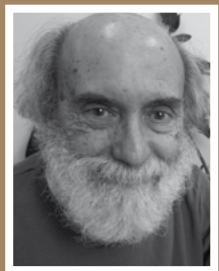


Gestación de la Tierra



José
López-Ruiz

La Tierra NASA/
GSFC/Reto Stöckli,
Nazmi El Saleous,
and Marit Jentoft-
Nilsen





Como si de un embarazo se tratara el geólogo José López-Ruiz nos cuenta las fases por las que atravesó el Sistema Solar que desembocaron en el nacimiento de ocho planetas entre los que se encuentra la Tierra. Os presentamos una breve historia de cómo se gestó este minúsculo punto del universo que es además el barco en el que viajamos todos.

Como no existe registro de las primeras etapas de formación del Sistema Solar, para establecer el proceso de formación de los planetas es preciso recurrir a otras fuentes de información. Las dos fuentes más importantes proceden de las observaciones astronómicas y de los meteoritos. La observación de estrellas semejantes al Sol muestra que muchas de ellas están rodeadas de un disco de gas que contiene pequeñas partículas de polvo cósmico. Estos discos tienen un radio similar al del sistema planetario del Sol y contienen al menos su misma masa. Los meteoritos están constituidos, como la Tierra, por silicatos y metales, pero como proceden de cuerpos mucho más pequeños que nuestro planeta, han sido poco activos desde el punto de vista geológico y en consecuencia proporcionan información sobre los procesos pre-planetarios, así como de las etapas iniciales de los procesos planetarios. Dicho de otra forma, los meteoritos representan una especie de yacimiento arqueológico, en el que se han preservado los **detritus** que se formaron en los primeros pocos millones de años del Sistema Solar.

“Existe un amplio consenso en aceptar que el Sol y los planetas se han formado a partir de una nube interestelar madura”

La nebulosa de Helix que está situada en la constelación de Acuario/ NASA, ESA, and C.R. O'Dell (Vanderbilt University).



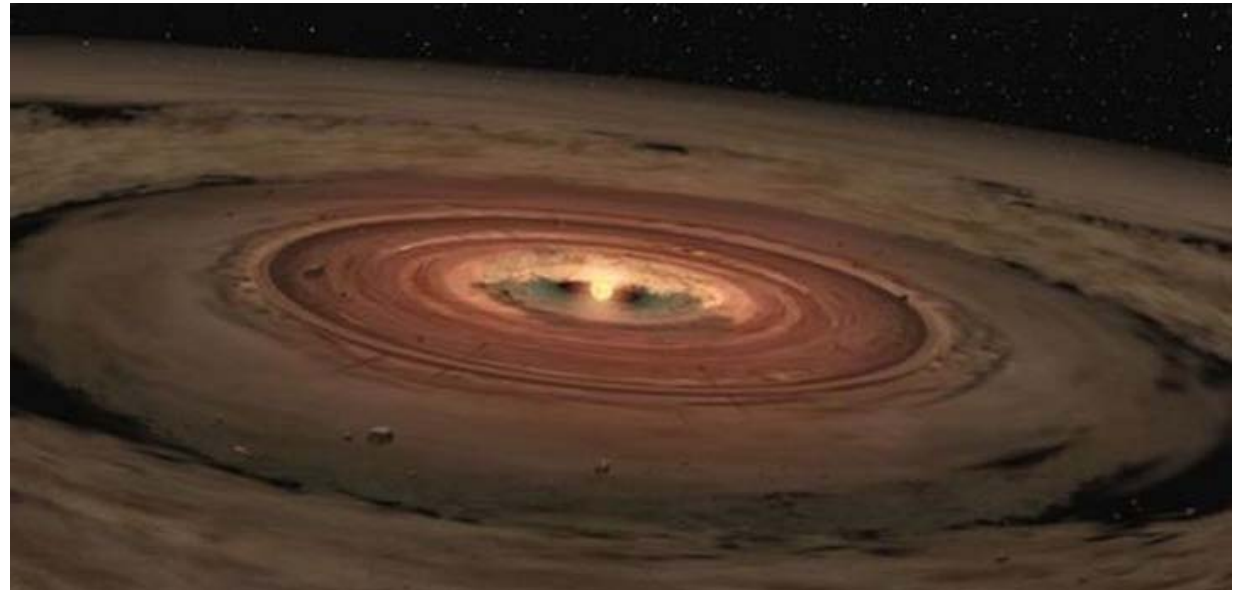
A partir de la información que suministran las dos fuentes citadas, más la que procede de la composición química e isotópica de los planetas terrestres, se han podido realizar, con la ayuda de potentes sistemas informáticos, complejas simulaciones del proceso de formación de los planetas y por ende de la Tierra.



