

Los cazadores del agua perdida

Por Alberto Flandes

El Sistema Solar alberga muchos cuerpos con agua. Algunos incluso tienen océanos debajo de una superficie sólida. ¿Cómo lo sabemos?

Hasta hace unas décadas se creía que el agua era escasa fuera de la Tierra, pero con telescopios cada vez más potentes y más naves espaciales explorando el Sistema Solar, hoy sabemos que no sólo en nuestro planeta hay agua en abundancia. Se encuentra como hielo en los núcleos y las atmósferas de los cometas, en las su-

perficie de asteroides y de muchas lunas, en el polvo y las rocas de los anillos planetarios. Muy probablemente también hay agua en el interior de algunas lunas de los planetas gigantes y más allá de nuestro Sistema Solar. Una enorme nube de vapor de agua descubierta en 2011 alrededor de un hoyo negro súper masivo sugiere que ha habido agua durante la mayor parte de la historia del Universo.

Agua primordial

Se cree que en los inicios del Sistema Solar, hace cerca de 4.500 millones de años, el Sol y todo lo que lo rodea se formó a partir de una nube de gas y polvo, que hoy llamamos nebulosa protosolar. En el mismo proceso que dio origen al Sol primitivo, la gravedad de la nube formó los cometas y los asteroides, planetas enanos como

Plutón y Ceres y también cuerpos más grandes, como los planetas que conocemos. En este proceso muchos cometas chocaron con cuerpos mayores o cayeron al Sol. Los demás quedaron confinados a la periferia del Sistema Solar.

La energía del Sol jugó un papel fundamental en esta historia, especialmente la luz ultravioleta, por su capacidad de romper moléculas complejas y convertirlas en átomos separados. No sólo hubo cuerpos que acumularon masa, los más cercanos al Sol sufrieron transformaciones profundas y los más pequeños —en particular los cometas y algunos asteroides llamados carbonáceos, que se mantuvieron suficientemente lejos donde la radiación solar era más débil— conservaron una composición similar a la de la nebulosa protosolar. Estos cometas y asteroides se consideran vestigios del material del que se originó el Sistema Solar y contienen importantes cantidades de compuestos orgánicos, como monóxido de carbono y metano, pero más del 80% de su masa es hielo de agua. Los asteroides son roca y metal, pero contienen también cantidades importantes de agua en forma de hielo.

Agua extraterrestre

¿Hubo agua en la Tierra desde la formación del planeta? Durante su formación en la nube protosolar la Tierra debió acumular masa suficiente como para que su gravedad generara presiones y temperaturas capaces de fundir su interior. Esto hace pensar a algunos que la Tierra primitiva no era capaz de retener agua. Muchos investigadores suponen que el agua que existe ahora en la Tierra se depositó por impactos de cometas y asteroides, lo cual parece lógico si pensamos que en las primeras etapas del Sistema Solar éstos no estaban relegados a las regiones exteriores, y los impactos con los planetas eran bastante comunes.

Un cálculo simple nos dice que para cubrir el 70% de la superficie de la Tierra con agua (alrededor de un trillón de toneladas), se requerirían muchos miles de impactos de cometas y más de asteroides, que contienen menos agua. Quienes apoyan esta teoría reducen el problema

a esta pregunta: ¿fueron cometas o asteroides los que trajeron el agua a la Tierra? Para ellos la respuesta está en un isótopo del hidrógeno llamado deuterio (hidrógeno con un neutrón en el núcleo además del protón normal).

Los océanos contienen tanto agua normal, o ligera, hecha de hidrógeno y oxígeno, como agua pesada, que en lugar de hidrógeno tiene deuterio. La proporción (o tasa D/H) es de un átomo de deuterio por cada 6410 átomos de hidrógeno. La fuente original del agua de la Tierra debería tener una tasa D/H similar. Aunque es posible medir este cociente en los cuerpos del Sistema Solar, no es fácil y sólo se ha podido en menos de 50. El agua de los asteroides del cinturón y la de los cometas de periodos muy cortos (o ligados al planeta Júpiter) parece ser la más afín a la terrestre. ¿Significa esto que el agua terrestre fue traída por ese grupo de asteroides y en menor medida por ese grupo de cometas? Hay pocos datos, pero es difícil creer que este cociente se haya mantenido sin cambios a lo largo de miles de millones de años. Los océanos no están aislados.

