

# El origen del Sistema Solar

*Laplace tenía razón*

No obstante las muchas incógnitas que todavía están por ser aclaradas, la teoría laplaciana es hoy en día la explicación más aceptada sobre el origen de nuestro Sistema Solar

BLANCA MENDOZA\*

**L**os primeros estudios sobre el origen del Sistema Solar fueron realizados por el filósofo francés René Descartes en 1644. Desde entonces, famosos científicos y filósofos han propuesto

diversas hipótesis.

¿En 1990, qué cree la comunidad científica? ¿Cuál de todas las teorías propuestas a lo largo de estos 350 años es la aceptada hoy en día? Para contestar estas preguntas, la física espacial, la astronomía y la mineralogía nos proporcionan criterios que eliminan algunas teorías en favor de otras.

## Muchas teorías de donde escoger

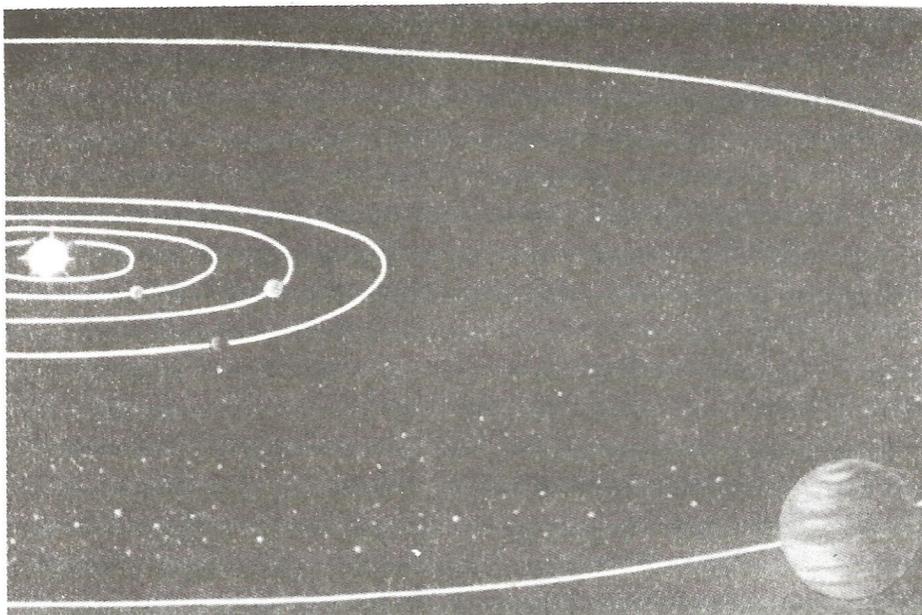
Se han propuesto una gran cantidad de teorías al respecto, las cuales podemos agrupar en cuatro apartados.

Un primer grupo supone que el Sol y los planetas se formaron al mismo tiempo de la misma nube de material interestelar. Esta nube se empezó a contraer por la fuerza de la gravedad, y rotó cada vez más rápidamente debido



*Las nubes de gas y polvo de la galaxia se comprimieron para formar sistemas solares.*

\*Instituto de Geofísica, UNAM



*Después de que la nebulosa se condensa, el Sol se establece en el centro y los planetas se condensan a diferentes distancias de éste.*

a la tendencia de conservación del momento angular (si un cuerpo rotante disminuye su tamaño, su velocidad de rotación aumenta) hasta formar un disco. Los elementos no volátiles se condensaron para formar los planetas lejos del centro del disco, en el cual se formó a su vez el Sol.

Otro grupo de teorías supone que el Sol, ya constituido, capturó una nube de material interestelar en la cual se formaron los planetas. Una variante de esta teoría añade el supuesto de que el Sol, previamente formado, poseía un gran campo magnético. La forma en que este Sol magnetizado coleccionó material fue, primero, atrayendo gravitacionalmente al material interestelar, ionizándolo con su radiación y, una vez hecho esto, capturándolo con su campo magnético. En este caso, la adición de material alrededor del Sol pudo ser gradual.

