

# **¡DE 7 A 200 MIL: EL SISTEMA SOLAR CRECE!**

**René Duffard**

Instituto de Astrofísica de Andalucía (iaa)  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

## **Introducción:**

En los últimos 20 años, la comprensión acerca del Sistema Solar (SS) cambió mucho. No solamente se avanzó en el empleo de técnicas de detección que utilizan telescopios e instrumentos mucho mejores a los que se usaban, sino que también se visitaron con naves robóticas otros planetas y cuerpos menores, como algunos asteroides. En este ensayo, voy a resaltar los avances obtenidos en el conocimiento de nuestro SS, desde el punto de vista de los cuerpos menores.

Es interesante resaltar que el área específica de los estudios del SS se ha tornado interdisciplinaria, ya que para entender algunos procesos presentes en los planetas y cuerpos menores, últimamente los astrónomos necesitan comunicarse con químicos, geólogos, matemáticos, etc. y usar técnicas nuevas como simulaciones por ordenador, laboratorios de análisis de materiales e isótopos, estudios de mineralogía de meteoritos y minerales, etc.

Hasta hace solo 3 años se entendía a nuestro SS como formado por 9 planetas (algunos con satélites) y dos cinturones de cuerpos menores. El primer cinturón de asteroides está concentrado entre las órbitas de Marte y Júpiter y el segundo más allá de la órbita de Neptuno. Los objetos pertenecientes a estos cinturones están compuestos por material que no consiguió formar un cuerpo mayor como un planeta. El material que sobró entre Marte y Júpiter está compuesto principalmente por rocas con algunos indicios de hielos, mientras que el cinturón trans-neptuniano está formado principalmente de mezclas de hielos (agua, monóxido y dióxido de carbono, metano, amoníaco, etc.) con algún porcentaje de material rocoso. Esto se explica fácilmente ya que los hielos solo se pueden condensar lejos de la estrella, en nuestro caso, el Sol.

## **Meteoritos, Asteroides y las nuevas técnicas de estudios.**

Los astrónomos que estudiamos asteroides somos privilegiados, ya que somos los únicos que tenemos la capacidad de poder tocar fragmentos de los cuerpos que estudiamos. Los meteoritos que son objetos encontrados en la superficie de la Tierra (y también en la superficie de Marte y la Luna) son pequeñas muestras de asteroides. Hay que mencionar que solo en muy pocos casos es posible identificar el asteroide que originó a un meteorito o grupo de meteoritos. Al tener la posibilidad de experimentar con un fragmento de asteroide en los laboratorios, las técnicas de estudio cambian. De las técnicas usadas con el telescopio o la nave espacial, en el laboratorio se puede analizar los isótopos presentes en una roca, su mineralogía al detalle sub-milimétrico, la historia termodinámica de formación de esa roca, etc. En los últimos años se incrementó la comunicación entre los expertos en meteoritos, los astrónomos planetarios, los

especialistas en física de materiales y los geólogos, para nombrar algunos, y no es extraño encontrarlos en los congresos científicos sobre asteroides intercambiando ideas. Por otro lado, ya existen datos provenientes de naves, que llegaron a sobrevolar algunos asteroides y cometas, con detalles sin precedentes sobre la superficie de estos objetos. Esto abrió nuevos horizontes a geólogos que tenían que explicar los procesos presentes en cuerpos tan pequeños como el del asteroide Itokawa (ver Figura 1) de unos 500 metros de diámetro. En este caso particular se puede observar un aglomerado de fragmentos, que se conoce como “pila de escombros” o “*rubble-pile*”. Es así que el concepto que define a los asteroides cambio sustancialmente, pasaron de ser puntos de luz en el telescopio, donde solo se estudiaban sus movimientos, la dinámica en el SS interior, a ser pequeños mundos, con una historia geológica y de colisiones entre ellos. Toda esta nueva información sirve para entender los primeros tiempos de formación y evolución de nuestro SS.



Figura 1:  
Imagen del  
asteroide  
Itokawa  
obtenida por la  
sonda japonesa  
Hayabusa.