Según una hipótesis alternativa, la Tierra primitiva podía retener agua pese a estar a una temperatura muy elevada porque las moléculas de agua primordial estaban adheridas al polvo de la nube protosolar. Al irse formando la Tierra con este

polvo incorporaba también agua. La evidencia, según Lydia Hallis, del Instituto de Astrobiología de la NASA, en Hawái, proviene del estudio de flujos de lava de hace 60 millones de años en Islandia y la isla Baffin, Canadá. Estas lavas se formaron a cientos de kilómetros de profundidad y Hallis y sus colaboradores afirman que conservaron sus propiedades químicas, entre ellas su proporción deuterio-hidrógeno. La tasa D/H de estas rocas es casi 20 veces menor que la de los océanos terrestres y, como esperaban, más parecida a la de la nebulosa protosolar. Con base en lo anterior se podría suponer que el manto terrestre debe contener grandes cantidades de agua, por lo que es innecesaria la hipótesis de que el agua provino de asteroides y cometas. Esto tendría dos implicaciones. Por un lado, la Tierra primitiva pudo haber contenido mucho más agua que hoy. Por otro, los planetas rocosos del Sistema Solar y otros cuerpos que se formaron de la nube protosolar también debieron contener cantidades importantes de agua en sus inicios. Algunos la conservaron en parte y otros simplemente la perdieron, como quizá le sucedió a Marte.

En busca del agua perdida

A finales del siglo XIX, algunos astrónomos y entusiastas de la astronomía,

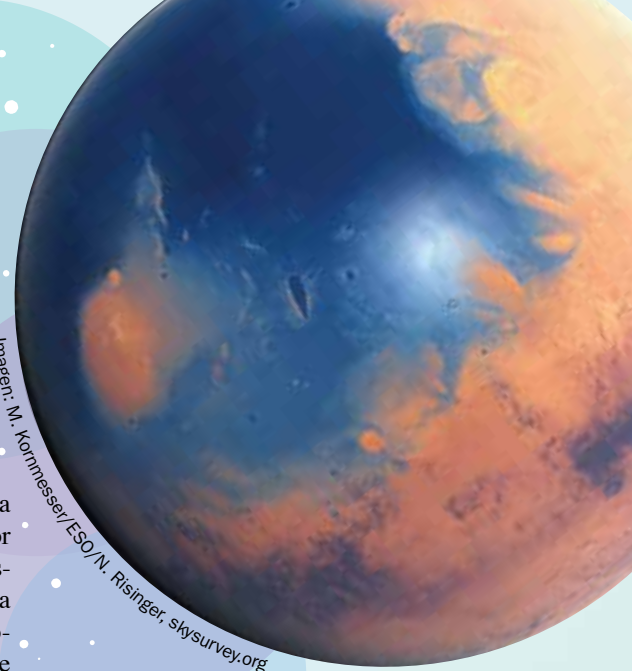


Imagen: M. Kommeser/ESO/N. Risinger, skysurvey.org

Se cree que hace unos 3 000 millones de años un océano cubría gran parte del hemisferio norte de Marte.

como Percival Lowell afirmaban que en la superficie de Marte no sólo había agua sino vida inteligente con una tecnología avanzada. Se basaban en mapas detallados de la superficie de Marte que el astrónomo Giovanni Schiaparelli dibujó en 1877, en los que se veían estructuras lineales –los cuales fueron interpretados como canales– que corrían del hemisferio norte al ecuador. Según Lowell, los surcos eran una red de acequias construidas por los marcianos para llevar el agua de los polos a las zonas ecuatoriales. Algunos de los rasgos que Schiaparelli dibujó en sus mapas son reales, pero la idea de los canales se desechó desde 1916.

La búsqueda de agua en Marte continúa y las nuevas evidencias apuntan a que este planeta se parecía más a la Tierra hace unos 3 000 millones de años. Quizá tenía una atmósfera densa, montañas nevadas, lagos de agua dulce y un océano salado que, según James Green, científico espacial de la Universidad de Iowa y director del Programa de Exploración de Marte de la NASA, pudo haber cubierto dos tercios de su hemisferio norte y haber alcanzado, en algunas regiones, casi dos kilómetros de profundidad. En Marte quizá hubo un ciclo del agua similar al de la Tierra; pero algo pasó —quizá un cambio climático radical que le hizo perder su agua superficial.

