle, no puede probarse de ningún modo, pero tampoco es posible refutada.

Hasta aquí solamente hemos tratado sobre la evolución del espacio y la expansión de la nebulosa primitiva, es decir, de la materia componente de la nebulosa. Hay que pensar ahora, como es posible que dentro de este Universo en expansión, las nebulosas se condensen a estrellas y sistemas estelares. Es obvio que las estrellas no se hayan formado todas al mismo tiempo, especialmente también, que los tipos estelares más calientes no pueden tener la misma edad de nuestra galaxia en general, porque su energía no alcanza, de ningún modo, a cubrir su fuerte radiación durante tiempos tan largos. Por consiguiente se formaron mucho más tarde, menos de diez millones de años atrás y siguen naciendo aún en nuestros días, de la materia interestelar.

Durante los últimos años se está encontrando cada vez más, que justamente las estrellas jóvenes se encuentran agrupadas en las llamadas asociaciones, de las cuales conocemos unas treinta. Este descubrimiento unido a nuevos conocimientos sobre la Física de la materia interestelar conduce hacia el siguiente mecanismo del origen de las estrellas.

La primera estrella de una asociación se forma a base de una aglomeración gravitacional y contracción de materia interestelar. En general la condensación de esta materia pulverulenta y gaseosa es más importante de lo que antes se sospechaba y hasta es posible que en estrellas ya formadas sobrecompense las pérdidas por radiaciones. Las primeras estrellas nacidas, gracias a su alta temperatura, irradian una inmensa energía, la que en sus alrededores calefacta y ioniza el hidrógeno interestelar. Alrededor de cada estrella se forma una región de iones-hidrógeno, la que se expande debido a su mayor presión. Sin embargo, estas regiones no expandirán como una esfera uniforme, sino que avanzarán en algunas direcciones más rápidas y en otras más lentamente, gracias a las



fluctuaciones locales de densidad. De este modo se originan tubos de gas hidrógeno frío en forma de trompas hacia la región de los iones de hidrógeno, tal como se observan realmente en el gas interestelar y como se conocen desde hace mucho tiempo en la entremezcla de dos líquidos.

Durante la evolución siguiente tales regiones frías se estrangulan y se comprimen por la presión de las regiones iónicas cálidas durante tanto tiempo hasta que se produzca un colapso espontáneo por su gravitación propia y se calienten en su interior tanto, que empiecen a ponerse luminosas, vale decir que aparezcan como nuevas estrellas. El tamaño de estas estrellas nuevas depende de la masa reunida en un comienzo en la región hidrógeno fría. En realidad se observan frecuentemente junto con las asociaciones, formaciones oscuras y redondas en medio del gas iónico luminoso, los llamados glóbulos, los que posiblemente podemos considerar como el pre-estado de una estrella. Las regiones iónicas se alejan siempre de su estrella de origen, por lo cual las asociaciones tendrán que expandirse, hecho que en realidad observamos.

Para poder entender la evolución completa de una estrella, tenemos que hablar primero sobre la producción de energía dentro de las estrellas. Conocemos primero la energía gravitacional, sea ésta originada por el impacto de materia interestelar o sea por la contracción de la estrella misma. Esta energía podrá cubrir las necesidades energéticas de radiación de una estrella del tipo de nuestro Sol a lo sumo unos veinte millones de años. Para estrellas de menor masa resultan tiempos algo más largos, para estrellas mayores tiempos más cortos; la única fuente en realidad suficiente es la energía nuclear. A las temperaturas y densidades reinantes en las zonas más internas de las estrellas existe según Bethe y v. Weizsacker la posibilidad de dos procesos, los que ambos significan en su resultado final, una integración de hidrógeno en helio. El primero es ciclo protónico, en el cual se juntan cuatro protones directamente a un átomo de helio; el otro ciclo del carbono-nitrógeno en el cual se usa el átomo de carbono como catalizador para librar al final helio después de una formación efímera de nitrógeno y

y oxígeno.

Sólo a temperaturas considerablemente más altas de unos doscientos millones de grados entra en acción otro proceso nuclear encontrado por el Padre Jesuita Salpeter, en el cual ya no se quema hidrógeno sino helio. Por eso la producción energética de este proceso es mucho menor. Aquí se unen dos átomos de helio a un isótopo inestable de berilio, lo que a su vez junto con un tercer núcleo de helio origina un núcleo estable de carbono.

