

Planetaria

BIOGRAFÍA DEL SOL (II)

Jesús Salvador Giner

jsginer@gmail.com

Vamos a iniciar un breve recorrido por el ciclo vital de nuestra estrella, un ciclo vital de 12.000 millones de años. Empezaremos repasando algunos detalles del Big Bang y de las fases previas a la aparición del Sol, continuaremos con la ignición de la estrella y el nacimiento del Sistema solar, así como la etapa de madurez de aquella (secuencia principal) y sus primeras inestabilidades (gigante roja), hasta las últimas fases de la existencia del Sol (nebulosa planetaria, enana blanca y enana negra).

En esta primera entrega, acabaremos en el momento en el nuestro astro alcanza la madurez, reservando sus etapas finales para un nuevo artículo

1. El inicio y los tiempos previos

Como sabemos, hace alrededor de 13.700 millones de años (figura 1), una gran explosión (el Big Bang) supuso el inicio del Universo a partir de un primitivo punto inextenso de altísima densidad e increíble temperatura, que contenía comprimida toda la materia cósmica. Con anterioridad al Big Bang no existía absolutamente nada: ni espacio, ni materia, ni luz, y el tiempo no tenía sentido. La explosión, que permitió la distribución de materia a través del espacio, se vio magnificada por una fase de expansión ultrarrápida (conocida como *inflación*) que permitió incrementar el volumen exponencialmente en una fracción infinitesimal de segundo. Al expandirse el espacio aumentó su volumen y acabó por enfriarse¹, posibilitando las condiciones para la formación de las primeras partículas (llamadas *quarks*).

En esos primerísimos instantes de vida del Universo ya se distinguían las cuatro fuerzas principales que gobernaban la materia convencional: *gravitatoria*, *electromagnética*, *fuerza nuclear fuerte* y *fuerza nuclear débil*. Sólo un instante después (hablamos quizá de una millonésima de segundo...) se

crearon las circunstancias favorables para que los quarks interaccionasen entre sí y formasen *protones* y *neutrones* y, posteriormente, *electrones*. De ahí sólo hay un paso (que duró aproximadamente unos tres minutos) hasta la unión de protones y neutrones, constituyendo los primeros núcleos atómicos de *hidrógeno* y *helio*. Cuando este proceso finalizó el Universo estaba uniformemente saturado de estos núcleos, y al disminuir aún más la temperatura a causa de la expansión, las partículas se desplazaron a menores velocidades, favoreciendo que

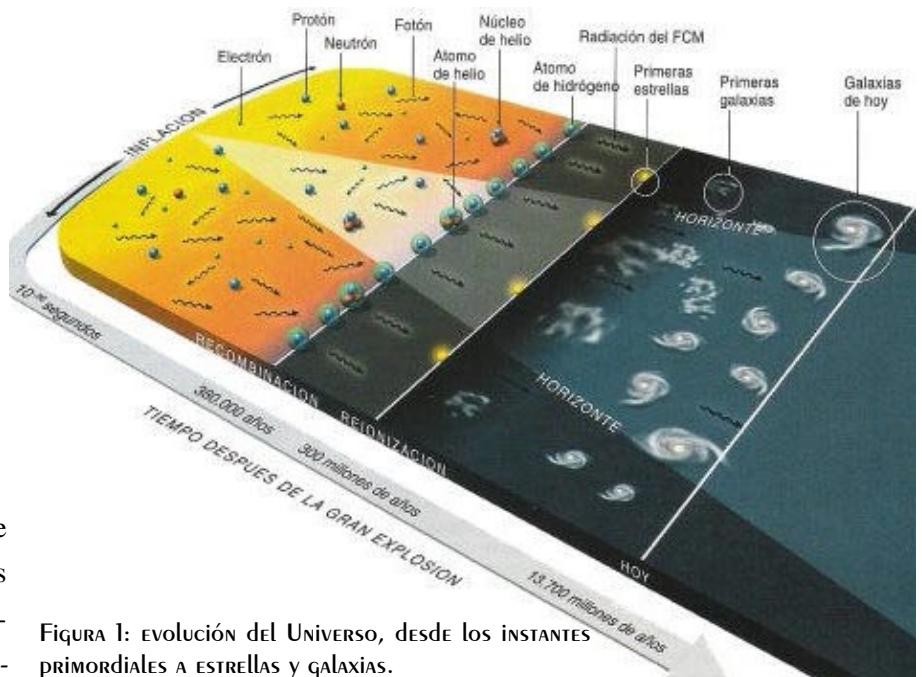


FIGURA 1: EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO, DESDE LOS INSTANTES PRIMORDIALES A ESTRELLAS Y GALAXIAS.

los electrones, hasta ese momento aislados, se aproximaran a los núcleos de hidrógeno y helio. En un plazo de un millón de años desde el Big Bang, los electrones

consiguieron anexionarse con los núcleos (ya que las cargas opuestas se atraen y, como también sabemos, los electrones tienen carga eléctrica negativa y los protones positiva) y las fuerzas nucleares (que actúan a modo de gancho) los mantuvieron estables y acoplados.

