

El Sistema Solar - III

Su formación

ALBERT MORRAL

El Sistema Solar es un conjunto muy variado de astros por lo que es bastante difícil encontrar una teoría simple que explique su formación y las razones por las que ha llegado a su situación actual, con toda su variedad y complejidad. (Figura 1).

Las propiedades actuales del Sistema Solar en su conjunto nos obligan a suponer que los planetas se han formado a partir de un disco de partículas concéntrico con el Sol. Para explicar su origen han aparecido, a lo largo del tiempo, diferentes teorías. Las teorías catastróficas proponían que tras la formación del Sol, el paso de una estrella por las proximidades le arrancó parte de su materia para formar un disco. Pero el cálculo numérico ha llevado a la conclusión de que este proceso no daría lugar a la formación de planetas. Como veremos más adelante, la hipótesis que mejor se sostiene es la hipótesis nebular.

¿Cuáles son, pues, las características generales que hemos de considerar para establecer un modelo coherente de la formación del Sistema Solar? La mayoría ya las vimos en el primer tema. Repasémoslas muy brevemente.

Las órbitas de los principales cuerpos del Sistema Solar son:

- **Coplanarias:** se sitúan prácticamente en un mismo plano.
- **Sensiblemente circulares:** la mayoría de los planetas presentan órbitas prácticamente

circulares, con grados de elipticidad (excentricidad) pequeños.

- **Concéntricas:** estos recorridos tienen un centro geométrico común que es el Sol y no se cortan entre sí.

- **Todos los cuerpos principales giran en el mismo sentido:** es decir, alejándonos a partir del norte de la Tierra, veremos que todos los planetas principales recorren sus órbitas en sentido contrario al de las agujas de un reloj. Es lo que se llama *movimiento directo*. Incluso el movimiento de rotación de la mayoría de los planetas y el de sus principales satélites es en sentido directo.

El espacio interplanetario está bastante limpio. El espacio existente entre los planetas está prácticamente vacío. Aunque el medio interplanetario sea considerado un plasma, es decir, un gas ionizado, su densidad es bajísima. Es un vacío mucho mejor que el de cualquier laboratorio terrestre. Se pueden contar unas 5 partículas (átomos, moléculas, granos de polvo, etc.) por centímetro cúbico. En comparación, el mismo volumen del aire que respiramos tiene del orden de unos 10 a 20 trillones de moléculas, es decir, un 1 o un 2 seguido de 19 ceros. Otra manera de hacerse una idea del grado de limpieza del medio interplanetario es la de considerar el recorrido libre medio de una partícula, o lo que es lo mismo, la longitud del recorrido que podría hacer en línea recta una molécula sin chocar: una

unidad astronómica (UA), que recordemos equivale a 150 millones de kilómetros. (Figura 2).

Categorías ordenadas de planetas: finalmente, la hipótesis que dé cuenta de la formación del Sistema Solar debe ser capaz de explicar porqué hay planetas pequeños y rocosos

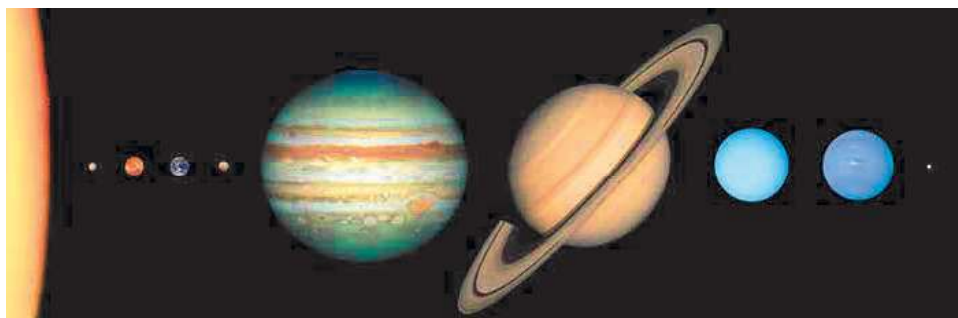


Fig. 1. Esquema del Sistema Solar con los tamaños proporcionales.



Fig. 2. La luz zodiacal es el resplandor producido por las partículas que hay en el plano del Sistema Solar.

cerca del Sol, y gigantes gaseosos a mayores distancias.

