



Clase 1 - Cosmos

513113 Introducción a la Geofísica
Pedagogía en Ciencias Naturales

Matt Miller, Daniel Marcos
Departamento de Geofísica
Universidad de Concepción
mrmiller@udec.cl

www.mttmlr.com

Versión 2.0



Introducción - Objetivos

- Reconocer el modelo conceptual de la evolución del universo basado en las observaciones astronómicas.
- Distinguir entre los ciclos de vida de estrellas de diferentes masas
- Resumir las condiciones iniciales y los pasos necesarios para la formación del Sistema Solar.
- Identificar diferentes tipos de cuerpos celestiales en el Sistema Solar.
- Relacionar diferentes tipos de meteoritos con la estructura de diferentes cuerpos celestes.
- Describir el proceso de la formación de la Luna.



La Evolución del Universo

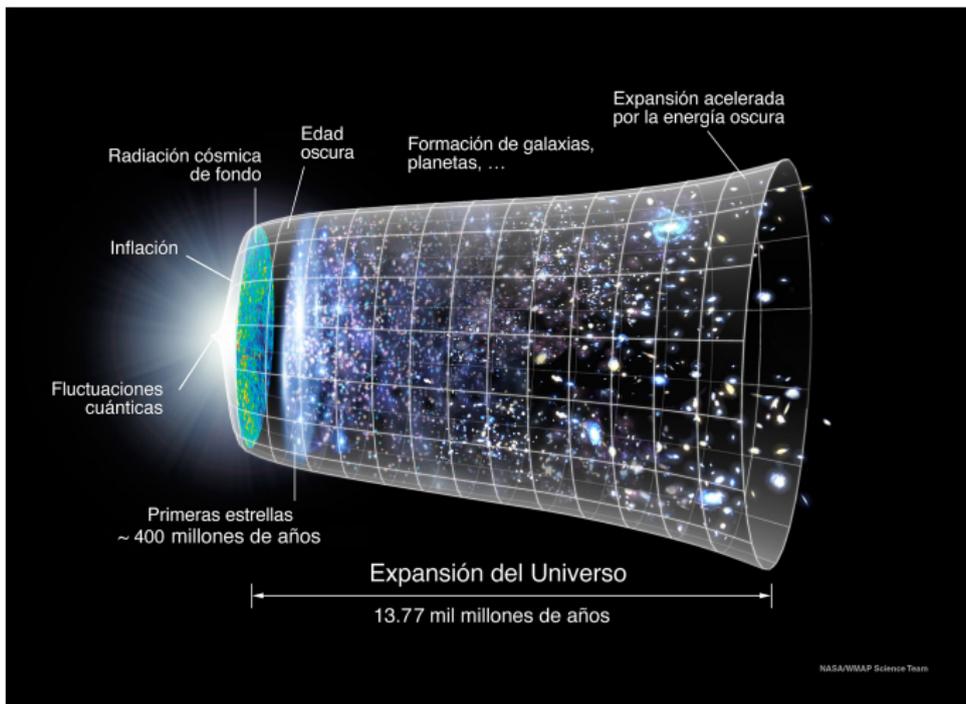


Figura 1: La evolución del Universo desde el *big bang*.
(Fuente: NASA, Ryan Kaldari, Luis Fernández García, modificada)



La Evolución del Universo

- El esquema de la Figura 1 es bastante famoso. El tiempo va avanzando hacia la derecha, comenzando desde la creación de nuestro Universo, hace unos 13,77 miles de millones de años.
- El periodo de inflación produce crecimiento exponencial al inicio. Luego la expansión ocurre más lenta por el efecto de la gravedad.
- La expansión más reciente esta acelerada debido a la “energía oscura”, una fuerza misteriosa todavía no comprendida.
- La radiación cósmica de fondo se emitió después de unos 375 mil años. Las condiciones de los tiempos iniciales están impresas en este patrón, y actúa como una base para el desarrollo del universo.