## Cometas, Trans-Neptunianos y satélites helados

Con los cometas está pasando algo similar que con los asteroides, solo que la interacción entre hielos y roca es algo mas complicada de explicar. Los núcleos cometarios son objetos muy pequeños, del orden de kilómetros (Figura 2), que generan una coma y colas espectaculares al sublimar el material presente en ellos al acercarse al Sol.

Estos objetos son pequeñas muestras que llegan de la parte exterior del SS, donde los hielos de agua, dióxido y monóxido de carbono y amoníaco, entre otros, se pueden condensar. En los últimos años se detectaron compuestos orgánicos de mucha complejidad ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{NH}_2\text{CHO}$ ,  $\text{HCOOH}$ ) llamados CHON, en referencia a los compuestos químicos que los forman. Esta nueva química presente en objetos que se encuentran en ambientes de temperatura, presión y radiación extremos es un desafío para los especialistas.

Es a partir de 1992 que se comienzan a descubrir los llamados objetos trans-neptunianos (TNOs según sus siglas en inglés) y una nueva imagen del SS comienza a surgir. En la actualidad hay unos 2000 TNOs descubiertos que serian el origen de algunos de los cometas que se observan.

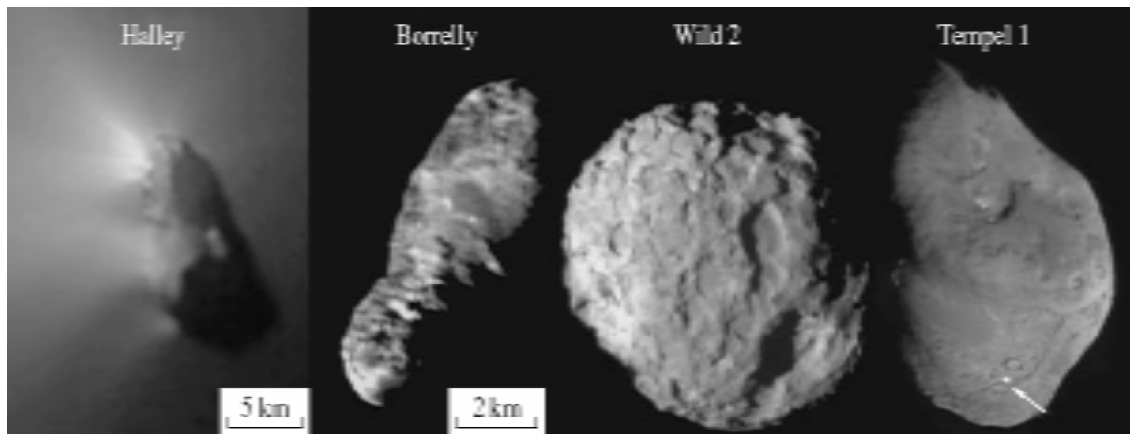


Figura 2: Imágenes de núcleos cometarios obtenidas por sondas espaciales. Los núcleos son objetos pequeños y muy oscuros. La sublimación de los hielos presentes en su superficie genera esas colas tan espectaculares visibles desde Tierra.

Los TNOs se formaron a partir del material presente en la parte externa del SS primitivo, principalmente hielos y un pequeño porcentaje de rocas. Como en el caso del cinturón de asteroides, la presencia de un planeta grande cercano, impide la formación de un cuerpo mayor. Júpiter es el culpable de la existencia del cinturón de asteroides como tal, y Neptuno del cinturón de cuerpos helados, los TNOs.