Así nacieron los primeros átomos del Universo, de hidrógeno y helio, los constituyentes fundamentales del mismo. Estos dos átomos estaban por todas partes pero, debido a razones que aún hoy no comprendemos, en lugar de permanecer uniformemente distribuidos tendieron a agruparse en grupos multitudinarios. Al aumentar la densidad atómica se formaron *campos gravitatorios*², cada vez más intensos a medida que la zona de alta densidad iba ganando más y más átomos. Esto organizaba nubes de átomos de hidrógeno y helio de enormes dimensiones, rodeadas probablemente de *materia oscura* que evitaba la disgregación de la conglomeración.

Estas masas de gas gigantescas eran los embriones de las actuales galaxias, formándose éstas por fusión de varias de aquellas posteriormente. A menor escala el proceso tendía a repetirse, formándose nubes más pequeñas con sus propios campos gravitatorios intensos que obligaban a la nube a contraerse. Su región más densa (generalmente el centro, por motivos gravitatorios), formaba un denso núcleo, que se contraía cada vez más rápido en virtud del enriquecimiento constante de nuevo material. Su temperatura aumentaba sin parar por la fricción entre sus partículas componentes y entonces, en un momento crítico, el interior de la nube pudo generar las condiciones necesarias para que se desarrollaran las primeras *reacciones nucleares*, permitiendo que empezara a emitir luz propia como una *estrella*. Tales estrellas, las primeras en brillar en el Universo primitivo, se llaman por motivos obvios *primitivas* (o también *primigenias*), y aparecieron probablemente sólo unos pocos centenares de millones de años después del Big Bang, mucho antes de la formación completa de las galaxias. Sus características eran portentosas: poseían una masa de entre 100 y 1.000 veces la solar, un tamaño entre 5 y 15 el solar, brillaban entre 1 y 30 millones de veces más que el Sol y su superficie bullía a 100.000 grados (la del Sol apenas alcanza los 6.000³). Estos astros gigantescos fueron como los Adán y Eva humanos: los primeros miembros de la estirpe estelar

del Cosmos.

La vida de toda estrella viene determinada por su masa en el momento final de formación. Cuatro átomos de hidrógeno pueden convertirse en uno de helio, proceso denominado *fusión nuclear* que habilita a la estrella para brillar durante mucho tiempo. Una estrella primigenia, tan masiva, contenía en su seno enormes reservas de hidrógeno; pero sus vidas fueron muy cortas, porque pese a disponer de tanta materia en su interior brillaban tanto que consumían ingentes cantidades de combustible nuclear, de modo que agotaban sus depósitos muy rápidamente⁴. Los astros no forman otros elementos químicos mientras consumen hidrógeno y lo convierten en helio; pero cuando el hidrógeno se acaba el núcleo estelar, muy caliente y denso, permite que los numerosos átomos de helio choquen entre sí a alta velocidad y con frecuencia; algunos pueden entonces unirse con otros, y si se ensamblan tres de ellos se forma un átomo de *carbono*. Sucesivas combinaciones de átomos de helio, posibles en función de las condiciones internas de la estrella, forman otros elementos que hasta ese momento no existían: cuatro átomos de helio integran uno de *oxígeno*; cinco, uno de *neón* y seis átomos de helio constituirían el *magnesio*. Así, poco a poco y a medida que el interior de las estrellas incrementa su temperatura, se forjan los elementos químicos con que se moldea el Universo, y que posibilitará la formación de otras estrellas, planetas, y materia viva. Pero, ¿cómo se expulsan dichos materiales pesados al Cosmos?

Cuando las estrellas primigenias generan en su fuero interno elementos pesados sufren fuertes y terribles desequilibrios y tras un corto tiempo el núcleo ya no puede ofrecer más energía ha consumido todo el helio, convertido en los átomos pesados, y estos a su vez se han fusionado para formar otros más masivos, que se agotan velozmente. En tales circunstancias la estrella primigenia no puede mantenerse estable por más tiempo y sus capas internas, sin combustible, padecen terribles temblores que finalizan en el colapso final de la estrella. Rebotando desde el centro hacia la periferia, las capas internas alcanzan la superficie, el astro se desmorona y desploma sobre sí mismo y estalla en forma de *supernova*⁵ (figura 2), lanzando quizá como agonía final un infernal estallido de rayos gamma de enorme energía.