El tercer grupo de modelos propone una situación un tanto cuanto violenta. El Sol fue parte de un sistema binario, es decir, un sistema formado por él mismo y otra estrella. Su compañera explotó por alguna razón y el material dispersado fue capturado por el Sol, con el cual formó posteriormente los planetas.

¿El Sol y los planetas se formaron al mismo tiempo?

¿El material de que están formados los planetas fue material interestelar, o bien fue material previamente procesado en el interior de otra estrella?

Se hace entonces necesario confrontar las teorías con algunos criterios que nos permitan aceptar al menos un grupo de modelos en favor de otros.

## Las pruebas de fuego

Recientemente, se ha medido la abundancia relativa de dos elementos: el hidrógeno y su isótopo, el deuterio. Al realizar estas medicio-



*Nuestra galaxia es de tipo espiral. En uno de sus brazos se formó el Sistema Solar.*

nes en la atmósfera de Júpiter, se encuentra que la proporción es, prácticamente la misma que la medida en el medio interestelar. Esto nos indicará que el material planetario es típicamente interestelar.

El isótopo de un elemento químico es otro elemento que tiene el mismo número de protones, pero difiere en el número de neutrones.

En la parte más baja de la atmósfera solar, la fotosfera, también se ha medido esta proporción y ha resultado ser más de cien veces menor que la encontrada en Júpiter. Esto es de esperarse ya que el deuterio es un isótopo inestable en reacciones termonucleares tales como las que se dan en los interiores estelares, de modo que su abundancia en una estrella debe decre-

cer mucho en comparación con su abundancia en el material interestelar.

Este criterio elimina los modelos que requieren composición estelar para los planetas; por ejemplo, los que proponen a una de las estrellas de un sistema binario como origen de la corte de planetas del Sol.

## Más información a cargo de los isótopos exóticos

La edad de los planetas puede determinarse con buena precisión midiendo la abundancia de isótopos radiactivos con vidas medias muy largas, tales como el rubidio 87 (con una vida media de  $5 \times 10^{10}$  años), el torio 232 (vida media de  $2 \times 10^{10}$  años), o el uranio 238 (vida media  $4.5 \times 10^9$  años). El número que acompaña al elemen-



Representación pictórica que muestra la acreción, por impacto, de los protoplanetas. Los núcleos atraen gases de la periferia.

to nos indica el número de neutrones más protones que posee. Elementos tan pesados como los mencionados no son comunes en nuestro planeta, y para nosotros resultan exóticos; es por ello que se les llama precisamente isótopos exóticos.

Las mediciones realizadas en meteoritos, así como en rocas terrestres y lunares, indican que los planetas ya estaban conformados desde hace aproximadamente 4 600 millones de años.