Uno de los mayores TNOs es Plutón, hasta hace poco el noveno planeta. Que sucedió? Al ser descubierto el cinturón de los TNOs, se comprueba que Plutón es uno mas de entre ellos, incluso hay objetos mayores que Plutón, como Eris. Estos nuevos conocimientos hacen plantearse a los astrónomos por primera vez la definición de planeta. Luego de un debate en el seno de la Unión Astronómica Internacional realizado en la ciudad de Praga en 2006, se llega a una definición oficial de planeta. Plutón queda definido como **Planeta Enano**, junto con Eris, Ceres (el mayor de los asteroides) y algunos otros TNOs. Se puede imaginar estos cuerpos como similares a Tritón, satélite de Neptuno (Figura 3)

Otro de los avances mas importantes surgido del descubrimiento de los TNOs es el nuevo modelo de evolución del SS, el cual explica, a lo largo de la historia de formación del SS, que los planetas migraron desde su posición de formación a la posición actual. Esta migración produjo cambios en el SS tal como un gran movimiento de material desde el exterior hacia el interior, con tremendas consecuencias para los planetas interiores. Este bombardeo transportó mucho material y dejó sus marcas que son visibles en la actualidad en la superficie de la Luna o Mercurio.

El nuevo campo de estudio surgido a partir de la década del '90, provee información que permite interaccionar a especialistas de distintas áreas para entender el extraño y frío lugar donde se encuentran estos objetos. Debido a que estos cuerpos se encuentran tan lejos de la estrella y su alteración físico-química es pequeña a lo largo de su historia, son considerados primordiales. El objetivo entonces, es entender su composición actual y de esta forma poder inferir el ambiente de formación de estos cuerpos en el SS primitivo.

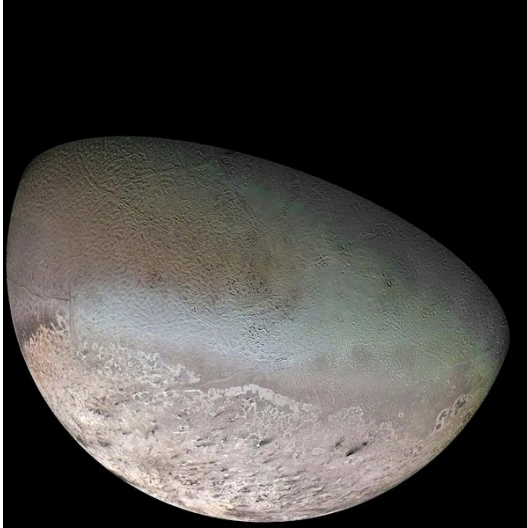


Figura 3: Imagen de Tritón, satélite de Neptuno. Este objeto sería un TNO capturado por Neptuno y provee una excelente imagen de cómo sería la superficie de uno de estos objetos. Imagen tomada por la sonda Voyager.

### **Nuevos conceptos, nuevos trabajos interdisciplinarios**

Muchos de los avances producidos en los últimos 20 años llegados de la mano de los estudios de los cuerpos menores de nuestro SS cambiaron algunos conceptos importantes. El más importante de ellos, como se refirió anteriormente, es el nunca antes definido concepto de **“Planeta”**. Por primera vez en la historia los especialistas del área se reunieron a discutir ese concepto llegando a una conclusión: Plutón deja de ser planeta y se define una nueva categoría, los llamados planetas enanos. La diferencia entre estas dos categorías es la capacidad de haber limpiado el material sobrante de su zona de influencia gravitatoria. Esto quiere decir que los planetas no forman parte de un cinturón de objetos similares mientras que los planetas enanos, a pesar de tener una forma esférica, son parte de una población de objetos similares o menores.

Otro de los grandes cambios que se observaron últimamente es el aumento en la comunicación entre los astrónomos planetarios y estelares. Cinturones de TNOs o discos de polvo se pueden observar en torno a otras estrellas (Figura 4), por lo que es de esperar que estudiando en detalle nuestro cinturón de TNOs se pueda llegar a entender los discos presentes en las otras estrellas.

Finalmente, hay que mencionar que se logran detalles micrométricos en meteoritos y partículas inter-planetarias al ser estudiadas en los laboratorios y detalles de algunos metros en los asteroides con órbitas cercanas a la Tierra que fueron visitados por naves espaciales. Sin embargo, los asteroides del cinturón principal se observan con detalles de algunos kilómetros y por último se están descubriendo TNOs de decenas de kilómetros más allá de la órbita de Neptuno.

