

# El origen cósmico del agua

Luis F. Rodríguez y Yolanda Gómez

Es reconfortante saber que la molécula más importante para la vida en la Tierra ( $H_2O$ ) existe en otras partes de nuestro Universo, como lo han demostrado sensitivos radiotelescopios que reciben información de recónditos lugares del cosmos.

## Introducción

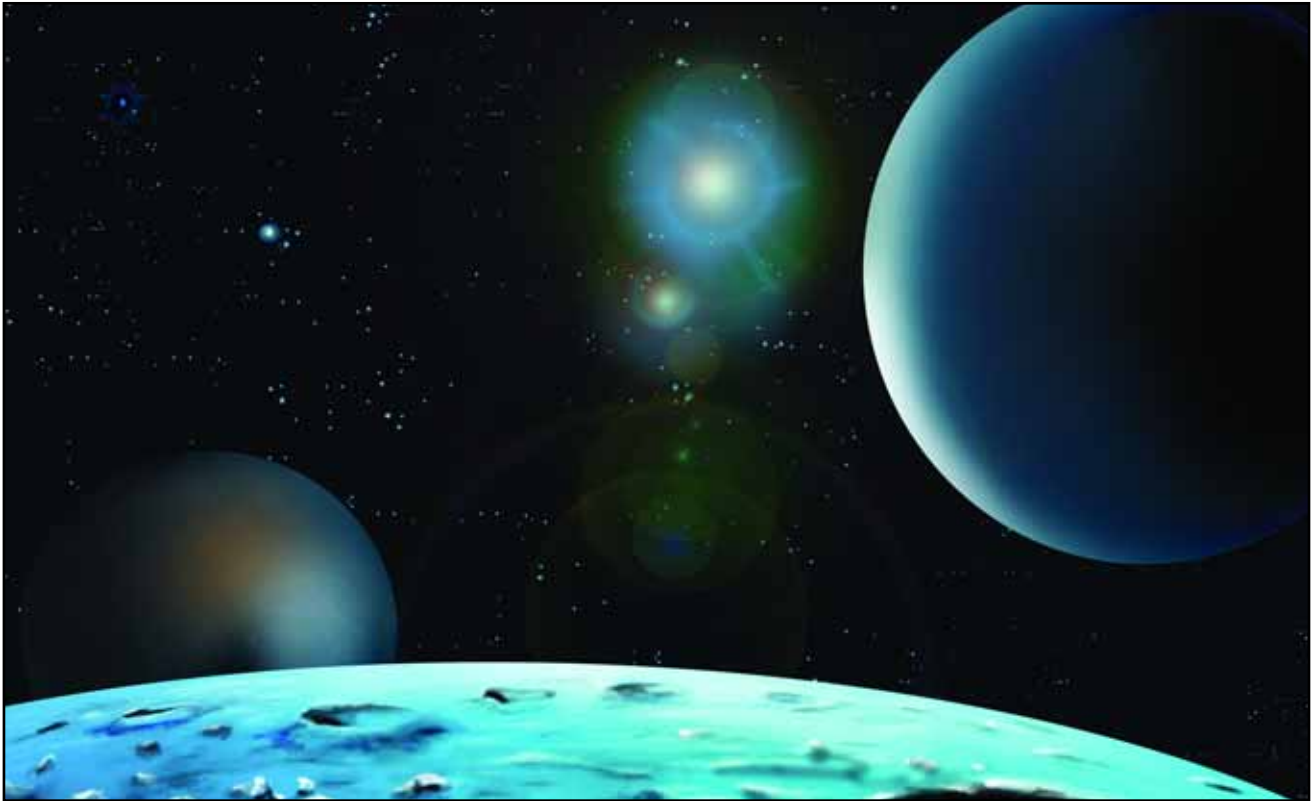
Los humanos damos al agua por hecho: la vemos como un recurso que está ahí disponible para que lo utilicemos a nuestro antojo. Pero como pueden constatar los lectores de esta revista, el agua (al menos la utilizable para los procesos biológicos) puede acabarse en el futuro. Tenemos pues conciencia del presente y del futuro del agua. Pero, ¿qué podemos decir de su pasado? ¿Desde cuándo existe agua en el Universo? ¿Existe en otras partes del cosmos? ¿Cómo llegó a la Tierra?