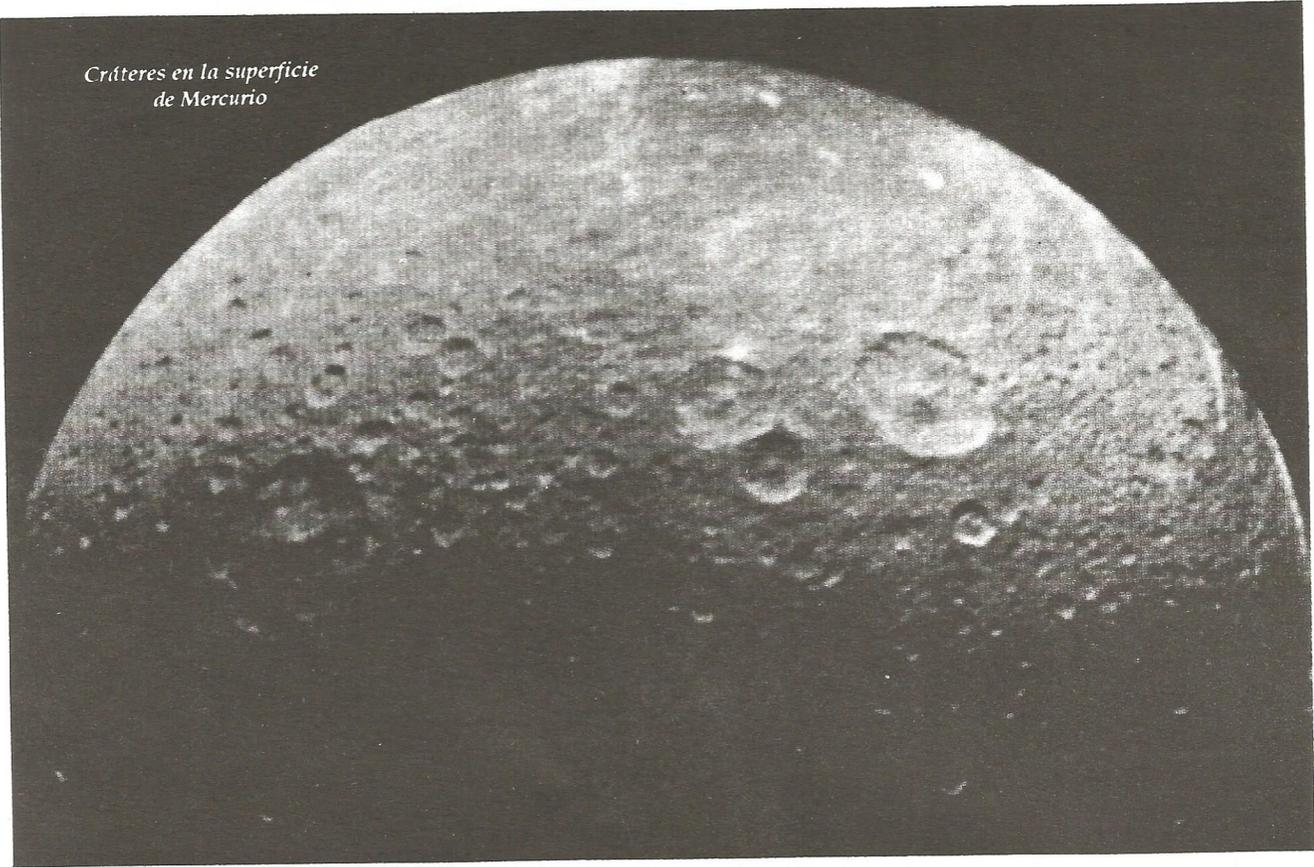
Hay otros isótopos que son

de gran importancia en lo referente a la determinación de las edades de los cuerpos del Sistema Solar; éstos son: el plutonio 244 (con vida media de  $8 \times 10^7$  años) y el yodo 129 (vida media de  $2 \times 10^7$  años). Sus vidas medias son

*Todos los elementos de la Tierra, excepto el hidrógeno y algo de helio, se cocinaron en una especie de alquimia estelar hace miles de millones de años en estrellas que ahora son quizás enanas blancas inconspicuas al otro lado de la Vía Láctea. El nitrógeno de nuestro ADN, el calcio de nuestros dientes, el hierro de nuestra sangre, el carbono de nuestras tartas de manzana, se hicieron en los interiores de estrellas en proceso de colapso. Estamos hechos, pues, de sustancia estelar.*