Si bien es cierto que la producción de energía cambia la composición química de una estrella es igualmente evidente que este proceso progresa, tan lentamente que es completamente imposible seguir la evolución individual de una estrella mediante la observación directa. Pero en el Universo nos encontramos frente a estrellas en diferentes estados de su evolución. Por consiguiente es posible interpretar la posición de diferentes estrellas una al lado de la otra, como diferentes épocas una después de la otra y poder comprobar de este modo, nuestras ideas teóricas hasta cierto punto con la realidad. Para entender mejor la evolución de las estrellas, quisiera primero referirme al diagrama Hertzsprung-Russell, en el cual se colocan las estrellas según su luminosidad y temperatura o según su valor equivalente a la temperatura. Al cambiar estos valores durante la vida de cada estrella, su evolución se representa como trayectoria en el diagrama Hertzsprung-Russell. Es llamativo, que en este diagrama las estrellas no se repartan uniformemente según las leyes de la probabilidad, sino que prefieren ciertas regiones, faltando en otras por entero. La mayoría de las estrellas, también nuestro Sol se encuentran situadas dentro de la serie principal, la que se extiende desde las estrellas blancas y sumamente luminosas hasta las enanas cada vez más débiles y más rojizas. Aparte se presenta el grupo de las gigantes, que reúne estrellas gigantes de todas temperaturas. Una posición especial ocupan las llamadas enanas blancas. Ellas reúnen altas temperaturas con pequeña luminosidad como consecuencia de su pequeño radio, que es sólo del orden del radio terrestre. Se trata de estrellas de máxima densidad, donde pocos cm.<sup>3</sup> pesarían en la Tierra, una tonelada.



Era la opinión clásica que una estrella empieza como gigante roja, se transforma mediante contracción y el consiguiente calentamiento, en gigante amarilla y estrella blanca en el extremo superior de la serie principal, que enseguida gasta su energía, corriendo a lo largo de la serie principal hacia abajo y que finalmente termina como pequeña estrella roja; pero, por muchos motivos estas ideas son, con toda seguridad equivocadas. Los conocimientos modernos sobre la producción de energía en el interior de una estrella y la actual posibilidad de poder calcular numéricamente relaciones importantes por medio de máquinas calculadoras electrónicas nos dan la justa esperanza, que nuestras ideas actuales sean bastante buenas.

Supongamos que una estrella de cierta masa se haya formado de una nube interestelar, de la manera arriba mencionada; a causa de la contracción aumenta cada vez más la presión en el interior y la temperatura, y finalmente aparece en el diagrama Hertzsprung-Russel como pequeña estrella roja. Al seguir la contracción estelar, su luminosidad cambia relativamente poco a pesar del aumento de su temperatura, por achucarse al mismo tiempo su superficie radiante. Al llegar la temperatura central a más o menos veinte millones de grados, empiezan en el interior de la estrella los procesos nucleares que transforman hidrógeno en helio, es decir, el ciclo del carbono y el proceso protón-protón. En este estado se establece un equilibrio: la producción energética en el interior corresponde a la energía irradiada hacia afuera. En este estado la estrella no cambia durante mucho tiempo. Ha llegado a la serie principal sobre la cual se mantiene la mayor parte de su existencia. El lugar donde llega la estrella a la serie principal depende de su masa inicial, cuanto mayor es esta masa tanto más brillante la estrella, tanto más arriba en la serie principal su ubicación. La serie principal representa el estado normal para estrellas de diferentes masas pero, del mismo estado de su evolución. Esto es evidente porque la gran mayoría de las estrellas están encima de la serie principal.