El agua es una molécula sencilla, formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. El hidrógeno es el elemento más común en el Universo; el oxígeno es también relativamente abundante (es el elemento más abundante después del hidrógeno y del helio: hay aproximadamente un átomo de oxígeno por cada mil de hidrógeno). Así, uno pensaría que si se dan las condiciones adecuadas estos átomos se unirían para formar agua.

Lo sorprendente es saber que no siempre hubo oxígeno en el Universo, y por tanto no siempre ha existido agua.

## El joven Universo sin agua

Las observaciones astronómicas sugieren que nuestro Universo tuvo su inicio hace aproximadamente 14 mil millones de años. Esta teoría, que se conoce



como de la gran explosión (*big bang*), afirma que la materia, el tiempo y el espacio comenzaron a existir de manera repentina. En el comienzo, la materia que forma ahora al Universo estaba muy concentrada, formando un medio extremadamente denso y caliente. A partir de esa fase ha estado expandiéndose hasta llegar a las condiciones actuales. Las reacciones entre los núcleos de las partículas atómicas existentes (la llamada nucleosíntesis) llevaron a que, pasados los primeros tres minutos después de la gran explosión, el Universo estuviera formado prácticamente sólo de hidrógeno y de helio, en una proporción de aproximadamente diez átomos de hidrógeno por cada uno de helio. Esta proporción es precisamente la que se observa en el espacio cósmico, apoyando fuertemente a la teoría de la gran explosión.

Pero, ¿de dónde vienen entonces elementos como el carbono, el hierro, o el calcio, que nos forman a nosotros? ¿Y el oxígeno, sin el cual no existiría el agua, tema de este artículo?

El Universo prácticamente no tenía estos otros elementos en su juventud. De hecho, pasó mucho tiempo antes de

que éstos se formaran. La *era de la recombinación*, cuando los electrones se juntaron con los núcleos de hidrógeno y de helio, ocurrió 300 mil años después de la gran explosión. Aún entonces, casi todo era hidrógeno y helio, puesto que transformar a un elemento en otro requiere de condiciones muy especiales que no se habían dado después de los primeros tres minutos.

En el comienzo, la materia que forma ahora al Universo estaba muy concentrada, formando un medio extremadamente denso y caliente. A partir de esa fase ha estado expandiéndose hasta llegar a las condiciones actuales

Como hemos dicho, el Universo continuó expandiéndose como un todo, pero había en él regiones que por la atracción de la gravedad se hacían más y más compactas (digamos que

iban a contrapelo de lo que ocurría en el Universo como un todo, contrayéndose mientras el Universo se expandía). Pasado como un millón de años del origen, en estas regiones más densas (una de ellas sería después nuestra propia galaxia, la Vía Láctea) se comenzaron a formar, por contracción gravitacional, las primeras estrellas.

Después de que aquellas primeras estrellas enriquecieran el espacio con una diversidad de elementos químicos, se tenían los dos elementos químicos que forman al agua

### Las primeras estrellas

Estas estrellas debieron ser muy distintas a las que ahora existen, porque se formaron de aquel gas original: de puro hidrógeno y helio. Se cree que fueron estrellas con mucha más masa (materia) que las que se forman ahora. Estas grandes estrellas obtenían su energía de manera similar a las estrellas actuales: en su interior los átomos originales de hidrógeno se fueron fusionando (gracias a las condiciones de alta densidad y temperatura que hay en su interior) para formar helio, y estos átomos a su vez se fusionaron entre sí para formar carbono, nitrógeno, oxígeno y otros elementos químicos que ahora conocemos. Por ejemplo, para formar un átomo de oxígeno necesitamos cuatro átomos de helio. Estos procesos de fusión liberan energía y dan a las estrellas su calor y brillo. Pero, ¿de qué nos serviría ese oxígeno atrapado en el interior de las estrellas? ¿Cómo ponerlo disponible para, entre otras cosas, la formación del agua?

### El enriquecimiento químico del espacio interestelar

Después de unos cientos de miles de años de formadas, estas primeras estrellas explotaron, mandando al espacio los elementos

químicos indispensables para la vida. Ya en el espacio, los elementos expulsados en estas explosiones se mezclaron con el gas ahí existente, de modo que las siguientes generaciones de estrellas se formaron de un gas “enriquecido” con elementos químicos diversos, superando la monótona composición química de hidrógeno y helio que caracterizó al Universo joven. En la actualidad seguimos presenciando explosiones similares en estrellas de gran masa (sólo que éstas se formaron en el pasado reciente, hace unos millones de años); a estas explosiones se les llama *supernovas* (Figura 1).