Los hallazgos de las muchas misiones a Marte apoyan la hipótesis de que el agua ha jugado un papel determinante en

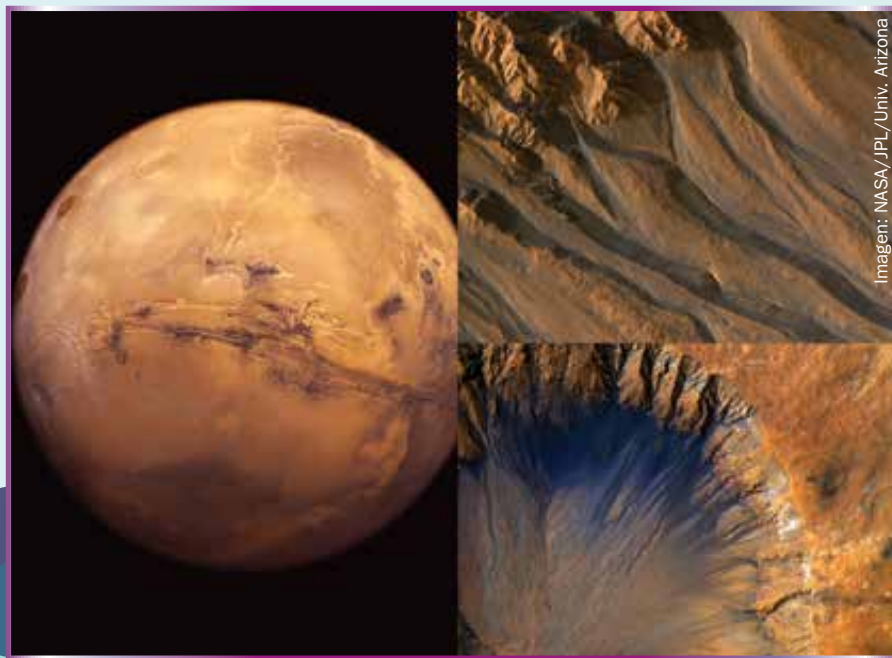


Imagen: NASA/JPL/Univ. Arizona

Los hallazgos de diversas misiones a Marte apoyan la hipótesis de que el agua ha jugado un papel determinante en su geología, al grado de haber esculpido parte de su superficie.

su geología, al grado de haber esculpido una fracción de su superficie. Hay agua encapsulada en el suelo congelado, algo que se conoce como *permafrost*, en la Tierra. Los casquetes polares de Marte contienen hielo de agua y su atmósfera nubes de vapores y cristales de hielo de agua similares a los cirros de la Tierra. Las últimas noticias del robot *Curiosity* dicen que se detecta una humedad inesperada en la tenue atmósfera, y suelos húmedos de material arcilloso que se extienden sobre las regiones ecuatoriales. Esto podría ser consecuencia de algún tipo de actividad hidrotérmica en aguas subterráneas.

Muchos datos sugieren que, en ciertas circunstancias, puede haber agua líquida en la superficie marciana. No se han detectado flujos, pero desde 2011 hay registros de cambios estacionales del terreno marciano. A finales de la primavera marciana se pueden apreciar patrones de líneas oscuras en algunas pendientes a diversas latitudes, que se hacen más evidentes durante el verano y desaparecen en invierno. A partir de la luz que absorben y reflejan estas líneas se deduce que contienen sales hidratadas, algunos compuestos de cloro y oxígeno (o percloratos) que absorben la humedad de la atmósfera y forman un compuesto líquido estable (para efectos prácticos, agua *muy* salada). En Marte, donde la presión atmosférica es la décima parte de la terrestre, el agua hierve a 10 °C, pero al mezclarse con estas sales puede mantenerse estable hasta casi los 30 °C y fluir como sugieren las imágenes.

Se conoce la ubicación precisa de depósitos de percloratos, y en esas regiones se ha centrado la búsqueda de agua líquida, que podría acumularse también en pozos, charcas o quizás en pequeños lagos al pie de las laderas donde se observan las líneas.