Cuando todas las reacciones hayan terminado en el núcleo de la estrella, es decir, cuando todo el hidrógeno se ha quemado,

la zona de combustión de los procesos nucleares se desplaza más hacia el exterior, formándose en el interior, primero, un núcleo isotérmico. Este proceso no puede progresar sino hasta que el núcleo isotérmico haya alcanzado el 12% de la masa total, hasta que la estrella haya llegado al famoso límite descubierto por Schonberg. Ya antes de alcanzar este límite crítico, el núcleo se empieza a contraer; la energía adicional librada gracias a la contracción empieza a inflar a la estrella desde adentro, su envoltura se expande, la estrella corre primero lenta, después cada vez más rápida de la serie principal hacia la región de las gigantes. Los cambios en la constitución estelar y la forma de su trayectoria en el diagrama Hertzsprung-Russel, especialmente el cambio de dirección de la curva, dependen en forma bastante complicada de las condiciones físicas y químicas, del contenido en elementos pesados y principalmente del problema, si la estrella se entremezcla continuamente por su rápida rotación, obteniendo así una composición química completamente uniforme, o si esta composición química es diferente en las capas interiores y exteriores, debido a los procesos nucleares.

Cuando empiece la estrella a alejarse de la serie principal, esto también depende de su masa: cuanto mayor es esta, tanto mayor es la producción de energía e irradiación, tanto más rápidamente alcanza el límite de Schonberg. Para estrellas de la misma edad, la serie principal empieza a disgregarse desde el lado de las estrellas calientes. De las estrellas de la edad del Universo, en la actualidad empiezan a alejarse de la serie principal las de doble masa solar. El Sol mismo, durante este mismo período, ni siquiera ha tenido suficiente tiempo para quemar mucho hidrógeno en helio, para dejar la serie principal en forma notable; su paso al estado de gigante no ocurrirá antes de unos diez millones de años más. Esto explica el por qué no encontramos en el diagrama Hertzsprung Russel prácticamente ninguna estrella a la derecha de la serie principal debajo de la doble masa solar. El mundo todavía no es suficientemente viejo para haber producido estrellas de este tipo. A la inversa, las estrellas muy brillantes y calientes, de mucha masa no pueden poseer sino edades de a



lo sumo unos pocos millones de años.

Pero volvamos a la evolución estelar. La evolución hacia estrellas gigantes sigue progresando hasta que se alcance en el interior una temperatura de unos doscientos millones de grados; entonces empieza el proceso Stpeter y otros semejantes, en los cuales se combina el helio a elementos más pesados, tal vez hasta silicio. Simultáneamente empieza el colapso de la estrella, por lo cual disminuye su luminosidad a pesar del aumento de su temperatura; enseguida y por motivos desconocidos la estrella alcanza un estado inestable y empieza a pulsar. En esta región del diagrama de Hertzsprung-Russel no se encuentra ninguna estrella estable y se habla del «hueco de las Variables». La trayectoria final de la evolución estelar la transforma a la estrella probablemente en enana blanca. Pero estas enanas blancas poseen masas mucho menores, lo que nos indica que las estrellas deben perder considerablemente en masa durante la última parte de su evolución. Posiblemente ocurre así en forma de una o varias explosiones del tipo Nova, las que presentarán procesos bien normales dentro de la evolución estelar.

Como vemos, es posible formarnos ideas bastante claras sobre el nacimiento y muerte de una estrella. Pero no nos podemos formar así ningún concepto sobre el mecanismo que lleva al origen de un sistema planetario. Excepción hecha de un gran número de especulaciones poco serias, son principalmente tres los conceptos que se han formado sobre el origen y la evolución del sistema solar y los que pueden servir como base de discusión hasta nuestros días.

A mediados del Siglo XVIII, apareció primero la hipótesis nebular de Kant, según la cual, el sistema en su estado primitivo era una nebulosa cósmica, con movimientos internos desordenados. Por efectos de gravitación, poco a poco se formó una condensación central, a saber nuestro Sol; al lado y a diferentes distancias se originaron, por núcleos importantes, los planetas y satélites, los que circulan alrededor del Sol en el sentido de sus impulsos de rotación primitivos.