FIGURA 2: LA EXPLOSIÓN DE LA SUPERNOVA 1987A, EN LA GRAN NUBE DE MAGALLANES, EN FEBRERO DE 1987. EN LA FOTOGRAFÍA DE LA IZQUIERDA APARECE LA ESTRELLA PROGENITORA SEÑALADA CON UNA FLECHA, UN DÉBIL ASTRO LLAMADO SK 202-69. A LA DERECHA LA MISMA ESTRELLA, QUE AUMENTÓ MILLONES DE VECES SU BRILLO AL ESTALLAR COMO SUPERNOVA. (ANGLO-AUSTRALIAN TELESCOPE)

Las explosiones tipo supernova en los primeros cientos o miles de millones de años de vida del Universo fueron enriqueciendo paulatinamente las densas nubes moleculares de gas presentes en los brazos de la joven Vía Láctea, dispersando los metales que antaño crearon en sus interiores las estrellas primigenias y las generaciones estelares sucesivas. Los estallidos de supernova suelen generar una onda de choque tal que, al alcanzar a las nubes de gas y polvo, las comprimen y elevan su temperatura (figura 3). Las estrellas primigenias, que abandonaron el escenario de la Vía Láctea hace muchos miles de millones de años, legaron pues a sus descendientes el fértil material que moldearon en sus núcleos. Astros posteriores de Población II, una vez formadas las primeras galaxias, recogieron el valioso testigo de metales y los añadieron a sus propios constituyentes, produciendo estrellas masivas que, a su vez, terminaron sus cortas vidas estallando como supernovas. Nuevamente, estas explosiones nutrirían las nieblas de gas galácticas dotándolas de abundantes sustancias pesadas.

De este modo, gracias a la muerte explosiva de viejas estrellas el espacio dispone de elementos pesados que pueden arremolinarse en torno a una joven nube molecular de gas y, tras la formación del astro principal, servir de materia básica para la aparición de planetas, los cuales precisan de dichos elementos pesados para su

constitución.

2. Origen de nuestra estrella y el sistema solar

Si fuésemos espectadores externos a la Vía Láctea y nos hallásemos en sus alledaños exteriores hace algo más de 5.000 millones de años, puede que por viéramos la explosión, en forma de supernova, de alguna de sus macizas estrellas de Población II. Advertiríamos entonces a una joven Vía Láctea repleta de brillantes regiones de gas y polvo, nebulosas como racimos de luz dispersos por sus brazos en remolino, y entonces un punto de extraordinaria luminosidad atestiguaría el ocaso definitivo de una estrella moribunda. Percibiríamos su onda de choque (gracias a los efectos que produce en el gas) atravesando progresivamente el espacio y alcanzando las

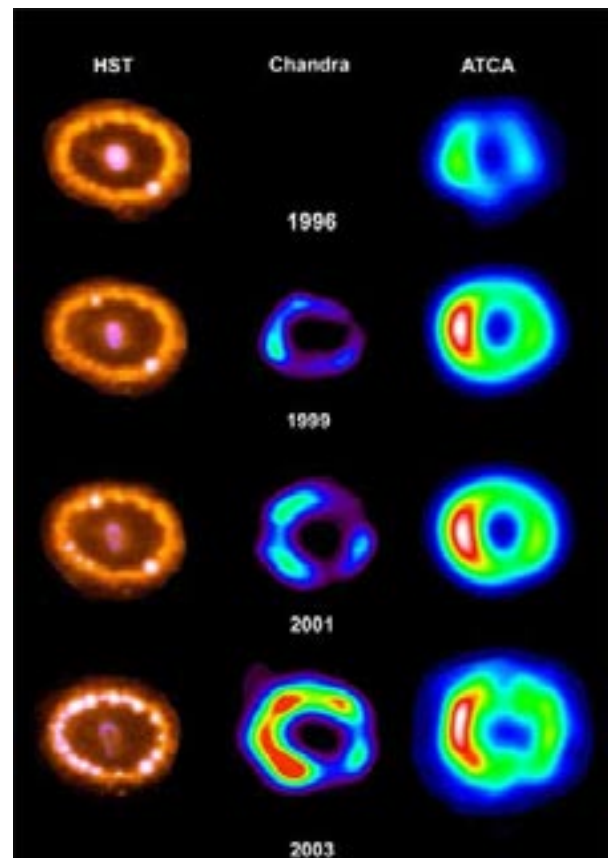


FIGURA 3: IMÁGENES TOMADAS POR EL HST EN LUZ VISIBLE, EL TELESCOPIO ESPACIAL CHANDRA EN RAYOS X Y EN ONDAS DE RADIO (RADIOBSERVATORIO ATCA), QUE MUESTRAN LA EVOLUCIÓN DE LA ONDA DE CHOQUE DE LA SUPERNOVA 1987A DESDE 1993 Y CÓMO AFECTA, EXCITÁNDOLO, AL MATERIAL EXPULSADO EN LA EXPLOSIÓN [R. MCCRAY (U. DE COLORADO), D. BURROWS Y S. PARK (U. DEL ESTADO DE PENNSYLVANIA), Y R. MANCHESTER (AUSTRALIA TELESCOPE NATIONAL FACILITY)]

proximidades de una desconocida nebulosa (de la que emergería más adelante nuestro astro) rica en metales. Al hacerlo, su material sufriría un aumento notable en temperatura al ser intensamente comprimido, y el campo gravitatorio de la nebulosa tendería a hacer caer el gas hacia el centro de la nube, la zona más densa.