Carl Sagan

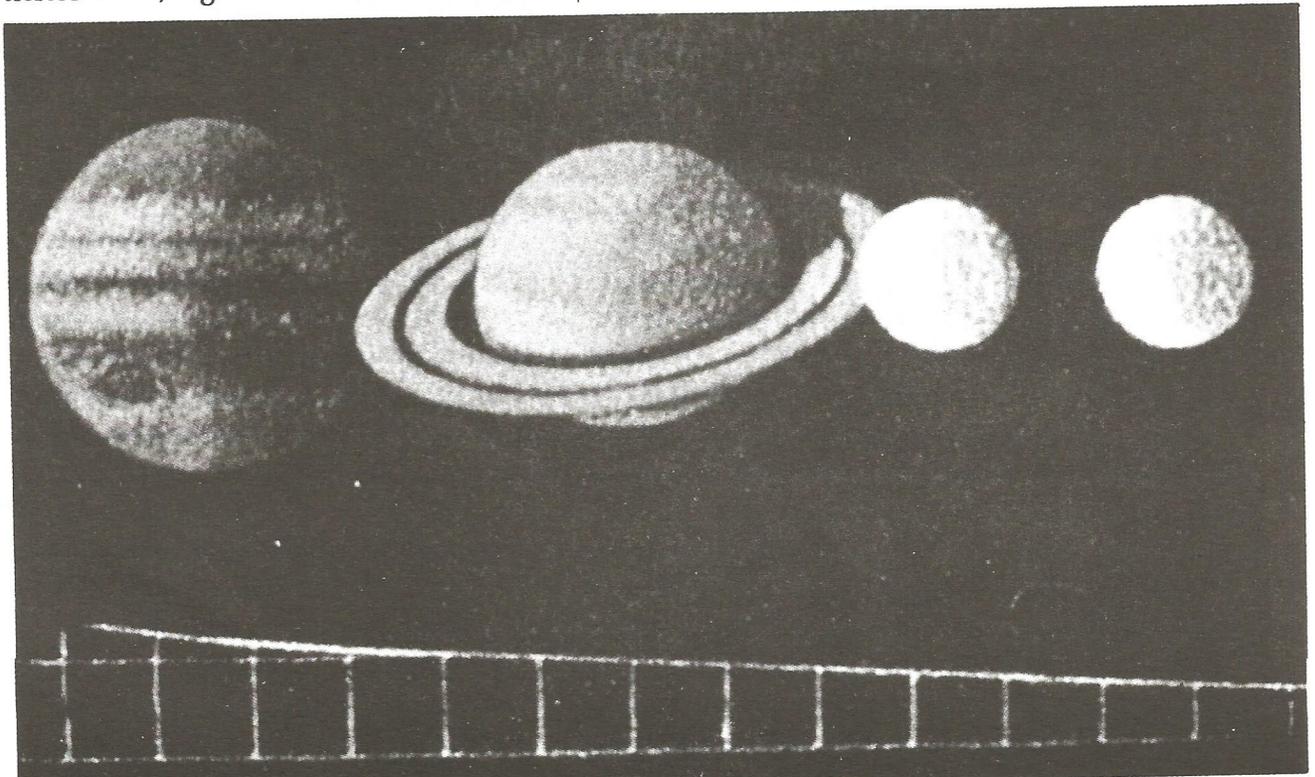
*Cráteres en la superficie  
de Mercurio*