### Ahora sí, agua

Después de que aquellas primeras estrellas enriquecieran el espacio con una diversidad de elementos químicos,

se tenían los dos elementos químicos que forman al agua. Las primeras moléculas de agua probablemente se formaron en regiones que los astrónomos llamamos nubes, donde la densidad del gas es mayor que el valor promedio del espacio. Pero si simplemente esperamos a que, por ejemplo, dos átomos de hidrógeno choquen para juntarse e iniciar la secuencia que podría formar una molécula de agua, encontraremos que, como los procesos de unión de dos átomos son generalmente exotérmicos (o sea que liberan energía), la misma energía disponible vuelve a romper la unión para que acabemos como al principio: con dos átomos de hidrógeno separados. Hace falta entonces un tercer cuerpo que absorba la energía liberada y que permita la unión de los dos átomos.

El papel del tercer cuerpo lo proporciona una componente del medio interestelar que los astrónomos llamamos el *polvo cósmico*. Está formado por pequeñas partículas sólidas con dimensiones del orden de un micrómetro (milésima de milímetro), que al parecer se forman durante las etapas finales de la vida de las estrellas. Las moléculas que se forman en su superficie pueden ser estables porque le ceden la energía producida al grano de polvo, el cual la absorbe sin problema. Estas moléculas pueden quedarse pegadas al polvo o desprenderse para interactuar con otros átomos y moléculas en la nube, iniciando los complejos procesos químicos del medio interestelar. En particular, se cree que el agua puede formarse tanto en la superficie de los granos de polvo como en el medio gaseoso. En la actualidad se han detectado ahí más de 100 moléculas distintas.

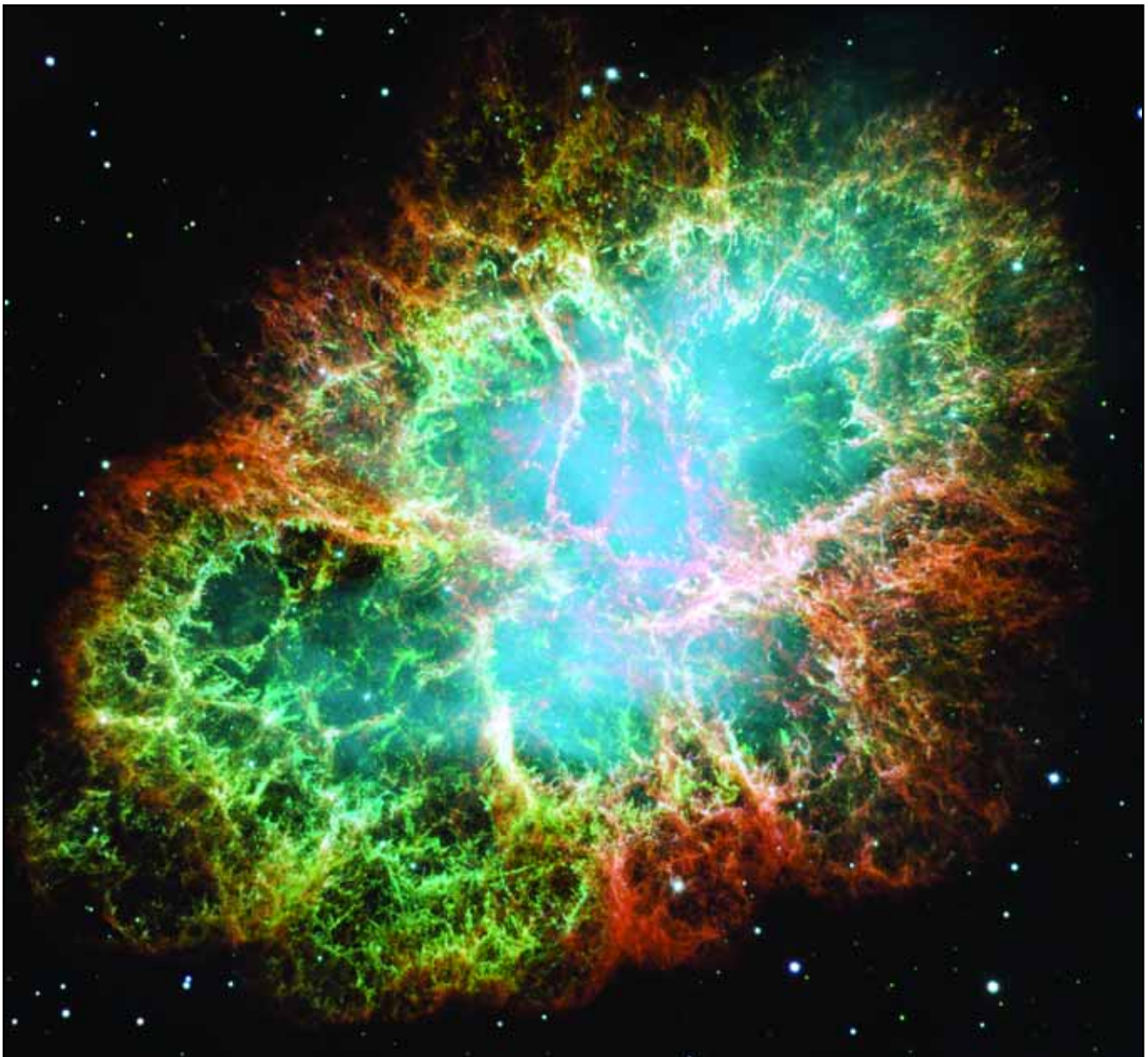
Si bien el polvo representa sólo una centésima de la materia disponible en el espacio interestelar, juega un papel clave