Esta nebulosa, la nebulosa solar primitiva, había vivido hasta entonces sosegadamente, aislada de influencias externas excepto por la constante y lánguida aportación de materiales pesados procedentes de supernovas anteriores, acumulando gas y polvo, compactándose gracias al intenso campo gravitatorio y uniéndose cada vez con mayor celeridad a la materia en el centro de la nube. Los átomos que la formaban ya no podían escapar en gran número al espacio, aun calentándolos a altas temperaturas, debido a la intensa fuerza gravitatoria de la nebulosa, y la nube tendía poco a poco a ganar tamaño gracias a la anexión del material presente en sus alrededores. A medida que crecía, su campo gravitatorio adquiría mayor intensidad, atrayendo sin cesar más masa en una poderosa retroalimentación cósmica. La protonebulosa solar había mantenido cierto equilibrio, que duró tal vez millones de años, mientras las supernovas explotaban a distancias lejanas; mas cuando tuvo lugar una de ellas en sus cercanías (digamos, a unas decenas de años luz), causó graves y terminales inestabilidades en la materia arremolinada.

Entonces la temperatura del centro de la nebulosa fue aumentando sin descanso. El aporte constante de material y el fermento energético en forma de onda de choque de la supernova cercana hizo que el corazón nebuloso elevara la excitación de sus átomos a un nivel de increíble actividad. La fricción entre ellos fue tan elevada que el aumento de la temperatura se desbocó, pasando de miles de grados a centenares de miles, y más todavía, hasta que llegó un instante mágico en el que el centro de la nebulosa alcanzó los quince millones de grados de temperatura convirtiéndose, finalmente, en una estrella. Emitiendo los primeros rayos de luz visible auténticamente suyos (hasta entonces tan sólo escapaban de la protoestrella radiaciones menos intensas, de tipo infrarrojo) y despidiendo ráfagas de materia incandescente como señal de su despertar, el recién nacido Sol entraba a formar parte de la familia estelar de la Vía Láctea.

Aunque acabamos de desarrollar muy someramente la formación del Sol a partir de la explosión de supernovas, hay otros procedimientos⁶ para el nacimiento estelar que esclarecen mejor el origen de estrellas en otras condiciones físicas. Sin embargo, fuera cual fuera el procedimiento por el que el Sol inició las reacciones nucleares es innegable que la protonebulosa fue enriquecida con materiales pesados; de lo contrario no hubieran podido aparecer los planetas que acompañan al Sol⁷ en su trayecto por la Vía Láctea, sobretodo los rocosos como el nuestro, y la misma composición solar sería radicalmente diferente.

Ahora sabemos ya cómo vino a la vida el Sol, pero ¿cómo lo hicieron, por su parte, los planetas? La idea clásica de la formación de los planetas a partir del colapso de una nebulosa en rotación tiene sus raíces en el siglo XVIII⁸, y se debe al filósofo alemán Inmanuel Kant (1724-1804, figura 4).



FIGURA 4: INMANUEL KANT, PRINCIPAL filósofo de la edad moderna. FUE EL PRIMERO EN ELABORAR UNA hipótesis SOBRE LA FORMACIÓN DE NUESTRO SISTEMA SOLAR A PARTIR DE UNA NEBULOSA DE GAS EN ROTACIÓN.

Casi hasta la época de Kant apenas se habían alzado voces en contra de la visión teológica de la creación del mundo. En la Biblia se decía que “*al principio, Dios creó el cielo y la tierra. La Tierra estaba desierta y sin nada, y las tinieblas cubrían los abismos mientras el espíritu de Dios aleteaba*

sobre la superficie de las aguas”. Pese a la carencia en los textos sagrados de evidencias o argumentaciones para sustentar tal afirmación (el testimonio de los apóstoles, creían entonces, era *suficiente* argumentación), esta doctrina estuvo en boga y fue corroborada por filósofos y científicos de primera línea (como el mismísimo Isaac Newton) prácticamente hasta mediados del siglo XVIII.

Pero a partir de 1740 se inició un periodo de discusión de las ideas e hipótesis orientadas, precisamente, a la crítica de la ideología religiosa, y en particular a la cosmogonía basada en la Biblia. Hacia mediados del siglo XVIII Kant se hallaba en Prusia oriental

trabajando como profesor privado, y un día conoció el libro de Thomas Wright “*Una teoría original o nueva hipótesis sobre el mundo*”, de 1750, en el cual su autor describía el Universo como sistemas de esferas y anillos de estrellas encapsuladas dentro de la Vía Láctea, con el Sol en su interior. Ésta idea estimuló a Kant y le llevó a publicar su visión propia de la estructura del Universo, desarrollando la hipótesis de que las nebulosas elípticas que se veían en el cielo (como M31, que por aquel entonces se consideraba como tal, y no una galaxia), eran entidades externas a la Vía Láctea y alejadas de su influencia. Ahora sabemos que Kant estaba en lo cierto, pero la ciencia no pudo demostrarlo hasta fechas tan recientes como 1920.