“La masa de gas y polvo cósmico que no se concentró en el protosol formó un disco alrededor de este, a partir del que posteriormente se formaron los planetas”

Aunque determinados aspectos del proceso son todavía mal comprendidos, existe un amplio consenso en aceptar que el Sol y los planetas se han formado a partir de una nube interestelar madura, que contenía, además de hidrógeno y helio, moléculas orgánicas, partículas sólidas de hielo, óxidos de metales e incluso elementos de elevada masa atómica. Esta nube, a la que se le denomina nube molecular o **nebulosa solar**, se individualizó de la que se extiende por todo el Universo y se contrajo debido al colapso gravitacional de una porción de la misma inusualmente densa o provocado por la explosión de una supernova.

Recientemente se ha sugerido que la individualización de la nube molecular del medio interestelar tuvo lugar unos 30 millones de años (Ma) antes del nacimiento del Sistema Solar. Como veremos más adelante, este periodo (al que podríamos denominar por analogía con la gestación de la vida humana estadio embrionario y fetal del Sistema Solar) es sorprendentemente largo, ya que el de la acreción y diferenciación de la Tierra requirió aproximadamente 100 Ma. Por otra parte, este prolongado tiempo de in-



Protosol rodeado de un disco de gas y polvo, a partir del que se originó la Tierra y los demás planetas / NASA-JPL-Caltech

creción puede indicar que el Sol nació en una nube molecular gigante, ya que las relativamente reducidas nubes que se generan en las inmediaciones del Sol se forman, producen sus estrellas y se dispersan en unos pocos millones de años.

Cualquiera que fuera la causa del colapso o contracción de la nebulosa, el discreto momento angular de la esfera gaseosa que se formó provocó el que la mayor parte de su masa se concentrara en el centro, formando el protosol. El resto de la masa de gas y polvo cósmico que no se concentró en el protosol formó un disco alrededor de este, a partir del que posteriormente se formarán los planetas.

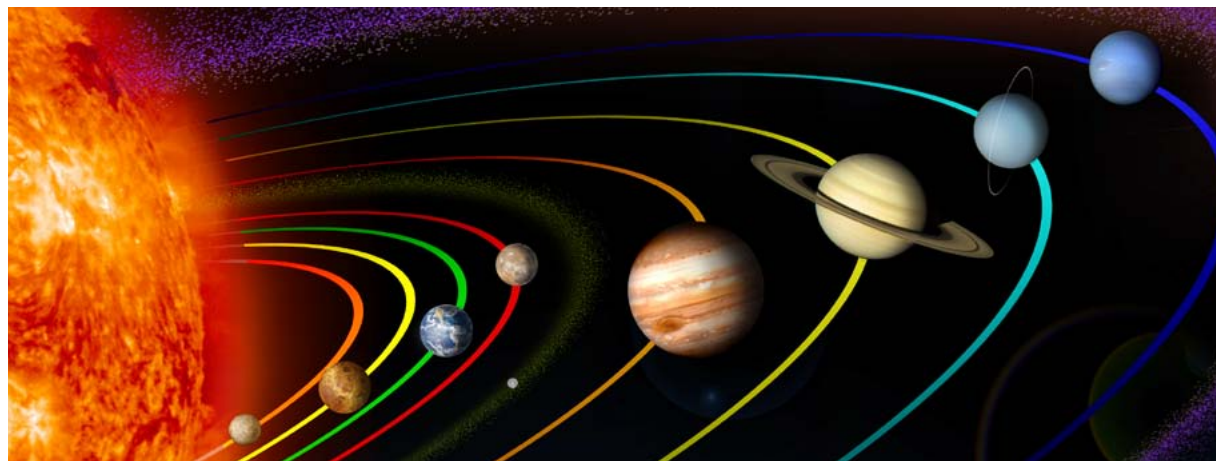
El modelo de formación de los planetas establece que el proceso tuvo lugar en tres estadios. En el primer estadio las partículas de polvo de tamaño micrométrico tienden a sedimentarse hacia el plano central del disco y a acrecer por inestabilidad gravitatoria o por colisión, formando sólidos denominados planetésimos. La masa inicial de estos cuerpos es de 10^{18-21} gramos y sus dimensiones están comprendidas entre 10-100 km. En el segundo estadio las colisiones entre planetésimos lleva al crecimiento de embriones planetarios (esto es, de cuerpos de tamaño comprendido entre la Luna y Marte). Al final de este estadio el sistema está constituido por unas