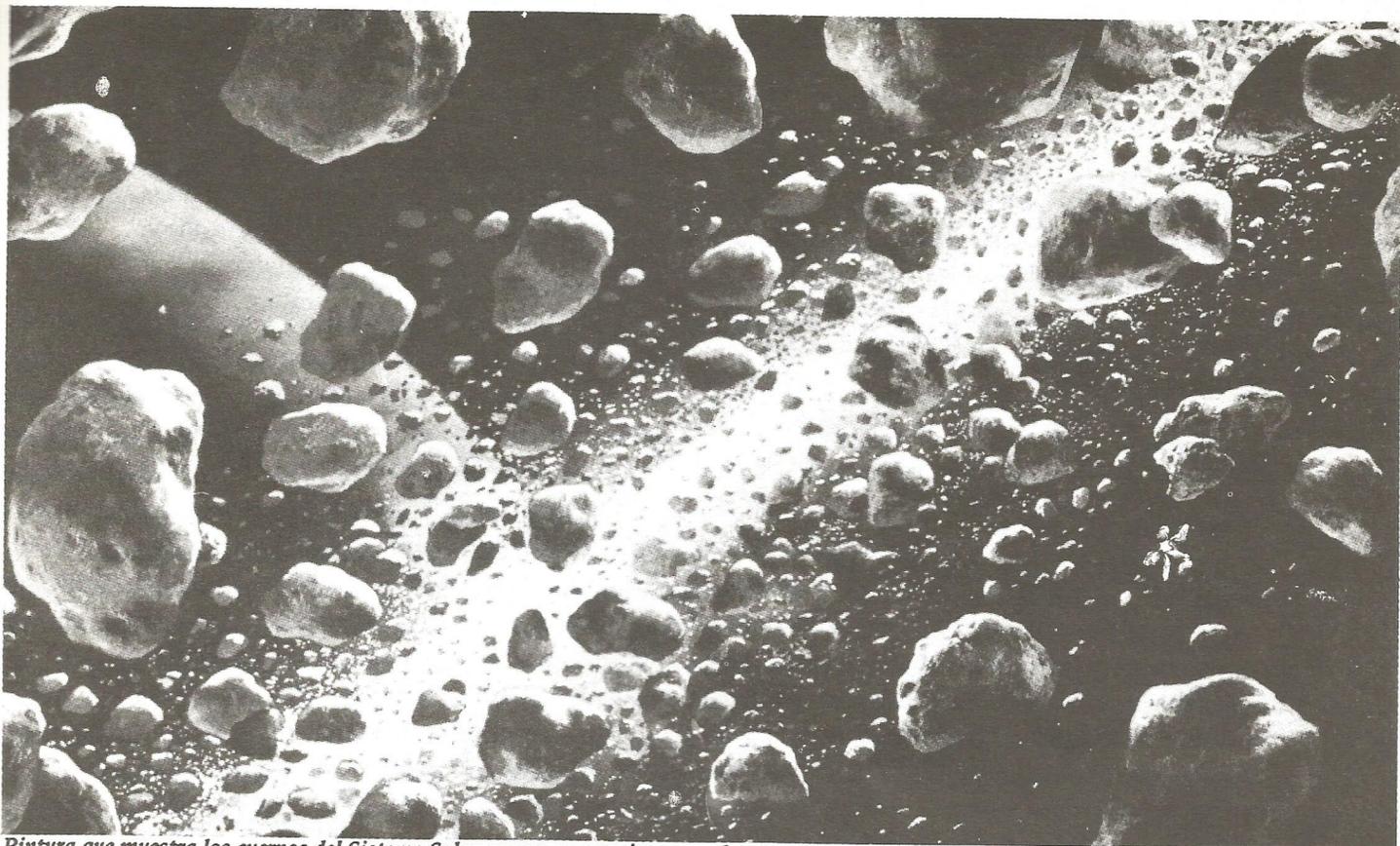
considerablemente menores que las de los isótopos mencionados en el párrafo anterior y, como han decaído hace ya mucho tiempo, su abundancia es ahora indetectable, salvo en ciertos casos, e.g. cuando el material de los

cuerpos planetarios se estaba solidificando quedaron trazas de ellos fosilizadas en él.

Al medir la abundancia del plutonio 244 y del yodo 129 en el momento de la solidificación del material planetario, se encuentra que debió ha-



*Representación de los planetas gigantes de nuestro Sistema Solar.*



*Pintura que muestra los cuerpos del Sistema Solar que no se acrecieron en planetas y, en cambio, formaron asteroides.*

ber pasado un corto tiempo entre el momento en que se empezaron a conformar los planetas y el momento en que la nebulosa que dio origen al Sistema Solar se aisló del resto del material interestelar. El tiempo calculado es de 100 millones de años. Sin embargo, estos 100 millones de años no tienen que ver con el tiempo que le tomó a los planetas condensarse, y no es por tanto una diferencia de edades entre el Sol y los planetas.

Para entender esto recurramos al conocimiento que hoy poseemos sobre la estructura y dinámica de nuestra galaxia. Las nubes de gas interestelar —futuras fuentes de estrellas y sistemas solares— se mueven alrededor del centro galáctico y, conforme orbitan, pasan a través de los brazos espirales característicos de la galaxia. Al pasar de la región entre los brazos galácticos al brazo propiamente dicho, la nube se comprime y de este modo se inicia el colapso gravitacional que la fragmentará. De cada fragmento se formarán, a su vez, estrellas con sistemas planetarios.

Algunas de estas estrellas son más masivas que otras y tienen vidas cortas en comparación con las estrellas de menor masa, de modo que explotan incluso antes de abandonar los brazos galácticos donde se formaron, y contaminan al gas de esta región con isótopos de varias clases. Cuando las nubes de gas contaminado abandonan los brazos, su radiactividad empieza a decaer. El tiempo de tránsito de un brazo a otro es de alrededor de 100 millones de años. Entonces, ese valor de 100 millones obtenido de la abundancia de yodo 129 y plutonio 244 parece medir el tiempo que transcurrió entre la última adición de isótopos (cuando la nube que originó al Sistema Solar estaba en un brazo y no había, por supuesto, Sol) y el momento de solidificación de los planetas (cuando ya había Sol). Esto indicaría que nuestra estrella y su corte de cuerpos se formaron aproximadamente al mismo tiempo, lo que elimina a los modelos que proponen la existencia previa del Sol y la adquisición posterior del material del cual se formaron los planetas.