El Ciclo de Vida de las Estrellas



Figura 2: El ciclo de vida de estrellas y los caminos posibles dependiendo de la masa de la estrella. (Fuente: NASA, modificada)



El Ciclo de Vida de las Estrellas

- Todas las estrellas se forman en nebulosas estelares, grandes nubes de gases y polvo. La Figura 2 muestra que el ciclo de vida depende del tamaño de la estrella.
- Las reacciones nucleares en el centro de una estrella libera una gran cantidad de energía.
- Eventualmente, cuando se acaba el hidrógeno dentro de una estrella, se generan elementos más y más pesados (hasta el hierro). La estrella se expande y se enfría, convirtiéndose en una gigante roja.
- Estrellas más pequeñas, como el Sol, generan nebulosas planetarias con material emitida por la gigante roja, y luego una fase de enana blanca.
- Estrellas más grandes explotan como una supernova, generando elementos mas pesados que el hierro, y dejando detrás una estrella de neutrones, o incluso un agujero negro.



La Formación del Sistema Solar

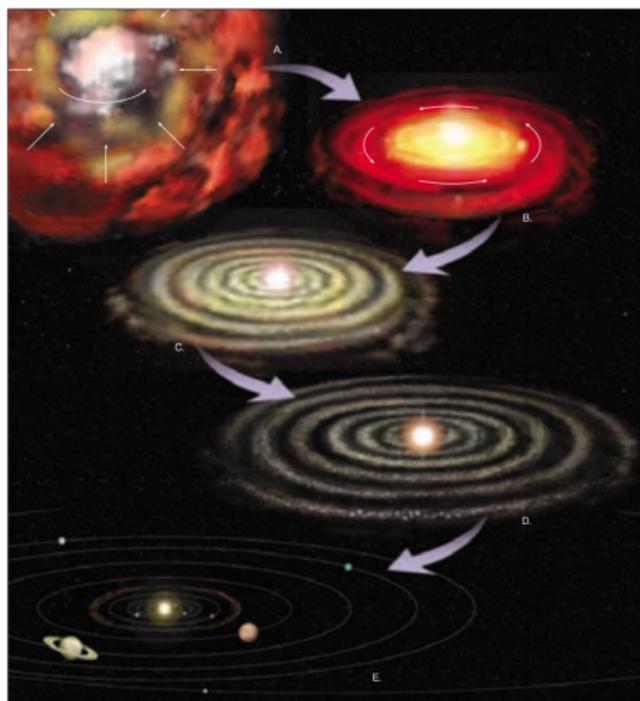


Figura 3: Modelo conceptual de la formación del Sistema Solar.
(Fuente: Tarbuck y Lutgens Fig. 1.4)



La Formación del Sistema Solar

- Según modelos de la formación del sistema solar, se nació con una nube de gases y polvo (nebulosa), girando lentamente, colapsando en un disco. Pequeñas variaciones en su densidad causan el inicio de la acreción de partículas mas grandes (Figura 3A).
- Este colapso libera energía gravitacional que se convierte, a través de colisiones, en energía térmica. El centro llega a suficiente temperatura para permitir la fusión de hidrógeno al helio y nace un Sol. (3B).
- El enfriamiento del disco permite la condensación de material metálico, rocoso y helado (3C).
- Colisiones repetidas generan cuerpos del tamaño de asteroides y un disco protoplanetario (3D).
- Colisiones adicionales entre estos cuerpos siguieron por unos pocos millones de años, hasta que se encontró una configuración bastante estable con ocho planetas alrededor del Sol (3E).



Cuerpos Celestes en el Sistema Solar

Existen muchos mas cuerpos en el Sistema Solar. Entre ellas:

- Satélites naturales que orbitan alrededor de los planetas. Por ejemplo, la Luna.
- Planetas enanos, cuerpos celestes que no cumplan la definición estricta de un planeta. Por ejemplo, Plutón.
- Asteroides, pequeños cuerpos rocosos o metálicos que orbitan el Sol, con tamaño de ~ 1 m a ~ 500 km. Por ejemplo, **Dimorphos**.
- Cometas, cuerpos rocosos con hielo que orbitan el Sol.
- Meteoroides, pequeños fragmentos de asteroides o cometas de tamaño de una piedra. Cuando se entran la atmósfera terrestre, se llaman meteoros. Si alcanzan la superficie terrestre, se llaman meteoritos.