La hipótesis nebular

El esquema más aceptado en la actualidad es el de las teorías enmarcadas en la *hipótesis nebular*, propuesta por primera vez por Emanuel Swedenborg en 1730, desarrollada posteriormente por Immanuel Kant en 1775 e, independientemente, por Pierre-Simon de Laplace en 1796. Estas teorías propugnan un origen común del Sol y del disco. Según estas teorías, la contracción de una nube de gas y polvo en rotación formó el Sol y un disco protoplanetario. Esta nube sería una pequeña parte en una gran nube molecular (o nebulosa primigenia) de varios años luz de extensión a partir de la cual se formaron otras estrellas, posiblemente un cúmulo estelar. (Figura 3).

La nube protosolar, propiamente dicha, tendría un diámetro que podría oscilar entre 2.000 y 20.000 unidades astronómicas, con una composición mayoritaria de hidrógeno y helio (98%). El 2% restante correspondería a elementos pesados sintetizados por generaciones anteriores de estrellas. Estos son los elementos cuya condensación vemos favorecida posteriormente en los planetas de tipo terrestre. Así pues, no es

descabellado afirmar que nosotros y nuestro entorno estamos hechos de «polvo de estrellas».

Actualmente se conocen gran número de estructuras similares a lo que podría haber sido la nube protosolar. Hablamos de los discos protoplanetarios o de la contracción de la expresión inglesa «proplyds». Son estructuras inmersas en grandes nubes moleculares como la nebulosa M 42 de Orión, en las que se reconoce una estrella en formación rodeada de material opaco pero que puede ser brillante en el infrarrojo. Dependiendo del punto de vista bajo el que aparecen, pueden mostrarse alargados cuando son vistos de perfil, o circulares cuando son vistos de frente. (Figura 4).

La formación de un disco protoplanetario comienza al inestabilizarse gravitatoriamente una pequeña región de la gran nube molecular. A partir del momento en que se alcanza una densidad crítica que satisface el criterio de inestabilidad de Jeans (la presión interna del gas es vencida por la fuerza de la gravedad) comienza el colapso gravitatorio. Se llega a una fase que responde muy seguramente a los llamados *glóbulos de Bok*, glóbulos oscuros. Se cree que muchos de los glóbulos acaban formando discos protoplanetarios. A medida que la nube se hace más densa hacia su parte central por colapso gravitatorio, la energía contenida en el momento angular (velocidad de rotación de la nube) se transforma progresivamente en calor.

Al cabo de unos cien mil años, la gravedad, la presión del gas, los campos magnéticos y la propia rotación provocan el aplanamiento de la



Fig. 3. Ilustración que representa la formación del Sistema Solar.

nube en un disco protoplanetario con un radio de unas mil UA. A partir de entonces se hace visible la estrella central, una estrella inestable de tipo T Tauri. Este sería el momento en que la estrella empieza a fusionar hidrógeno en su interior y se inicia la emisión de luz visible. Hasta el momento solo había brillado en el infrarrojo. En el caso del Sistema Solar, significaría la transición del proto-Sol a Sol. En el fondo, lo que sucede en este momento del nacimiento del Sol es que la fuerza de expansión ejercida por el Sol (de hecho, el Sol es una colosal bomba de hidrógeno en un proceso continuo de explosión) consigue contrarrestar el colapso gravitatorio: se alcanza el equilibrio hidrostático.

La compresión del gas por parte de la estrella continúa a lo largo de diez millones de años más. Una de las características de las estrellas T Tauri es la de emitir chorros de gas a lo largo de su eje de rotación. Este proceso provoca la pérdida de momento angular y al mismo tiempo frena la caída de material a partir de la nube que lo ha engendrado.

Proceso de formación del Sistema Solar

La condensación química, producida a medida que se enfriaba el disco protoplanetario, dio lugar a la formación de granos de composición diversa. Debido a las inestabilidades gravitacionales locales, estos granos acabaron formando unos pequeños cuerpos poco densos (de menos de cinco kilómetros) llamados *planetesimales*. Su unión por colisión (acreción) dio lugar a la formación de los planetas. Los granos de los primitivos condensados pueden ser reconocidos en algunos de los meteoritos que nos llegan. Estos meteoritos no diferenciados no han sufrido grandes cambios desde la formación del Sistema Solar. En su interior se encuentran cóndrulos microscópicos formados por los granos de la primitiva nebulosa protosolar. Alrededor de los cóndrulos también se reconocen condensaciones de granos más pequeños todavía.