Aquella obra de Kant, impresa en 1755, se llamaba *Historia general de la naturaleza y teoría del cielo*, e incluía un apartado muy sugerente en el que se hacía referencia a la formación del Sol y del sistema solar a partir de una nebulosa de gas y polvo en rotación. Kant escribió lo siguiente acerca de su teoría: “*Supongo que toda la materia que constituye las esferas de nuestro sistema solar estaba al principio descompuesta en sus elementos primarios y llenaba el espacio [...]. En una región del espacio llena de este modo, un reposo universal durará sólo un instante. La materia comienza inmediatamente a organizarse y a formarse por sí misma [...]. Los resultados del proceso consistirán en la formación de diferentes masas*”, masas que correspondían, según Kant, a los planetas. Una vez el Sol se había originado en el centro de la nebulosa, ésta empezaría a emitir una serie de anillos de material, a partir de los cuales la materia se reorganizaría de nuevo y constituiría los planetas. Repitiendo el proceso a pequeña escala, se podrían formar lunas en torno a los planetas. Un aspecto fundamental de su teoría era que la nebulosa tendría forma de disco plano y los planetas tenderían a situarse en el plano del ecuador de la misma, lo que corresponde muy bien a la realidad. Tal propuesta era la primera hipótesis acerca del nacimiento del Sol y los planetas elaborada sobre la base de una nebulosa, y exenta además de artificios o factores teológicos.

Pese a ello, la teoría de Kant no tuvo demasiado eco en la sociedad científica de su época, pues el editor que publicó el libro quebró a los pocos días y la mayoría de las copias de la obra se confiscaron para pagar a los

morosos. Pasó casi medio siglo antes de que un naturalista francés, Pierre Simon de Laplace (1749-1827), resucitara las ideas del alemán en su volumen *Exposición del sistema del mundo*, de 1796. Pero Laplace no sólo recogió la teoría kantiana; la dotó de un esqueleto científico, apoyándose en expresiones matemáticas que trazaban la física de la nebulosa, otorgándole un acabado mucho más consistente. Laplace mejoró, además, la hipótesis nebular, solucionando algunas de sus lagunas, pero sin poder superar finalmente importantes problemas dinámicos y físicos que generaba una nube de gas rotativa y que, a la larga, supondrían el abandono de esta hipótesis en el siglo XIX, cediendo entonces el protagonismo a otro tipo de teorías que se ajustaban mejor al nuevo paradigma científico de la época.

En realidad estas nuevas teorías, de corte catastrofista, eran reelaboraciones de las antiguas ideas del conde de Buffon. La propuesta original de Buffon suponía que un cometa había pasado muy cerca del Sol (ya formado) en tiempos pretéritos. Debido al encuentro cercano entre ambos, el cometa (que Buffon estimaba de un tamaño similar al solar) habría expulsado material propio y del Sol al espacio, parte del cual se perdería y parte acabaría reunido en globos incandescentes, que girarían en torno a la estrella y constituirían más tarde los planetas. Sin embargo, ya en la época de Laplace se descubrió que los cometas tenían masas insignificantes, y que de ninguna manera podían sustraerle al Sol el material necesario para formar planetas; por tanto, si los cometas no servían para tal fin, había que buscar un astro de gran masa capaz de semejante logro. La propuesta fue todo menos imaginativa: un choque entre estrellas, naturalmente...

Si bien era imposible demostrar de alguna manera cómo podía un encuentro próximo entre dos estrellas descomponer parte de ambas para, con posterioridad, formar con sus fragmentos nuevos mundos, la escasa consideración que a los científicos les merecía la hipótesis nebular de Kant-Laplace hizo que, con los años, se sucedieran las revisiones y actualizaciones de la hipótesis catastrofista, y sus fundamentos acabaron siendo aceptados paulatinamente. Ahora bien, si para formarse unos pocos planetas era necesario el encuentro cercano entre dos estrellas, un acontecimiento que según las leyes físicas y de mecánica celeste era harto improbable, entonces la existencia de nuestro sistema solar era casi

un milagro; la posibilidad de hallar otros sistemas planetarios, en consecuencia, era virtualmente nula.

Pero dado que no se disponía aún de una base teórica firme que sustentara la propuesta general y como, además, el posterior análisis matemático (ya en el siglo XX) de tales circunstancias cósmicas demostró que un proceso semejante no habría producido un sistema solar como el nuestro, la hipótesis catastrofista también fue con el tiempo perdiendo adeptos, por lo que a mediados del siglo pasado había dos propuestas sobre el origen del sistema planetario, pero ninguna de ellas resultaba físicamente adecuada; de hecho, tras algunas discusiones al fin ambas, la nebular y la catastrofista, fueron completamente rechazadas. Y puesto que no se disponía de otro marco teórico en el que basar las observaciones y sin nuevas investigaciones sobre el tema, el asunto del nacimiento de los planetas fue (literalmente) ignorado durante más de una década.

