

CIENCIA Y SOCIEDAD

Calisto

Un océano en sus entrañas

Hace poco más de tres años la nave *Galileo* descubrió que el campo magnético de Júpiter era alterado en las cercanías de Calisto por un campo magnético local, inducido en este satélite por las poderosas corrientes de plasma existentes en el entorno del mayor de los planetas del sistema solar. El mismo fenómeno sucedía en Europa. Más tarde se encontró también en Ganímedes.

La única interpretación que parece verosímil es que los campos

magnéticos se generen en capas de agua salada, de al menos varios kilómetros de espesor, bajo la superficie de estos satélites jovianos. Se trataría, literalmente, de océanos subterráneos.

Con anterioridad a la misión *Galileo* se pensaba que Calisto se hallaba prácticamente “indiferenciado”. Es decir, su interior consistiría en una mezcla más o menos homogénea de hielo, roca y metal; también, que el hielo no se habría fundido nunca, o de lo contrario la roca y el metal se habrían acumulado hacia las partes centrales del satélite debido a su mayor densidad.

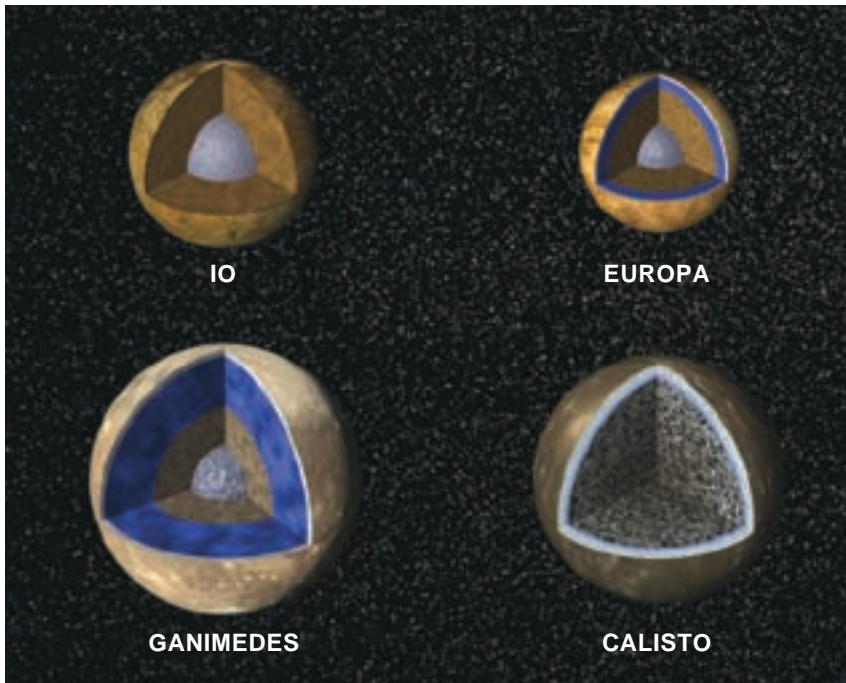
Pero tras el análisis detallado de la trayectoria de la *Galileo* en las cercanías del satélite, se ha llegado a la conclusión de que Calisto presenta cierto grado de diferenciación. Parece tener una capa externa de agua (con este método no se puede distinguir si ésta se encuentra líquida o helada, debido a la que la densidad sería parecida en los dos casos) de hasta 350 km de espesor, en acuerdo con la posible existencia de un océano interno, envolviendo un interior que seguramente permanece en gran medida sin diferenciar.

Un océano interno en Europa puede mantenerse sin congelar merced al calentamiento disipado por fricciones mareales originadas por su órbita excéntrica en el campo gravitatorio de Júpiter (este mismo proceso, pero a una escala mayor, da lugar a la intensa actividad volcánica exhibida por el vecino Io). Ganímedes puede haber sido calentado por mareas durante algunas fases de su historia geológica, quizás incluso recientemente. Pero en Calisto el calor aportado por las mareas puede considerarse despreciable, por lo que la existencia de un océano interno suponía un serio desafío a las teorías en vigor; más aún, cuando no parece haber dispuesto de energía suficiente para haber completado la separación de sustancias ligeras y densas en su interior.

En un artículo clásico publicado en 1979, Ray Reynolds y Patrick Cassen, entonces en el Centro de Investigación Ames de la NASA, concluyeron que una corteza de hielo flotando sobre un océano en un gran satélite de hielo (como Calisto) sería inestable frente a la convección en estado sólido. La eficacia de este proceso para extraer calor desde el interior es tal, que, una vez iniciado, debe llevar a la congelación de cualquier capa de agua líquida en un tiempo de a lo sumo unos cientos de millones de años. Se trata de un intervalo muy corto, comparado con la



1. Fotografía de Calisto tomada por la nave *Galileo* en mayo de 2001, única imagen global en color del satélite tomada por esta sonda. En la imagen se observa que la superficie se encuentra salpicada de cráteres de impacto, lo que atestigua que su antigüedad se remonta a los primeros tiempos del sistema solar



2. Estructura interna de los cuatro grandes satélites galileanos de Júpiter (de izquierda a derecha y de arriba abajo: Io, Europa, Ganimedes y Calisto), mostrados a una misma escala

edad del sistema solar; por eso se aceptaba que ningún océano interno podría haber sobrevivido en Calisto hasta la actualidad. Para evitar que el agua líquida se congele se puede recurrir a la existencia de sustancias anticongelantes (por ejemplo, el amoníaco puede bajar el punto de fusión del hielo incluso en unos 100 grados centígrados).

El modelo de Reynolds y Cassen consideraba (por simplicidad) que la viscosidad del hielo depende exclusivamente de la temperatura (un fenómeno que recibe la denominación técnica de viscosidad newtoniana), disminuyendo exponencialmente con el aumento de la misma. Desde entonces ésta ha sido una premisa básica en los estudios sobre satélites de hielo.

Pero los experimentos de laboratorio muestran que el hielo de agua es, en realidad, un material no newtoniano, lo que significa que su viscosidad depende de la temperatura y de los esfuerzos que se le aplican; cuanto menores son los esfuerzos mayor es la viscosidad, y en el interior profundo de la corteza de Calisto los esfuerzos son muy bajos, mucho menores que en una corteza torturada por mareas.

Por tanto, un estudio más riguroso de la dinámica de la capa de hielo de Calisto (y por extensión, del resto de satélites helados del sistema solar exterior) debe tener en cuenta la naturaleza no newtoniana del hielo. Cuando ésta se considera en los cálculos se obtiene que la corteza externa de hielo de Calisto es estable frente a la convección, lo cual implica que la energía aportada por los isótopos radiactivos presentes en la fracción rocosa debe bastar para permitir a un océano interno escapar de la congelación y sobrevivir hasta la actualidad. Eso sí, a una profundidad de cien kilómetros bajo la superficie.

Así pues, sin necesidad de recurrir a sustancias anticongelantes o a otras condiciones especiales, la existencia de agua líquida en el interior de Calisto puede constituir una consecuencia inevitable de la dinámica interna de un gran satélite helado. Dinámica que puede ser muy distinta de lo considerado hasta ahora. Si la convección es más difícil de iniciar en las capas externas de satélites de hielo de lo que se había venido pensando, entonces la existencia de océanos in-

ternos puede resultar un fenómeno bastante común. Concretamente, debería esperarse la presencia de océanos internos en grandes satélites como Ganimedes y Titán.

JAVIER RUIZ
 Departamento de Geodinámica
 Facultad de Ciencias Geológicas
 Universidad Complutense
 de Madrid
 jaruiz@geo.ucm.es