Meteoritos

- Las **condritas** son rocas que se formaron al inicio del sistema solar y evitaron colisiones hasta llegar a la superficie de la Tierra.
- Condritas contienen cristales de minerales del manto terrestre y hierro metálico.
- Condritas además contienen **cóndrulos** que son esferas de silicatos vídriosos con un tamaño de unos milímetros.
- Los cóndrulos tienen una forma esférica. No existen en rocas terrestres.
- Basadas en estas observaciones, se puede decir que los cóndrulos se condensaron rápidamente de la nebulosa inicial del sistema solar, en condiciones de cero gravedad.



Figura 4: El meteorito de Allende. Una condrita. (Fuente: [WashU Meteorite Site](#))



Meteoritos

- Los **meteoritos de hierro-níquel** son una aleación con **dos estructuras cristalinas que crecen a diferentes ángulos**.
- Grandes cristales de un tamaño de unos centímetros significa que esta aleación se enfrió lentamente.
- Las observaciones apoyan la idea que estos meteoritos fueron formados como los núcleos de protoplanetas, que después fueron destruidos en colisiones.



Figura 5: Un meteorito de hierro-níquel. (Fuente: <https://astronomy.stackexchange.com/>)



Meteoritos

- Los **meteoritos de hierro-piedra** tienen una matriz de hierro, con unos cristales adentro de minerales del manto (predominantemente Olivino).
- La figura muestra parte del meteorito de Esquel (¿De qué país?).
- ¿Estos meteoritos representan qué frontera dentro de la Tierra?

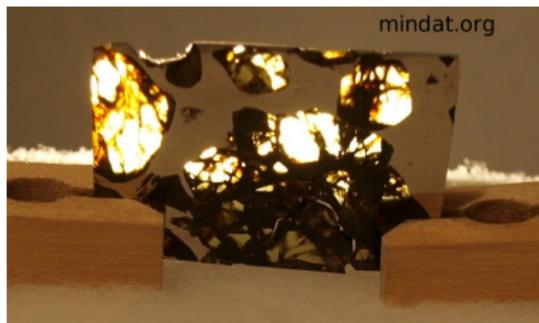


Figura 6: Un meteorito de hierro-piedra. (Fuente: <https://www.mindat.org/>)



La Formación de la Luna

- Simulaciones muestran que un gran impacto fue responsable para la formación de la Luna.
- La Figura 7 muestra alrededor de siete horas de simulación de una colisión entre la Tierra y un protoplaneta aproximadamente del tamaño del Marte.
- El material expulsado luego se acumula por la acción de la gravedad, formando la Luna.

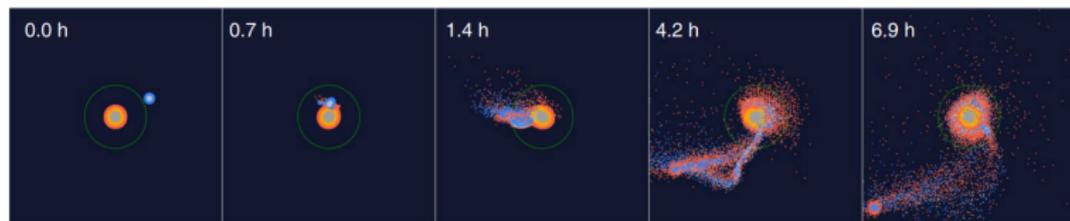


Figura 7: Simulación del impacto formando la Luna. Los números representan el tiempo en horas después del inicio de la simulación. (Fuente: Hosono, N., Karato, Si., Makino, J. et al. Terrestrial magma ocean origin of the Moon. Nat. Geosci. 12, 418–423 (2019).)