Sólo a principios de los años sesenta los estudios tomaron por fin nuevos rumbos y pudo vislumbrarse una solución al problema, a partir de una serie de observaciones pioneras relacionadas con la detección de nubes de gas y polvo en torno a otras estrellas, que parecían contener, como señalaba la hipótesis nebular, todo el material pesado necesario para la futura aparición de planetas. Posteriormente se descubrieron en los años ochenta discos de gas alrededor de ciertas estrellas, gracias al exceso de luz infrarroja que presentaban y que no cabía explicar sino como por la presencia de materia caliente en rotación. La confirmación directa de planetas formándose en discos de gas y polvo llegó hace sólo tres décadas, en los casos de los astros jóvenes *beta Pictoris* y *Fomalhaut*, lo que ha supuesto un apoyo definitivo para recuperar la teoría nebular de Kant-Laplace. Modernizada con los últimos hallazgos realizados y dotada del armazón matemático necesario para superar las deficiencias originales, hoy es la que mejor describe la formación del sistema solar, y la suscriben casi todos los científicos.

El proceso sería, aproximadamente, el siguiente (figura 5): una vez el Sol tomó forma como protoestrella antes de condensarse definitivamente, el material restante alrededor del uno por ciento del total de la nebulosa de gas se organizó en un disco alrededor del astro aún no nacido. El disco estaba constituido tanto por componen-

tes ligeros (hidrógeno y helio) como otros más pesados. En un primer momento, la nebulosa era opaca y caliente. A medida que la gravitación condensaba el protosol, la nebulosa se enfriaba, y pudieron fabricarse diferentes sustancias químicas: los primeros fueron compuestos de aluminio, calcio, magnesio y titanio; posteriormente aparecieron compuestos de sílice, y al templarse todavía más surgieron hielo y metano sólido. Todos ellos adquirieron pronto la configuración de pequeños gránulos. Estos compuestos, siguiendo órbitas independientes de baja velocidad, sufrieron continuos choques unos con otros y, con el tiempo, quedaron confinados en un disco achatado, de alta densidad, todos ellos en torno al Sol. El primer intervalo de choques recíprocos tuvo el efecto de condensarlos en dicho disco plano; posteriormente esas colisiones sucedieron en un espacio menor, los grumos de materia giraron más rápidamente y pronto la atracción gravitatoria entre ellos los aproximó, sufriendo impactos más violentos. Al poco constituían ya bloques de cientos de metros de diámetro, dado que la materia no se distribuía uniformemente, sino que tendía a formar coágulos de mayor densidad. Este proceso fue casi instantáneo: se cree que no duró más de mil años. En consecuencia, había en la nebulosa primitiva un mar de pequeños bloques de gases y compuestos químicos rotando alrededor del sol nonato.

Los fragmentos estaban uniformemente repartidos por todo el disco de material, pero diferían en su naturaleza dependiendo si se hallaban cerca o lejos del Sol. Esta segregación se debió a las intensas radiaciones que acababan de generarse en el centro de la nebulosa⁹, señal de que las reacciones nucleares habían, por fin, empezado, y de que la protoestrella se convertía, pues, en estrella de derecho propio. En las proximidades del astro se hallaban los materiales más densos y rocosos, minerales metálicos y pétreos con diámetros muy variables (de centímetros a decenas de kilómetros), que formarían lo que podríamos llamar los antecesores de los actuales asteroides; por otro lado, en las zonas lejanas, donde las temperaturas eran muy bajas, habría un claro predominio de pedazos de hielos y elementos volátiles (por ejemplo, anhídrido carbónico congelado, metano cristalino y amoníaco), que corresponderían a los núcleos de los cometas. A este tipo de cuerpos sólidos en los inicios del sistema solar se les llama *planetésimos*

(o planetesimales).

Los planetésimos eran muy numerosos (probablemente varios miles de millones, o aún más) y al situarse en una misma región ecuatorial sufrían constantemente choques y colisiones entre ellos. Si la velocidad de choque era alta y el impacto era frontal, los planetoides se desintegraban; si por el contrario era baja y el impacto se producía rasante, las colisiones permitían la posterior agrupación y fusión de los fragmentos, formándose un cuerpo de mayores dimensiones que el anterior. Al repetirse este proceso, los planetésimos de grandes dimensiones recabarían cada vez más y más material y la población de los más pequeños empezaría a reducirse, adquiriendo aquellos (llamados *planetoides*) tamaños de centenares de kilómetros. El material residual sería *barrido* por ellos en sus trayectorias alrededor del Sol, realizando los planetoides un importante papel de

su interior y permitieron fluir a la lava hacia el exterior por las grietas de la corteza. Al enfriarse y solidificarse, los planetoides se convertirían al fin en auténticos *planetas*. Una vez formados éstos y libre el sistema solar de aquellos, los mundos de la familia solar no padecerían más que heridas superficiales causadas por ocasionales impactos de asteroides o cometas vagabundos.