Las fuerzas de marea

En las regiones externas del Sistema Solar la energía del Sol es más débil. Muchas lunas de los planetas gigantes que se encuentran en esas regiones tienen cortezas y mantos de hielo. En algunas parece incluso que hay agua líquida. A esa distancia del Sol se requiere una fuente alternativa de calor para mantener el agua en ese estado. La más probable son las mareas gravita-



Imagen: NASA/Univ. Arizona
Las sales hidratadas detectadas en las laderas del Cráter Hale en Marte, corroboran que las líneas RSL se formaron por agua líquida.



Imagen: NASA/JPL-Caltech/Univ. Arizona
Las flechas señalan flujos estacionales de agua salada en el Cráter Palikir en Marte.

cionales, y sus efectos pueden verse en los satélites más grandes de Júpiter. En orden de distancia a Júpiter estos satélites son Ío, Europa, Ganímedes (la luna más grande del Sistema Solar) y Calixto. Están sometidos a intensas fuerzas de marea, o variaciones en la atracción que ejerce Júpiter sobre ellos, porque en sus órbitas se acercan y se alejan del planeta. La atracción gravitacional entre ellos produce variaciones similares porque también se acercan y se alejan entre sí. El efecto es que sus cuerpos se estiran y se comprimen continuamente y esta deformación pro-

duce calor interior. Ío, el más cercano a Júpiter, está desprovisto de hielos. Es un caso extremo del efecto de las mareas. El calor es tan grande que da origen a múltiples volcanes cuyas erupciones se ven desde el espacio. Las fuerzas de marea en los otros tres satélites no son tan intensas, pero disipan suficiente calor como para fundir parcialmente sus gruesos mantos de hielo, posiblemente dando lugar a océanos de agua líquida.

Océanos salados

Se calcula que el océano de Europa tiene un volumen igual a dos veces el de la Tierra. Las primeras evidencias se obtuvieron con la nave *Galileo*, entre 1995 y 2003. Sus acercamientos revelaron una superficie de hielo de agua cubierta de marcas como cicatrices y mostraron también que Europa tiene campo magnético. Su estudio hizo pensar que había agua líquida y salada en el interior del satélite, pues este campo es secundario y producido indirectamente por el enorme campo magnético de Júpiter, a través del cual se mueve esta luna. Este campo sólo es posible si hay un fluido conductor en el interior de Europa, y lo más lógico es que sea agua salada, porque la sal disuelta en agua se disocia fácilmente en iones de sodio y cloro que pueden moverse en la solución. Estos iones son cargas eléctricas libres. El campo magnético las obliga a moverse en corrientes circulares. Este movimiento genera a su vez un campo magnético secundario, o inducido. De las propiedades de este campo se puede inferir el volumen del océano y su salinidad.

Las marcas que se ven en la corteza de Europa también están relacionadas con los efectos de marea gravitacionales, pues el estrés en la corteza produce fracturas que rompen el hielo y dejan escapar géiseres de agua que depositan sales y otros minerales orgánicos en la superficie. Se sabe que el hielo escarchado de sales se oscurece en cuestión de horas cuando se expone a la radiación del espacio exterior. Así adquieren su tono marrón los contornos de las grietas y fracturas.

Después de la misión *Galileo*, Europa sigue en la mira de muchos científicos. En 2013 se descubrieron con el Telescopio Espacial Hubble exhalaciones de vapor de agua en el polo sur de Europa, y a me-

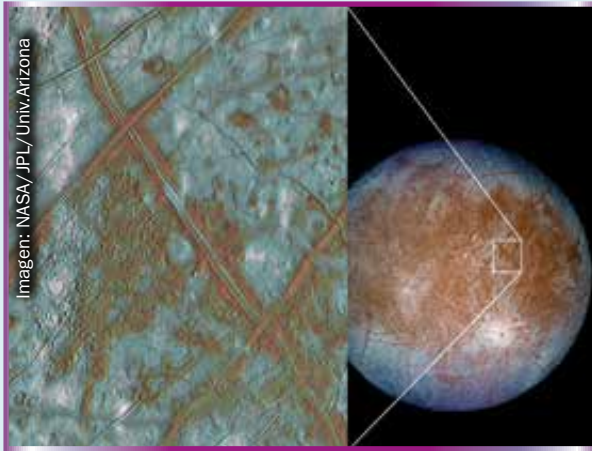


Imagen: NASA/JPL/Univ.Arizona
La enigmática superficie de la luna Europa cubre un océano interior cuyo volumen podría duplicar al de la Tierra.

diados de 2015 la NASA dio luz verde a la misión *Europa*, que será lanzada en 2020 y cuyo objetivo principal será estudiar el océano de este satélite.