“Los meteoritos representan una especie de yacimiento arqueológico, en el que se han preservado los detritus que se formaron durante los primeros millones de años del Sistema Solar”

pocas docenas de embriones de tamaño comparable, inmersos en un enjambre de planetésimos, cuya masa total es aproximadamente comparable a la masa total de los embriones. Las simulaciones realizadas sugieren que los embriones se forman en <1 Ma a 1 UA. En el estadio final de la acreción el efecto gravitatorio de los planetésimos comienza a desvanecerse, puesto que su número decrece considerablemente y los embriones planetarios comienzan a perturbarse cuando coinciden sus órbitas. En este escenario el crecimiento de los planetas se produce por colisión entre embriones y en menor medida por acreción de los planetésimos residuales. Este último estadio tiene lugar en ~ 100 Ma.

A diferencia de los dos primeros estadios, en los que la acreción estuvo dominada por pequeños cuerpos, el último estadio se caracterizó por grandes y violentas colisiones entre embriones, algunas de las cuales pudieron dar lugar a intensos procesos de vaporización y de fusión. Cuando se alcanzan temperaturas lo suficientemente altas para fundir no solo los metales



Representación del Sistema Solar de Image editor tema Solar de Image editor

sino también los silicatos, se forman océanos de magma, en los que por diferencia de densidad se separan la fase silicatada y la fase metálica. Esta importante diferenciación, que han experimentado todos los planetas terrestres, dió lugar a la formación en el protoplaneta de un manto silicatado por una parte y de un núcleo metálico por otra. En la Tierra, dadas sus dimensiones, la formación del núcleo implicó el transporte de la fase metálica a través de la fase silicatada casi 3000 km.

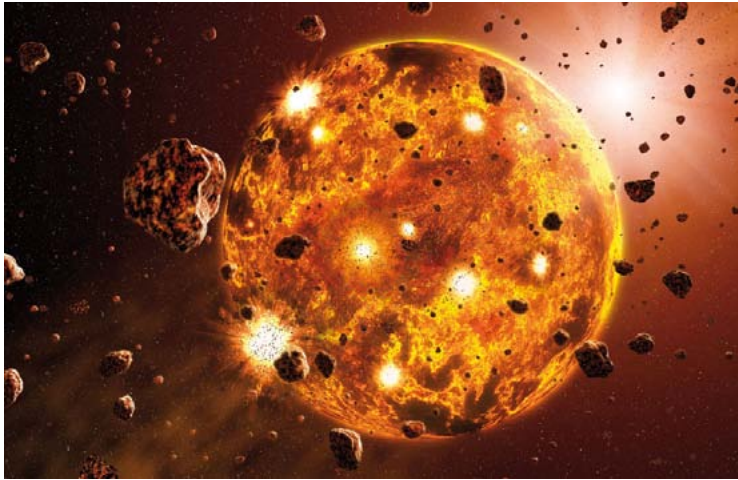
La elevada velocidad de las colisiones del último estadio produjo también la erosión y fragmentación de los embriones y la expulsión al exterior de una importante cantidad de materia. Esto generó la reducción del tamaño de los planetas más interiores como p. ej. Mercurio, ya que las colisiones violentas fueron más frecuen-

“Los planetas terrestres como Mercurio y Marte están formados por silicatos y metales, los gaseosos como Júpiter y Neptuno están constituidos por hielo, gases y núcleos rocosos”

tes cerca del Sol, y la formación de nuevos cuerpos, como p. ej. la Luna, por la re-acreción de una parte de la materia arrojada.