La reproducción, a menor escala y con mayor laxitud, del proceso que acabamos de describir formó, en los planetas gigantes del sistema solar, sus satélites mayores. Las demás lunas menores de los planetas gaseosos y las lunas marcianas son muy probablemente asteroides capturados¹¹. El origen del Cinturón de asteroides, el Cinturón de Kuiper y la nube de Oort se explica como consecuencia directa del crecimiento de los gigantes gaseosos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno), en el primer caso porque interrumpieron la acumulación de

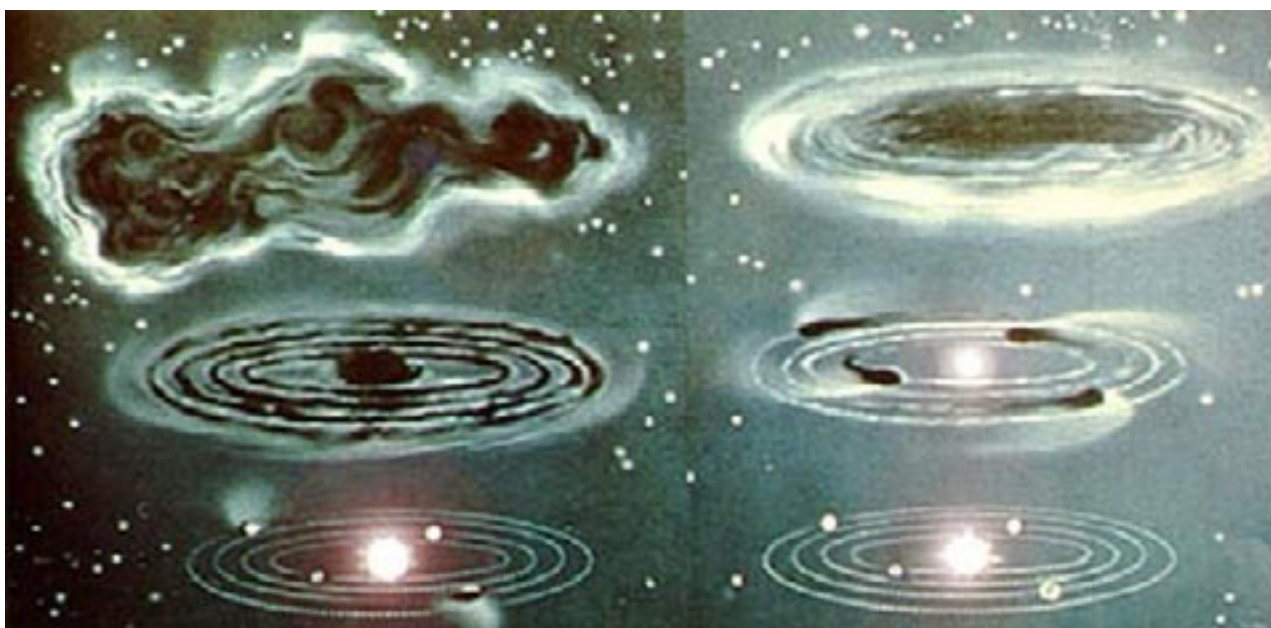


FIGURA 5: ESQUEMAS CON LAS DIFERENTES FASES DE FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR.

‘depuración’ y limpieza de restos gaseosos.

No obstante, los planetoides de que hablamos no eran aún idénticos a los planetas que conocemos hoy. Una vez formados, los planetoides sufrieron terribles episodios de violentos impactos; hubo muchos que chocaron entre sí debido a su mutua atracción gravitatoria, y dado que sus dimensiones no diferían demasiado, sólo aquellos cuerpos de dimensiones mayores¹⁰ consiguieron sobrevivir sin despedazarse. Tras este periodo de acumulación de material los planetoides mayores supervivientes sufrieron la fusión total de su superficie por el calor liberado por los grandes impactos, que fundieron

planetésimos entre la órbita de Marte y Júpiter, y en los otros dos porque expulsaron a muchos planetésimos pequeños hacia el exterior remoto del sistema solar, donde se reagruparon y constituyeron el refugio actual de los cometas.

Así, pues, el Sol procede de una nebulosa antigua, excitada por una supernova que estalló en tiempos lejanos; la Tierra es el resultado de la acumulación de materia sobrante en la creación del Sol; y nosotros, seres humanos y toda la vida del planeta, estamos constituidos por la misma materia que antaño se apropió la Tierra.

(Notas al pie)

¹ Como reza la Segunda Ley de la conservación de la energía: “*La energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma*”; por tanto, a mayor volumen, menor densidad, y así, menor temperatura.

² Puede definirse un campo gravitatorio como el medio a través del cual un objeto transmite su influencia debido a su masa. Toda partícula crea su propio campo gravitatorio; a medida que la masa del sistema es mayor, el campo es más intenso, de ahí que la Tierra tenga un campo gravitatorio menor que el del Sol, y el de este sea menor que el de la Vía Láctea.

