

# Dinámica de los sistemas planetarios

PARA COMPRENDER VERDADERAMENTE LOS NUEVOS EXOPLANETAS ES NECESARIO CONTEMPLAR EN SU CONJUNTO EL SISTEMA PLANETARIO AL QUE PERTENECEN

**Francisco J. Pozuelos (IAA-CSIC)**

EL OBJETIVO ÚLTIMO DE LA INVESTIGACIÓN DE EXOPLANETAS CONSISTE en situarnos en el universo. ¿Somos el resultado de la evolución normal? Es decir, ¿tiende la vida a aparecer prácticamente en todas partes, lo que significa que la aparición de la vida inteligente es solo una cuestión de tiempo o somos, por el contrario, únicos, o algo que solo se ha dado en unos pocos lugares en el vasto universo? Esta pregunta ha perseguido a la humanidad desde que emergió la conciencia y, por primera vez en la historia, estamos cerca de responderla. Corren tiempos emocionantes. Cuando la próxima generación de telescopios e instrumentos apunten hacia el cielo, podremos observar sistemas planetarios como nunca antes: supertierras, planetas exóticos, sistemas planetarios en condiciones extremas ... No sabemos lo que vamos a encontrar, pero seguro que va a ser sorprendente. Sin embargo, hay que tener en cuenta que esta nueva tecnología solo nos ofrece una imagen congelada en el tiempo. Para entender lo que observamos es necesario desarrollar estudios dinámicos en el orden de tiempo de vida del sistema, desde unos pocos millones a miles de millones de años. Esto es posible gracias a los grandes avances en la ciencia computacional de las últimas décadas, que nos permiten investigar lo que lleva a los sistemas planetarios a ser



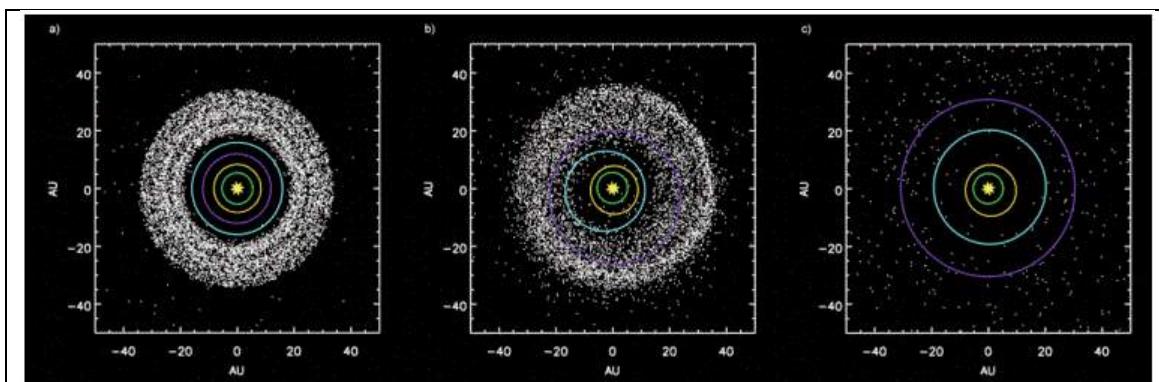
como los vemos hoy y cómo evolucionarán en el futuro. También es necesario entender que tenemos que estudiar el sistema planetario en su conjunto, teniendo en cuenta otros planetas, discos planetesimales o incluso la evolución de la estrella anfitriona. A continuación se comentan algunos ejemplos de la dinámica planetaria que nos ayudarán a aumentar nuestro conocimiento sobre la formación y evolución:

### Interacción planeta-planeta y migraciones

Parece que los sistemas multiplanetaria tienden a tener órbitas más circulares. Este hecho disminuye la influencia de los planetas entre sí, lo que genera estabilidad durante largos períodos de tiempo. Por otra parte, los sistemas planetarios con planetas en órbitas excéntricas generan un escenario caótico e inestable, donde los cuerpos pueden chocar e incluso ser expulsados del sistema. Además, durante los primeros pasos de la evolución después del proceso de formación, los planetas pueden sufrir las denominadas "migraciones". Debido a este mecanismo los planetas pueden evolucionar a órbitas exteriores o interiores; tal escenario puede explicar la existencia de los "júpiteres calientes" (planetas con la masa de Júpiter en órbitas muy próximas a su estrella).