para facilitar la formación de moléculas. Más aún, cuando el medio es muy frío, en la superficie de estos granos de polvo se pueden congelar moléculas diversas, entre ellas el agua (lo cual, como veremos después, resulta muy importante para la existencia de agua en la Tierra). La presencia de hielos (tanto de agua como de otras moléculas como amoníaco, metano, y dióxido de carbono) en la superficie de los granos de polvo se puede comprobar mediante observaciones: estos hielos, presentes en el polvo cósmico, absorben ciertas frecuencias características de la


radiación infrarroja que nos llega de las estrellas jóvenes (que se forman rodeadas de polvo).

### **A la búsqueda de agua extraterrestre**

¿Cómo podemos saber si existe agua en otras partes del Universo? Lo primero que viene a la mente es estudiar a los cuerpos



**Figura 1.** La supernova del Cangrejo, explosión estelar ocurrida en el año 1054. Una supernova es la explosión que ocurre al final de la vida de las grandes estrellas. Se cree que las primeras estrellas en el Universo estallaron de esta misma manera, enriqueciendo al espacio con átomos de carbono, nitrógeno y oxígeno, entre otros. Imagen: cortesía de la NASA.

A surreal image showing water droplets falling in a zero-gravity environment. The droplets are elongated and teardrop-shaped, hanging from the top of the frame. The background is a deep blue with scattered white stars, suggesting a space setting. The droplets are illuminated from the side, creating bright highlights and dark shadows. At the bottom of the frame, there are faint, concentric ripples on a surface, indicating where a droplet has just landed.

La posible presencia de agua en la Luna es de crucial importancia para su potencial exploración y colonización. Dados los altísimos costos de los viajes espaciales, cuesta aproximadamente lo mismo transportar un litro de agua a la Luna que lo que cuesta un kilo de oro en la Tierra

de nuestro propio sistema solar, que son relativamente cercanos en términos astronómicos.

Nuestro planeta, junto con el Sol y el resto de los componentes de nuestro sistema solar, se originaron hace unos 4 mil 500 millones de años, después de que una gran nube de gas y polvo se contrajo y en su centro se formó el Sol. Al mismo tiempo que el Sol se terminaba de formar, un disco de material que lo rodeaba dio origen a los planetas, por lo que se le conoce como *disco protoplanetario*. El disco se extendía más allá de la órbita de Plutón, y tanto su densidad como su temperatura eran menores en las regiones más alejadas del Sol. Dentro del disco se llevaban a cabo colisiones entre pequeños objetos de la nube, llamados *planetésimos*, los cuales chocaban y se adherían unos con otros como si fueran pedazos de plastilina; esto permitió su aglutinamiento y consecuentemente la formación de los planetas en nuestro sistema solar. Las altas temperaturas de nuestro Sol y el fuerte viento solar que emanaba de su superficie durante su juventud hizo que se evaporara la mayor parte de los compuestos volátiles de los planetas cercanos al Sol, dando origen a los llamados planetas rocosos (Mercurio, Venus, Tierra y Marte).