³ Al referirnos a la temperatura siempre se emplean en astronomía los *grados Kelvin*. Para pasar a *grados Celsius*, sólo hay que sumar 273. Pero en temperaturas de miles o millones de grados, como las que usamos aquí, las diferencias entre escalas son insignificantes. Así, cuando se cite un valor de temperatura y no se especifique lo contrario, se referirá siempre a la escala Kelvin.

⁴ Las estrellas primigenias también se llaman *estrellas de Población III*. Esta denominación deriva de su composición, que no solía contener *metales* (es decir, átomos más pesados que el helio), pues sólo los creaban en sus postreras etapas vitales. Las estrellas pobres en tales metales (que hoy vemos como gigantes rojas, astros viejos) se denominan *Población II*, mientras que aquellas estrellas ricas en ellos (generalmente astros relativamente jóvenes y muy brillantes) se llaman *Población I*. Hoy en día ya no existen astros de Población III, y la Vía Láctea sólo los contiene de Población I y II. Nuestro propio Sol es de Población I, que se ha enriquecido, como veremos, con los elementos pesados expulsados al espacio por generaciones anteriores de estrellas.

⁵ Una supernova es, pues, la muerte explosiva de una estrella vieja, un suceso violento que durante un instante hace brillar a una sola estrella más que toda su galaxia (que contiene alrededor de 100.000 millones de estrellas). Las supernovas son un fenómeno bastante infrecuente en nuestra galaxia, o por lo menos no hemos tenido mucha suerte, porque la última que se observó fue en 1604.

⁶ Por ejemplo, una de estas hipótesis plantea que quizá estrellas como el Sol nacieron debido también a contracciones del gas primigenio dentro de los llamados *glóbulos de Bok*, regiones oscuras debidas al polvo que las rodea, a modo de armazón protector que quizá contengan en su núcleo el embrión de una futura estrella. Este proceso de nacimientos es útil en regiones de gas y polvo donde se están formando gran número de estrellas masivas que lanzan al espacio violentos “chorros” de materia (llamados *vientos estelares*), que podrían desprender completamente a la protoestrella de su disco de gas, desnudándola e imposibilitando la formación de planetas. Por otra parte, la hipótesis *clásica* del nacimiento del Sol considera que la nebulosa que dio origen a nuestra estrella empezó su colapso *sin* necesidad de elemento externo alguno (es decir, sin la acción de ondas de choque de supernovas o cualquier otro tipo de fenómeno cósmico que le indujera a la contracción), sino sólo como consecuencia de

inestabilidades gravitatorias que sufrió la nebulosa primordial por las condiciones físicas imperantes.

⁷ Por cierto, aunque hayamos descrito la formación del Sol como un astro solitario producto de la contracción de una nebulosa individual de gas, se piensa que es mucho más plausible (y así lo demuestran las observaciones llevadas a cabo en grandes regiones de formación estelar, las nubes moleculares) que las estrellas nazcan en *racimos*, en enormes zonas nebulosas en lugar de nichos nebulosos particulares. Una vez se crean, cada una de las estrellas del grupo iniciará su viaje interestelar individual a través de la Vía Láctea. Es posible que estrellas provenientes de la misma nube original estén hoy separadas muchos centenares o miles de años, como hermanas que se marchan jóvenes de casa siguiendo su propio camino y nunca se vuelven a encontrar. Para más información sobre las posibles “hermanas” del Sol remitimos al artículo que apareció en el número 88 (enero-febrero 2011) de *Huygens*, págs. 28-32.

⁸ Parece ser que el primer filósofo en proponer una hipótesis acerca del origen del Sol fue el filósofo francés René Descartes (1596-1650), quien creía que nuestra estrella se había formado a partir de un torbellino primordial de grandes dimensiones. Posteriormente, el importante naturalista francés George-Louis Leclerc, más conocido como el *conde de Buffon*, expuso su hipótesis de que el Sol nació de una colisión catastrófica con otro objeto de tamaño similar. La de Buffon fue la primera hipótesis racional sustentada por argumentos físicos sobre el origen del Sol y el sistema solar.

⁹ Existe, en estrellas similares en masa al Sol, una etapa conocida como “T Tauri”, en donde la estrella emite poderosas ráfagas de viento estelar y radiación capaz de eliminar el disco de gas que la rodea. Para que los planetas sobrevivan a dichas ráfagas deben haberse formado con rapidez, absorbiendo todo el material nebuloso preciso para su constitución antes de que éste fuera dispersado.

¹⁰ En la Luna aún pueden verse extensas regiones oscuras en su superficie: llamadas *maria*, son el resultado del impacto en el satélite de los últimos grandes planetésimos, hace 4.000 millones de años.

¹¹ El origen de la Luna es un caso aparte: hay hipótesis que sugieren que fue capturada, de algún modo, por la Tierra, tras su formación; otras sostienen que se escindió de la Tierra en los primeros instantes de vida de ésta, y otras afirman que nació a causa del impacto de un cuerpo del tamaño de Marte sobre la Tierra... Pero se trata de posibilidades, no de certezas. El origen de la Luna todavía es un enigma.