Como la temperatura del disco protoplanetario cerca del protosol era mucho más elevada que en su parte más exterior, en las zonas más interiores condensaron las fases de más alta temperatura, como los silicatos y los óxidos de



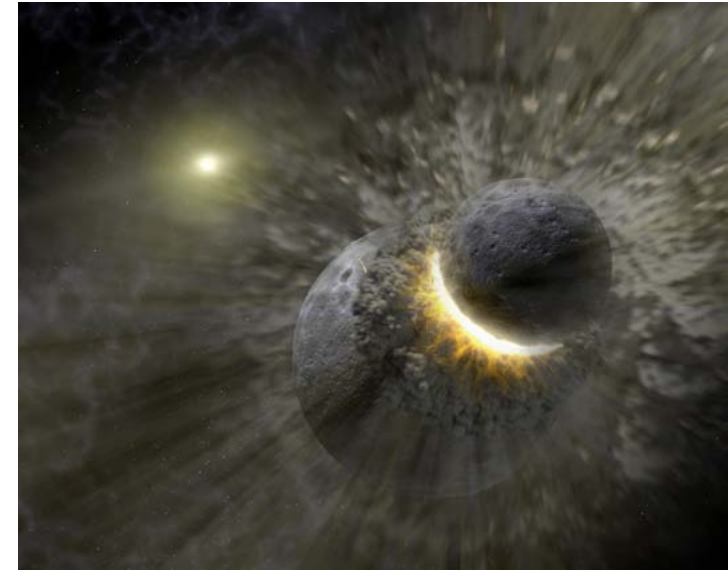


En los dos primeros estadios, el proceso de acreción estuvo dominado por pequeños cuerpos, mientras que el último estadio se caracterizó por grandes y violentas colisiones entre embriones planetarios. En Brandon 2011

metales, mientras que en las zonas más alejadas lo hicieron las fases más volátiles. Esto explica la existencia de planetas terrestres (Mercurio, Venus, Tierra y Marte), constituidos esencialmente por silicatos y metales, en la parte interior del Sistema Solar, y la de planetas gaseosos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno), constituidos fundamentalmente por hielo y gases y núcleos rocosos, en las zonas más exteriores del Sistema, así como la sistemática disminución de la densidad de los planetas al aumentar su distancia al Sol.

En resumen, el proceso de gestación de la Tierra comenzó con la formación de los planetésimos, que se generaron por agregación de las partículas de polvo que se fueron sedimentando en el plano

“Se acepta la edad absoluta de 4567 Ma para definir la del origen del Sistema Solar y para marcar el “tiempo cero” de todos los sucesos que han tenido lugar en la evolución de los diferentes cuerpos que lo integran”



Impacto de dos protoplanetas/ NASA

central del disco protoplanetario que se formó alrededor del protosol. Continuó con la colisión de estos planetésimos para dar lugar a la formación de embriones del tamaño de la Luna – Mercurio y finalizó, después de una larga etapa de varias decenas de millones de años, en la que se produjeron violentas colisiones entre embriones, con la formación de un núcleo metálico por una parte y la generación de la Luna por otra.

En cuanto a la edad de este evento, la datación de las inclusiones ricas en Ca y Al (denominadas CAIs), presentes en algunos meteoritos primitivos, proporciona una edad absoluta de 4567 Ma. Como la composición de estas inclusiones es similar a la que se supone que tendría el primer

condensado de la nebulosa solar y su edad es la más antigua conocida entre los materiales que se formaron en el Sistema Solar, se acepta esta edad para definir la del origen del Sistema Solar y para marcar el “tiempo cero” de todos los sucesos que han tenido lugar en la evolución de los diferentes cuerpos que integran el Sistema Solar.

Se asume que las CAIs se formaron en regiones de la nebulosa muy cercanas al protosol, en las que la temperatura ambiente era superior a los 1350 K. Subsecuentemente fueron dispersadas hacia regiones más exteriores del disco protoplanetario e incorporadas a los cuerpos de los que derivaron los meteoritos condriticos ■

Más información en la Misión Génesis de la NASA