Por otro lado, en la zona exterior donde se encuentran los planetas gigantes, Júpiter y Saturno, los gases y el agua congelada, remanente de la nube materna, permanecieron en el disco. Estos planetas que llamamos gaseosos (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno) tienen un núcleo similar al de los planetas rocosos, pero están envueltos por una enorme capa de gas compuesto principalmente de hidrógeno y helio.

### La Luna, ¿qué sabe la Luna?

Los humanos ya hemos puesto el pie en la Luna y hubo gran revuelo cuando en 1996 la nave espacial *Clementina* y en 1998 el *Explorador Lunar* reportaron datos que sugerían la presencia de pequeñas cantidades de hielo en algunos cráteres, mezclado con el material que forma la superficie lunar. ¿Cómo habría logrado permanecer este hielo en las inclementes condiciones lunares? La luz del Sol derretiría al hielo y, como la Luna no tiene atmósfera, la falta de presión haría que el agua líquida se transformara en vapor. Finalmente, la baja gravedad de la Luna no podría impedir que el vapor de agua escapara al espacio exterior.

La posible presencia de agua en la Luna es de crucial importancia para su potencial exploración y colonización. Dados los altísimos costos de los viajes espaciales, cuesta aproximadamente lo mismo transportar un litro de agua a la Luna que lo

que cuesta un kilo de oro en la Tierra. Para poner a prueba la existencia de hielo en la Luna, la NASA decidió estrellar intencionalmente al *Explorador Lunar* en una de estas regiones permanentemente sombreadas. La colisión ocurrió el 31 de julio de 1999. Al chocar, desde más de una docena de telescopios en la Tierra se realizaron observaciones muy sensitivas para buscar la radiación característica emitida por los iones hidroxilo (OH, que se producen cuando, por la explosión de un choque, la molécula de agua pierde uno de sus dos átomos de hidrógeno). Desafortunadamente, estas emisiones no se detectaron, con lo que la existencia de hielo en la Luna quedó sin confirmación.

Por otra parte, quizá la región donde cayó la nave no tenía hielo. Sólo futuras exploraciones directas de estos cráteres resolverán el enigma.

### Más allá de la Luna

Donde sí es seguro que hay hielo es en los polos de Marte. Varias misiones espaciales han fotografiado estas regiones congeladas, las cuales están formadas principalmente por dióxido de carbono congelado (lo que llamamos “hielo seco”), pero también por una pequeña parte de agua sólida.

No se puede inferir la presencia de hielo a partir sólo de las fotografías, pero sí es posible hacerlo en combinación con estudios de la radiación infrarroja emitida y reflejada por esas zonas.

También se sabe que la atmósfera marciana, con una presión doscientas veces menor que la de nuestra atmósfera, contiene pequeñas cantidades de vapor de agua. Aunque en la actualidad no hay agua líquida en Marte porque este planeta es demasiado frío, la existencia de hondonadas y canales en su superficie sugiere que la hubo en el pasado.

Para tratar de establecer de manera más directa la presencia de agua en Marte, la NASA envió en 2003 dos robots (bautizados como

*Espíritu y Oportunidad*) con el propósito de estudiar rocas y otros componentes de la superficie marciana para buscar pistas que nos dieran nueva información sobre la actividad acuática que pudo haber en el pasado.

Esta misión exploratoria de Marte con robots concluyó, a partir del estudio de las rocas marcianas, que muy probablemente en el pasado había corrido agua por la superficie marciana.

### Agua en lugares inhóspitos

Una idea que podría explicar la presencia de hielo aun en lugares inhóspitos del sis-

tema solar es que en estos diversos cuerpos hay cráteres en las regiones polares, con regiones que han estado siempre a la sombra, protegidas de los rayos del Sol. Visto desde los polos de ese cuerpo, el Sol siempre está muy bajo en el horizonte y sus rayos no llegan a las partes internas de los cráteres. El hielo podría conservarse miles de millones de años en estas condiciones. En Marte ya se han detectado cráteres de estas características (Figura 2). Aun en un infierno como Mercurio (el planeta más cercano al Sol) se ha presentado evidencia, mediante datos de ondas de radio, que indican la presencia de hielo en cráteres que hay en sus polos.