En el futuro próximo se espera visitar algunos objetos interesantes. La nave Rosetta quedará en órbita alrededor de un cometa a medida que éste se acerque al Sol y se vuelva activo. La nave DAWN orbitará durante 6 meses al asteroide Vesta y luego al planeta enano Ceres. Es la primera vez que una nave permanecerá tanto tiempo orbitando en torno a un cuerpo menor.

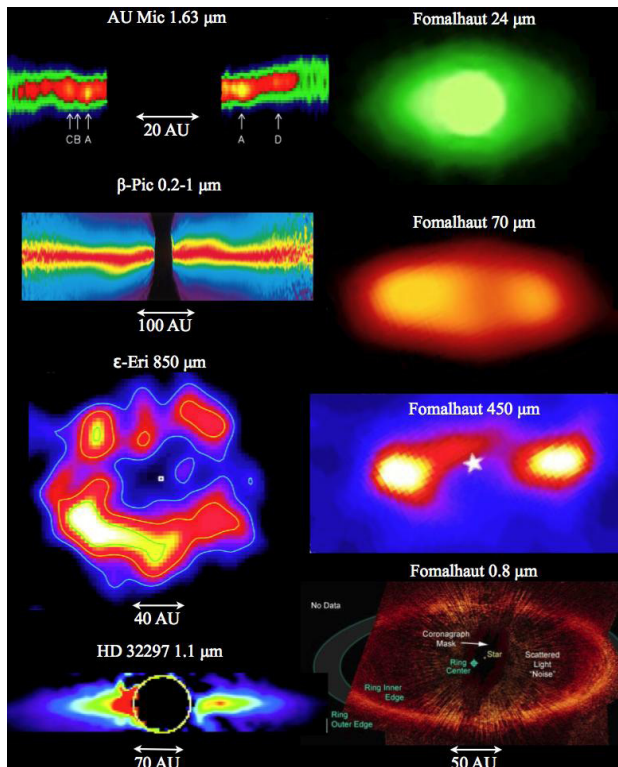


Figura 4: En la actualidad se conocen del orden de 150 estrellas con planetas. En otros casos solo se puede observar el disco de material alrededor de la estrella, como los presentados en la Figura.

En 2015 la misión *New Horizon* llegará a Plutón y existen otras misiones espaciales planeadas para tomar muestras de asteroides con órbitas cercanas a la Tierra (*Hayabusa II* y *Marco Polo*); por lo que el futuro en lo referente a nuevos e interesantes datos está asegurado.

Con las nuevas observaciones, las definiciones de asteroides y cometas cambiaron. Antes se creía que un asteroide estaba formado solo de roca y un cometa de mezclas de hielos con indicios de rocas. En los últimos años se descubrieron asteroides que presentan indicios de actividad cometaria esporádica, y cometas que ya no tienen más hielos para sublimar. Estos asteroides activos y cometas muertos son objetos que sufrieron o sufren, grandes cambios físicos y generan un área sumamente nueva para estudiar.

Junto con los nuevos modelos de formación planetaria, teniendo en cuenta la migración, hay una mayor interacción entre astrónomos planetarios y estelares, ya que se quiere explicar los objetos que se están descubriendo alrededor de otras estrellas. A lo largo de su historia, esta migración planetaria produce grandes cambios e interacciones entre las diferentes partes de un sistema solar. Material formado lejos de la estrella puede ser transportado hacia regiones más cercanas. Esto quiere decir que existe la posibilidad de formación de un cuerpo a una distancia de la estrella y luego ser transportado a otra distancia, con las consecuencias de este proceso.

Finalmente, uno de los puntos mas importantes para resaltar es lo multidisciplinar e interdisciplinar en que se convirtió la astronomía planetaria. Para trabajar en el área, en este momento hay que tener conocimientos de geología, química, simulación por ordenadores, técnicas de laboratorio, física de colisiones, dinámica, por nombrar algunas áreas. Definitivamente la astronomía planetaria es cada día más interesante, la única donde se puede tener contacto físico con el material estudiado y con un futuro muy apasionante.