### Interacciones de marea

Algunas de las técnicas de observación utilizadas para detectar exoplanetas son más sensibles a los planetas cuyas órbitas están cerca de la estrella anfitriona, y estos planetas experimentarán fuerzas de marea significativas como resultado de esta proximidad. La relevancia de las mareas en la evolución de los planetas en órbitas cercanas fue evidente con el descubrimiento de *51 Peg b*, cuyo semieje mayor se estableció en solo el 5% de la distancia entre la Tierra y el Sol. Desde entonces, la interacción de marea entre las estrellas y sus planetas cercanos se

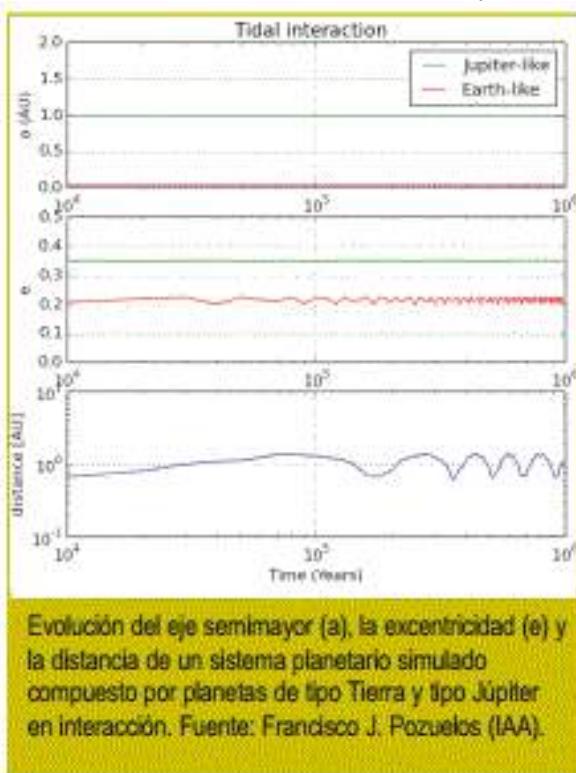


Simulación que muestra la evolución del Sistema Solar. Izda: configuración temprana de los planetas y planetesimales externos antes de la resonancia 2:1 entre Júpiter y Saturno. Centro: dispersión de los planetesimales hacia el Sistema Solar interno tras el desplazamiento orbital de Neptuno (azul oscuro) y Urano (azul claro). Derecha: configuración final tras la expulsión de los planetesimales por los planetas. Fuente: R. Gomes et al.

considera la causa de muchos efectos. Por ejemplo, generalmente se espera que estas fuerzas de marea den lugar a la alineación de los ejes de rotación, a la sincronización de la rotación y de los períodos orbitales, a la reducción de la elipticidad orbital (circularización de las mareas), a la reducción del eje semimayor y la conversión de energía orbital en calentamiento de marea del planeta.

Este efecto de calentamiento de marea en planetas rocosos (o terrestres) y exosatélites puede tener implicaciones importantes para la habitabilidad. Por ejemplo, en nuestro Sistema Solar, se dan dos ejemplos en el sistema de lunas de Júpiter: el frío satélite Europa es un cuerpo rocoso cubierto por una corteza de hielo de agua de 150 kilómetros, y el calentamiento de marea sería el responsable de mantener un océano de agua bajo la superficie. Otro caso claro es el de Ío, donde la extrema violencia de las mareas provoca una intensa actividad volcánica global y el rejuvenecimiento rápido de su superficie, descartando cualquier posibilidad de

habitabilidad. Por lo tanto, resulta imprescindible realizar un tratamiento correcto de las interacciones de marea para determinar si el planeta fue, es, o será habitable, y por cuánto tiempo. De especial interés serán aquellos planetas en órbitas cercanas, clasificados como planetas terrestres y situados en torno a estrellas enanas rojas (o estrellas M), donde se espera que la zona habitable se halle en la región donde actúan las mareas.



terminado. Pero, por otra parte, un gran impacto elimina cualquier posibilidad de habitabilidad, un hecho que se comprobó con el impresionante impacto del cometa Shoemaker-Levy 9 con Júpiter en 1994, que constituyó la primera observación del impacto de dos objetos en el Sistema Solar. Todos estos estudios complementarán la información obtenida de los telescopios que nos da una mejor idea de cómo evolucionan los sistemas planetarios. Vamos a ser capaces de determinar lo raros que son nuestro planeta y nuestro sistema planetario.

**Francisco J. Pozuelos (IAA-CSIC)**

**Este artículo aparece en el número 49, junio 2016, de la revista *Información y Actualidad Astronómica*, del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC)**