También se ha especulado que otros cuerpos del sistema solar, como Europa –uno de los satélites de Júpiter–, pueden contener agua líquida bajo su superficie congelada. Investiga-

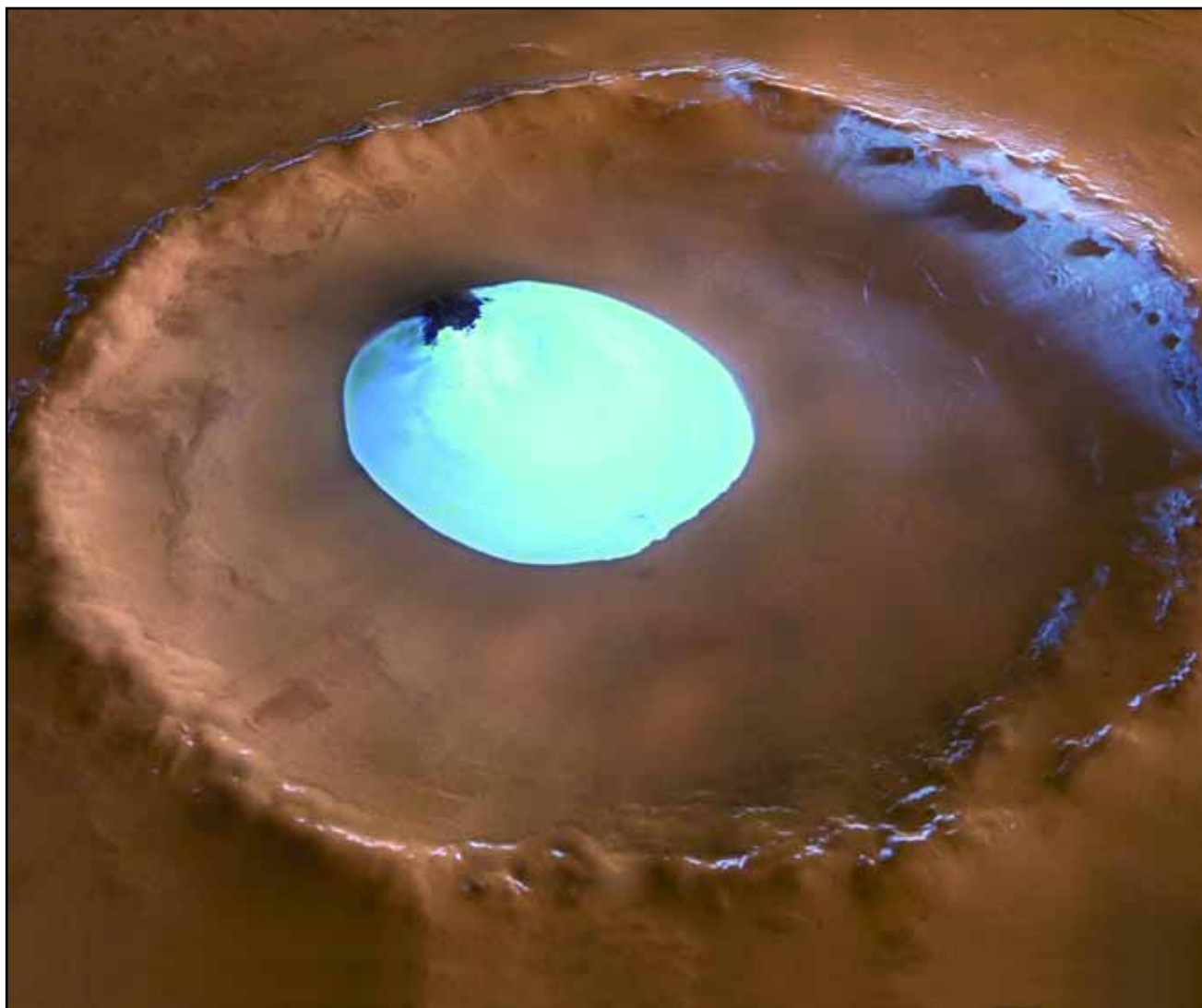


Figura 2. Cráter con hielo en el polo norte marciano. Imagen: ESA/DLR/FU Berlín (G. Neukum).

dores de los países europeos han planteado la posibilidad de la misión “Picahielo” (*Icepick*), en la que una nave se posaría en la superficie de Europa para perforarla en busca de agua líquida.