Al final del mismo siglo publicó Laplace su hipótesis centrifugal. Según ella, la nebulosa primitiva se componía desde un comienzo, de una masa gaseosa y pulverulen-

ta en rotación ordenada. Por medio de la contracción, su diámetro se achicó, mientras que la rotación se aceleró de acuerdo con el principio de la conservación del impulso de rotación. El Sol primitivo en rotación se acható cada vez más, hasta que en el Ecuador las fuerzas centrifugas sobrepasaron a la gravedad, produciendo la separación de la materia, origen de los planetas. Este proceso después de haberse repetido varias veces, tendría que haber llegado hacia la formación de nuestro sistema planetario actual. Mientras la hipótesis de Kant afirma la formación simultánea del Sol y los planetas; la de Laplace supone, que los planetas se hayan ido separando del Sol uno tras del otro y que los planetas exteriores sean los más antiguos.

De naturaleza completamente diferente es la hipótesis de explosión, enunciada durante las primeras décadas de este siglo y defendida por Jeans y la escuela inglesa en general. Según esta hipótesis, los planetas deben su existencia no a procesos internos sino a la intervención de fuerzas exteriores. Durante el paso muy cercano, tal vez rozante, de una estrella fija desconocida, frente al Sol, fuerzas de mareas le arrancaron materia, la que primero formó un puente entre ambos cuerpos, después se rompió y finalmente se condensó en planetas y satélites, cuando ambas estrellas se alejaron rápidamente una de la otra.

De estas tres concepciones básicas, la segunda, es decir, la de Laplace, se ha abandonado definitivamente. Motivo principal es el hecho que el impulso de rotación actual del Sol no alcanza a más del 1% del contenido en el movimiento de rotación y revolución de los planetas, en circunstancias que éstos en su totalidad, no reúnen sino poco más de la milésima parte de la masa solar. Es difícil concebir mecánicamente, por qué la mayor parte del impulso de rotación haya pasado a una fracción tan ínfima de la masa total durante la evolución continua de un sistema ordenado como es la nebulosa primitiva de Laplace. Dificultades semejantes ofrece también, la teoría de Kant, si bien en forma menor. La hipótesis de Jeans pretende evitarlas con la suposición, que el gran impulso de rotación de los planetas no proviene de la nebulosa primitiva, sino



de la interacción entre ambas estrellas participantes. Por el otro lado, tales hipótesis tienen el defecto que un acercamiento tan estrecho entre dos estrellas fijas es sumamente improbable, al tomar en cuenta las enormes distancias, término medio, entre las estrellas.

Todas estas teorías cosmogónicas antiguas consideran únicamente procesos mecánicos como responsables para la evolución del sistema planetario, desde su estado primitivo hasta su forma actual. La Astrofísica moderna pudo al contrario añadir muchos conceptos nuevos a la discusión. Es interesante constatar que la idea básica de Kant sobre la nebulosa primitiva y caótica, si bien la más antigua y la más sencilla, salió victoriosa sobre las demás. Tal concepto se confirma más aún con las ideas modernas sobre la formación de estrellas de materia interestelar, de los glóbulos antes mencionados. Recibieron nuevo impulso por v. Weizsacker, cuya teoría de turbulencia se ha discutido tan apasionadamente. Pudo comprobar que la nebulosa primitiva, en un comienzo esférica, debe tomar rápidamente la forma de un disco lenticular, bajo la acción conjunta de gravitación y roce interno y que este disco da origen a un núcleo central, el Sol primitivo, rotando en el sentido del impulso de rotación total proveniente de la materia interestelar en turbulencia. La composición química de la nebulosa primitiva debe haber sido en un comienzo la misma que encontramos hoy en el Cosmo, es decir, el 99% pertenece a hidrógeno y helio, el resto a elementos más pesados. Pero los gases livianos, excepción hecha de los que se acumularon en el Sol, se tenían que alejar de la nebulosa bajo la actuación de la radiación luminosa y corpuscular del Sol primitivo que empezó a calentarse rápidamente. Al alejarse así o también por motivos mecánicos de la nebulosa, los gases livianos se llevaron parte considerable del impulso de rotación.

Partiendo de estos conceptos, Kuiper propuso una teoría de la evolución siguiente del sistema, la que podemos considerar hoy en día, como la mejor sentada. La nebulosa primitiva después de haber adquirido la forma de disco, se rompió en el transcurso de su condensación progresiva

en bloques individuales, de los cuales se formaron por medio de la contracción, los planetas primitivos, los llamados protoplanetas.