Con el tiempo han aparecido más evidencias de los océanos de los satélites galileanos. A principios de 2015, Joachim Sauer, profesor de la Universidad de Colonia, Alemania, y sus colaboradores, mostraron evidencias del océano interno de Ganímedes, que podría ser 10 veces más profundo que el de la Tierra. El análisis se llevó a cabo con el Telescopio Espacial Hubble, con el que se midieron las sutiles oscilaciones de las auroras que envuelven esta luna. Estas auroras, como las de la Tierra, son producto de partículas atrapadas en su campo magnético que chocan con su atmósfera y producen destellos cuyo brillo depende de la energía de las partículas y de la composición de la atmósfera. Ésta es muy tenue y está compuesta básicamente de oxígeno. Se cree que tiene su origen en la disociación de moléculas de agua provenientes de la superficie de Ganímedes. Las variaciones de las auroras dependen de las del campo magnético y éste, a su vez, de propiedades del océano salino interno, como su conductividad eléctrica y su volumen. Lo novedoso de esta ingeniosa técnica es que podría utilizarse para

sondear el interior de planetas de otras estrellas para determinar si también tienen agua líquida.

Más agua salada

El efecto de las fuerzas de marea también es evidente en Encelado, luna de Saturno con un radio de apenas 252 km. Se calcula que su océano podría tener una decena de kilómetros de profundidad y estar a varias decenas de kilómetros bajo la superficie. En el polo sur se

observan espectaculares géiseres de vapor de agua y polvo de hielo, que escapan a 100 metros por segundo a través de cuatro grietas de 130 km de largo, 2 km de ancho y una profundidad de 0.5 km. Los géiseres se han estudiado con la nave *Cassini*, que ha estado en órbita alrededor de Saturno por más de 10 años. Con el analizador de polvo de la sonda *Cassini* se ve que parte de las partículas de hielo del géiser tienen importantes cantidades de sodio en



forma de sal común. Más aún, el estudio detallado del movimiento orbital de Encelado muestra que esta luna oscila de una forma particular que corresponde a la de un cuerpo con una estructura interna parcialmente líquida, lo que indica un océano interno global.

MÁS INFORMACIÓN

- Rodríguez, Luis Felipe y Yolanda Gómez, *El origen cósmico del agua*, Academia Mexicana de Ciencias: <http://revistaciencia.amc.edu.mx>
- “¿Han traído los cometas el agua de los océanos?”, ESA: www.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/Han_traido_los_cometas_el_agua_de_los_océanos

Al menos otras dos lunas de Saturno, Titán y Mimas, también podrían tener océanos internos. El origen del de Titán no está claro, pero se infiere que es salado y quizá esté a unos 50 kilómetros de profundidad. El de Mimas también se infiere de las oscilaciones de su movimiento orbital.

En el caso de otros cuerpos mayores del Sistema Solar, se ha puesto especial atención al planeta enano Ceres, el objeto más grande del cinturón de asteroides, ubicado a 400 millones de kilómetros del Sol. Desde marzo de 2015 lo orbita la nave *Dawn* de la NASA. Se calcula que la cuarta parte de Ceres podría ser agua en forma de hielo y en estado líquido. Dos casos más de cuerpos con posibles océanos de agua líquida en su interior son Tritón, la luna más grande de Neptuno, en cuya superficie la nave *Voyager 2* observó géiseres similares a los de Encelado, y el planeta enano Plutón, visitado por la nave *New Horizons* en julio de 2015.

Aparte de las regiones habitables en otras estrellas, los océanos salados como los de los satélites galileanos amplían el espectro de potencial de vida en otras regiones del Universo, porque éstos podrían ser algo común alrededor de los planetas de otras estrellas. A pesar de que parte de esto es, por el momento, especulación científica, nos hace pensar que si la vida es exclusiva de la Tierra, sería una afortunada coincidencia —para nosotros— o una absurda tragedia cósmica, según queramos verlo. 🐼

Guía del maestro

Descarga la guía didáctica para abordar el tema de este artículo en el salón de clases. www.comoves.unam.mx

Alberto Flandes es investigador del grupo de Ciencias Espaciales del Instituto de Geofísica de la UNAM y colabora en algunas misiones espaciales de la NASA y la ESA.