### Agua extrasolar

Nuestro sistema solar es sólo un rincón del Universo. Un rayo de luz que sale del Sol llega a la Tierra en ocho minutos, pero le toma unos años llegar a las estrellas más cercanas a nuestro Sol. ¿Existe agua en estas otras remotas estrellas o en sus alrededores? No es fácil contestar esta pregunta, porque estos cuerpos están tan lejos que no es posible tomarles una fotografía que nos pueda mostrar directamente nubes de vapor de agua, como en la Tierra, o casquetes de hielo, como en Marte.

A estas grandes distancias nos tenemos que conformar con analizar la luz y las otras radiaciones del espectro electromagnético que nos llegan de estos lejanos astros. Afortunadamente, cuando se encuentra en estado gaseoso y bajo ciertas condiciones de temperatura y densidad, el agua emite ondas de radio con una longitud característica de 1.35 centímetros, que pueden ser detectadas y estudiadas con los radiotelescopios terrestres. Las señales de esta emisión natural pueden ser bastante intensas.

En 1969 un grupo de astrónomos encabezados por el premio Nobel de física, Charles Townes, detectó por vez primera emisión de radiación correspondiente a vapor de agua en tres nubes cósmicas donde se están formando nuevas estrellas. Townes había obtenido el premio Nobel unos años atrás, en 1964, por la construcción de los primeros máseres y láseres en el laboratorio (la radiación del vapor de agua que detectan los radiotelescopios es emitida en el llamado modo máser). Desde entonces, la emisión máser del vapor de agua se ha estudiado exhaustivamente, usando distintos radiotelescopios, como el llamado Conjunto Muy Grande de Radiotelescopios, y ha habido varios investigadores mexicanos involucrados en el estudio del vapor de agua que existe en los espacios interestelares.

Recientemente, en un proyecto con investigadores de España, México, Estados Unidos y Chile utilizamos un nuevo y poderosísimo instrumento para estudiar con detalle exquisito el vapor de agua en la región de formación de estrellas llamada Cefeo A, a 2 mil años luz de la Tierra.

El instrumento utilizado, el sistema de radiotelescopios *Very Long Baseline Array* (VLBA, siglas en inglés de Conjunto de Muy Larga Línea Base), está compuesto por diez radiotelescopios,