Podemos suponer, que en forma análoga se hayan formado los sistemas de satélites, dentro de los discos nebulosos secundarios. En el caso especial del protoplaneta tierra, este proceso condujo a la formación de un planeta doble Tierra-Luna. El Sol primitivo habría perdido por fricción con la materia nebulosa vecina la mayor parte de su impulso de rotación adquirido por la contracción: Cuando el Sol se calentó y empezó a emitir radiaciones, ionizó el gas interplanetario, formó en otras palabras, una cierta región iónica, cuya expansión se encargó del alejamiento de la masa principal del disco nebuloso. En la misma forma los elementos livianos se expulsaron de las envolturas gaseosas de los protoplanetas por la radiación corpuscular, tal como lo observamos hoy día, en los gases de la coma de los cometas. La disminución del impulso de rotación así producida, se acentuó aún más debido a un acoplamiento entre el Sol y el gas iónico producido por el campo magnético solar. La extraña repartición del impulso de rotación entre los cuerpos del sistema solar, ya no ofrece dificultades a la luz de estas consideraciones. En relación con estos hechos es de gran importancia, que las estrellas más frías de la serie principal del diagrama Hertzsprung-Russel muestran la misma rotación lenta de nuestro Sol. De ahí que podemos suponer que los procesos aquí mencionados representan un proceso bien normal dentro de la evolución estelar. La masa nebulosa primitiva debería haber alcanzado el 10% de la masa del Sol primitivo, según cálculos de v. Weizsacker y Kuiper. A base de la frecuencia de los elementos en el Cosmo podemos suponer que las masas planetarias alcanzan alrededor del 1% de la de los protoplanetas, después de la expulsión de los gases livianos. Así obtenemos con bastante precisión la relación actual entre las masas de los planetas y del Sol como 1:750. Así mismo ha sido posible que Kuiper haya encontrado una explicación física para la ley de los cuadrados sobre las distancias de los planetas, con sus masas.

La observación de los glóbulos asegura



la existencia de nebulosas primitivas de las cuales pueden formarse estrellas. Según las condiciones especiales reinantes dentro de tal nebulosa pueden haberse formado estrellas dobles, sistemas múltiples o sistemas planetarios. Según cálculos de Kuiper, esto último debe haber ocurrido más o menos en el 10% de todas las estrellas. Si realmente es así, las posibilidades de una basta extensión de la vida en el Cosmos es bastante favorable a pesar de que deben cumplirse simultáneamente muchas condiciones, para que organismos tal cual los conocemos puedan existir sobre la superficie de un planeta.

Al poder hacernos así una imagen aproximada sobre el pasado de nuestro sistema solar, séame permitido añadir al final algunas palabras sobre su futuro. En seis mil millones de años más, nuestro Sol comenzará con la expansión rápida de su radio, la que lo llevara hacia la derecha de arriba en el diagrama Hertzsprung-Russel. Al llegar a su tamaño máximo, el Sol envejecido aumentará su radio hasta un valor treinta veces mayor que el actual y aparecerá en el firmamento como globo rojo oscuro de 15° de diámetro. En este estado el Sol quemará sus

últimas reservas de hidrógeno y helio y comenzará a disminuir lentamente de luminosidad, hasta que haya terminado su evolución como enana blanca.

Pero durante este mismo tiempo cambiarán radicalmente las condiciones en nuestra Tierra. La temperatura aumentará continuamente y cuando el Sol haya alcanzado un tamaño cuatro veces mayor que el actual la mayoría de las manifestaciones de vida tendrán un fin catastrófico. Poco después los océanos alcanzarán el punto de ebullición y en vez de nuestros mares, nubes pesadas rodearán toda la Tierra protegiéndola por lo menos en algo, de las temperaturas más altas. Pero, finalmente, bajará la temperatura de nuevo y los mares se llenarán de agua como en un diluvio. Después se congelarán y todo nuestro planeta alcanzará ineludiblemente la muerte térmica.

Pero cuando esto ocurra, nosotros mismos observaremos toda la evolución del Cosmos desde un punto más allá del tiempo y reconoceremos maravillados mucho mejor que nuestra ciencia, cómo en realidad los cielos alaban la gloria de su eterno Creador.

E. P. H. K.

Santiago Septiembre de 1958.