Resumen - Conclusiones

- Durante los últimos 13,770,000,000 años el Universo ha ido expandiéndose después del *big bang*, mientras que la masa que contiene se ha agrupado en galaxias, sistemas solares y planetas por la acción de gravedad.
- Sistemas Solares se generan por el colapso gravitacional de nebulosas, formando una estrella en su centro y planetas en orbita.
- Existen cuerpos celestes adicionales en el Sistema Solar.
- Análisis de meteoritos nos entrega pistas sobre condiciones iniciales en el sistema solar, y incluso pistas sobre el interior de nuestra planeta.
- La Luna se formó por una colisión gigante cuando la Tierra fue recién nacido.



- 1 ¿Cuál es la evidencia que indica la edad del Universo?
- 2 ¿Cuál es la reacción nuclear predominante en nuestra sol? Es fusión nuclear o fisión nuclear?
- 3 ¿Por qué la nebulosa inicial del Sistema Solar se colapsa hacia un disco y no una esfera?
- 4 ¿Por qué el planeta metálico es lo más cerca al Sol, luego los planetas rocosos, luego los planetas de gases e hielo?
- 5 ¿Por qué los planetas giran en la misma dirección alrededor del Sol, en el mismo plano orbital?
- 6 ¿Por qué los planetas giran bastante rápidamente alrededor del Sol, mientras que la nebulosa inicial del Sistema Solar giraba lentamente?



Preguntas

- 7 ¿Por qué los ejes de giro de los planetas no están perpendicular al plano orbital? ¿Qué planeta gira en el sentido contrario de la Tierra? ¿En la Figura 8 la posición de la Tierra respecto al Sol significa que el hemisferio sur esta en el verano o el invierno?

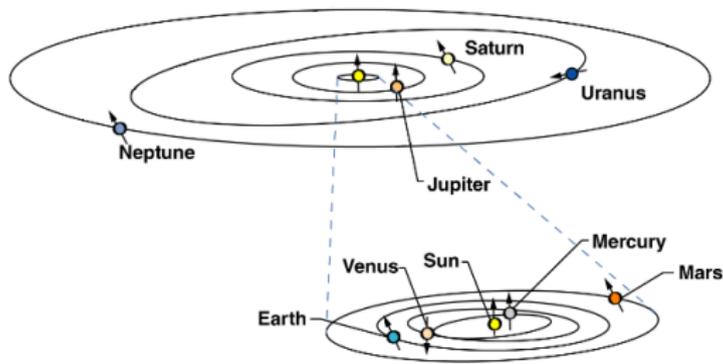


Figura 8: Las órbitas y los ejes de giro de los planetas. (Fuente: [NASA Space Place](#), modificada)



- 8 ¿Por qué la Luna tiene muchas cráteres de meteoritos visibles mientras que la Tierra tiene pocas?
- 9 ¿Cuál es la evidencia que indica la edad del Sistema Solar? ¿Esta evidencia viene de que tipo de cuerpo celeste?
- 10 ¿Por qué no es una sorpresa que mucho hierro existe en el Sistema Solar?
- 11 ¿Por qué la misma cara de la Luna siempre enfrenta a la Tierra?



Lectura y actividades adicionales

- Jugar con este [solar system simulator](#) y investigar la estabilidad de sistemas mientras que la cantidad de cuerpos aumenta.
- [Eyes on the Solar System](#): Herramienta interactiva en 3D de la NASA para explorar el Sistema Solar en tiempo real.
- [Stellarium Web](#): Planetario en línea que muestra las constelaciones, posiciones de estrellas y planetas en cualquier fecha y ubicación.
- [Star in a Box](#): Simulador que permite estudiar la vida de una estrella desde su formación hasta sus etapas finales.
- [Scale of the Universe](#): Aplicación interactiva que permite visualizar la escala del Universo.
- [El universo se está expandiendo más rápido de lo esperado.](#)
- Buscar imágenes del telescopio James Webb de la Nebulosa del Águila, una región donde estrellas jóvenes se están formando.
- Investigar [NASA Space Place](#), un sitio web para jóvenes escolares.