En la región interior del Sistema Solar, a menos de cuatro UA del Sol, el ambiente era demasiado cálido como para permitir la condensación del agua, metano, amoníaco, etc. Por tanto, en esta región se formaron cuerpos enriquecidos por metales como hierro, níquel, aluminio y silicatos. Es donde posteriormente se formaron los



Fig. 4. Discos protoplanetarios de la nebulosa M 42 de Orión.

planetas terrestres pequeños y sólidos: Mercurio, Venus, la Tierra con la Luna, y Marte.

Más allá de las cuatro UA (la llamada *frontera del hielo*), los componentes volátiles de la nube protoplanetaria permanecieron sólidos, lo que permitió el crecimiento de los grandes planetas gaseosos Júpiter y Saturno en un intervalo de tiempo de unos tres millones de años. Urano y Neptuno comenzaron el proceso de acreción algo más tardíamente, cuando la mayor parte del material ya había sido consumido para la «fabricación» de los otros dos gigantes. Por este motivo no acumulan tanto hidrógeno y helio. Son los llamados *gigantes de hielo*.

Poco a poco, primero de manera homogénea, y en las últimas fases de manera más heterogénea, fueron creciendo cuerpos planetarios del orden de cientos de kilómetros hasta unos pocos miles de kilómetros de diámetro. Pero hay que considerar que este crecimiento no era uniforme. Un cuerpo de cientos de kilómetros de diámetro podía quedar destruido al chocar violentamente contra otro astro similar. Simplificando, podríamos decir que para construir una Tierra se tuvieron que destruir muchas lunas. Así también se explica la existencia de asteroides y meteoroides de composiciones férricas. Provenirían de la destrucción de núcleos de planetas en formación.

El mismo proceso de acreción iba limpiando de residuos al medio interplanetario. No pensamos que todos los cuerpos residuales cayeron sobre los planetas; muchos fueron expulsados hacia las partes exteriores del Sistema Solar

como veremos más adelante.

Dos procesos lentos, pero muy efectivos, se encargaron de un buen barrido del espacio: la presión de radiación y el viento solar.

La presión de radiación es el empuje ejercido por la radiación electromagnética (la luz, por ejemplo), en este caso procedente del Sol. Es muy débil, pero muy importante su influencia sobre átomos, iones o electrones. A una UA del Sol la presión de radiación es actualmente de 9,15 newtons por kilómetro cuadrado. Como veremos en el tema 5, es importante en la formación de las colas cometarias.

Finalmente, el viento solar, un flujo de partículas altamente ionizadas procedente del Sol, también ayuda a mantener una baja densidad de partículas en el Sistema Solar. En el apartado dedicado al Sol se hablará con más detalle sobre este fenómeno.

Migración planetaria

La propia existencia de Urano y Neptuno sugiere que ambos cuerpos se formaron a distancias mucho menores al Sol de las que actualmente ocupan. En un proceso posterior de

migración, Neptuno se alejaría hasta ocupar la posición actual en el Sistema Solar. En este proceso, millones de restos helados de la nube protoplanetaria fueron dispersados a partir de su situación original para ser, muchos de ellos, expulsados hacia el espacio interestelar, pero muchos otros también, impulsados hacia el Sistema Solar interior. Este proceso provocaría la fase del bombardeo intenso tardío, de 4.100 a 3.800 millones de años atrás.

En el Sistema Solar interior el desplazamiento de Júpiter hacia posiciones más cercanas al Sol aceleró la formación de los planetas terrestres en las órbitas que ocupan actualmente.

Con nuestros conocimientos actuales parece que la formación de sistemas planetarios no es una rareza (un accidente). Según los últimos datos de la misión Kepler de la NASA, los sistemas planetarios con planetas similares al nuestro podrían ser bastante abundantes, en contra de la creencia sostenida cuando se creía que los procesos más habituales de formación estelar consistían en la subdivisión de los núcleos protoestelares para dar lugar a sistemas estelares dobles o múltiples.

La tienda online de
la Agrupación Astronómica Sabadell



Libros editados por la Agrupación y libros de otras editoriales
Cartografía • Complementos • Productos para niños • Sugerencias para regalos



www.astrosabadell.org/shop

Descuentos para los socios