## Laplace tenía razón

De lo anterior podemos desprender que la teoría que mejor se ajusta a las observaciones, y por tanto la más ampliamente aceptada, es la perteneciente al primer grupo de modelos. Se le denomina también laplaciana, ya que fue propuesta por el astrónomo francés Pierre Simón de Laplace, en 1796, hace casi 200 años.

La teoría puede ser resumida brevemente como sigue: El Sol y sus planetas se formaron al mismo tiempo que una nube de material interestelar, la cual se condensó hace aproximadamente 4 600 millones de años. Esta nube empezó a contraerse por gravedad, y a rotar más rápidamente, hasta formar un disco más o menos plano en cuyo centro se formó el Sol, mientras que los planetas se condensaron en las partes más externas.

Los granos de polvo de la nube acrecieron para formar los planetas. De hecho, se observa que conforme los planetas aumentan su distancia del Sol, sus densidades disminuyen. Esta disminución puede entenderse si suponemos que, cuando los planetas se formaron, la temperatura también presentó un decremento en relación con la distancia al Sol.

Es así como Mercurio, el planeta más cercano a nuestra estrella, se formó a temperaturas de aproximadamente 1 500°K y que por eso está compuesto de hierro y algunos silicatos, pues los materiales más volátiles se evaporaron. Venus se formó a una temperatura aproximada de 1 000°K, por ello, además de hierro tiene silicatos de aluminio y materiales alcalinos. La Tierra se condensó, en cambio, a 550°K y contiene, además de los materiales anteriores, sulfatos. A temperaturas más bajas se forman hielos de agua, de amoníaco y de metano, que forman gran parte de la masa de los planetas gigantes (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno).

Cuando, finalmente, el joven Sol y sus cuerpos planetarios estaban ya conformados, éste comenzó a enviar un chorro de partículas cargadas eléctricamente (denominado viento solar). Este chorro barrió el material que no

acreció para formar los planetas y satélites. A su vez, el viento solar provocó que el Sol rotara más lentamente. Los remanentes que quedaron se incorporaron a los cuerpos planetarios por impacto y el resultado son los cráteres que vemos en la superficie lunar y marciana, por ejemplo.

## Pero no todo está claro

Parece ser que en el caso de nuestro Sistema Solar hubo una situación extra que propició aún más la contracción de la nebulosa primordial, y esto fue la explosión de una supernova: una estrella con alrededor de ocho veces, o más, la masa de nuestro Sol, termina su vida con una explosión violentísima que desparra material por el espacio interestelar, enriqueciendo con elementos radiactivos el gas del cual se formarán posteriormente otras estrellas y sus sistemas planetarios.

Si se encuentran residuos de estos elementos en el Sistema Solar, todo indicaría que una supernova explotó en las vecindades hace algún tiempo. La manera de averiguarlo se simplificó cuando, en 1969, cayó en México el meteorito Allende. Resultó que éste contenía entre otros isótopos tóxicos, magnesio 26 —que sólo se pudo formar a partir del decaimiento radiactivo del aluminio 26—. A su vez, dichos isótopos sólo pudieron formarse en el momento de la explosión de una estrella. Esta explosión pudo, a su vez, dar el “empujón” final para que la nebulosa de la cual se formó el Sol terminara de colapsarse.

La razón por la cual la nube protoplanetaria se dividió en anillos de los cuales acrecieron los planetas y satélites, y el porqué del espaciamiento entre éstos y el Sol, son precisamente algunos de los “detalles” entre otros muchos, para los cuales no hay una explicación unánimemente aceptada.

No obstante las muchas incógnitas que todavía están por ser aclaradas, la teoría laplaciana es hoy en día la explicación más aceptada sobre el origen de nuestro Sistema Solar.