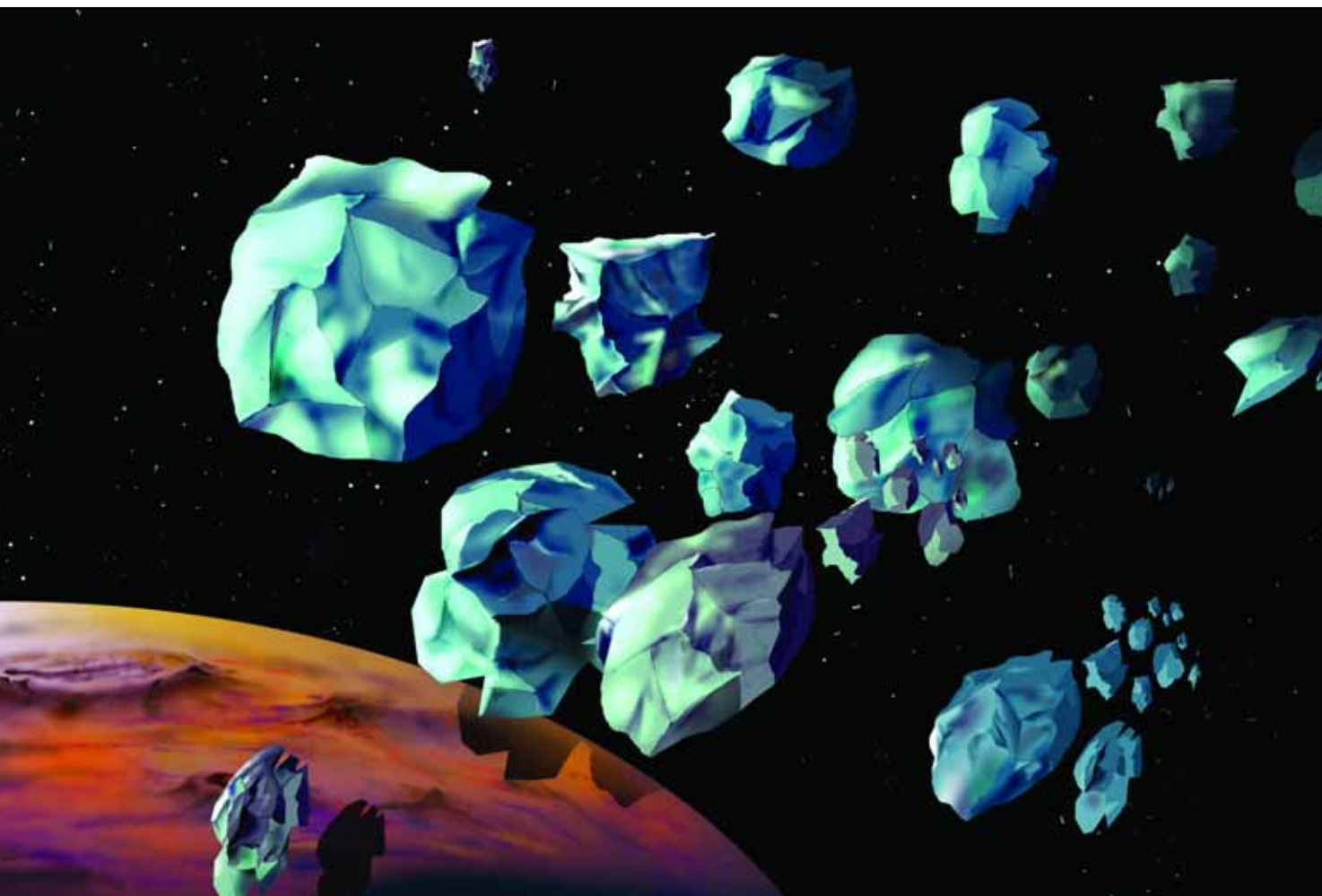
cada uno de 25 metros de diámetro, situados uno en Hawai, otro en St. Croix (Islas Vírgenes) y los ocho restantes en los Estados Unidos continentales. Los diez radiotelescopios se manejan a control remoto, y al funcionar conjuntamente se consigue una resolución angular (capacidad de distinguir detalles muy pequeños) 200 veces mejor que la que obtiene el Telescopio Espacial Hubble. Este instrumento permitió descubrir una burbuja esférica de vapor de agua expelida por una protoestrella, o embrión estelar, en la región estudiada. Antes de esta observación se creía que si las protoestrellas expulsaban gas, lo hacían con geometría bipolar (o sea, en forma de dos chorros diametralmente opuestos) y de hecho aún no hay explicación para la burbuja, que se expande a una velocidad de 36 mil kilómetros por hora y tiene un tamaño de 18 mil millones de kilómetros, comparable al de nuestro sistema solar. La burbuja tiene un espesor de sólo una centésima de su radio. Observaciones astronómicas muy recientes indican que en el centro de la burbuja hay una estrella muy joven, cuyas características empiezan a estudiarse.

De hecho, la presencia de vapor de agua es común en la cercanía de las estrellas jóvenes (la superficie misma de las estrellas es generalmente muy caliente para que el agua sobreviva ahí, y más bien se le encuentra rodeando a la estrella).

Una vez que transcurre la infancia de las estrellas, generalmente éstas se tornan demasiado calientes para que el agua permanezca en ellas en cantidades importantes. El agua vuelve a aparecer en cantidades grandes cuando la estrella está a punto de morir. Un caso interesante es el de la estrella *CW Leonis*. Este viejo astro, próximo a morir, sufrió un aumento en su brillo que aparentemente calentó una nube de cometas que existe a su alrededor. Este calentamiento provocó la evaporación de algo del hielo de la superficie de estos cometas.

El agua, ya en estado gaseoso emite radiación. Al analizar el espectro de esta radiación





se detectan ciertas líneas; una de ellas es la línea máser, que ya mencionamos. Otra es una línea en la región submilimétrica del espectro electromagnético, que fue detectada por el Satélite Astronómico para Ondas Submilimétricas (SWAS).

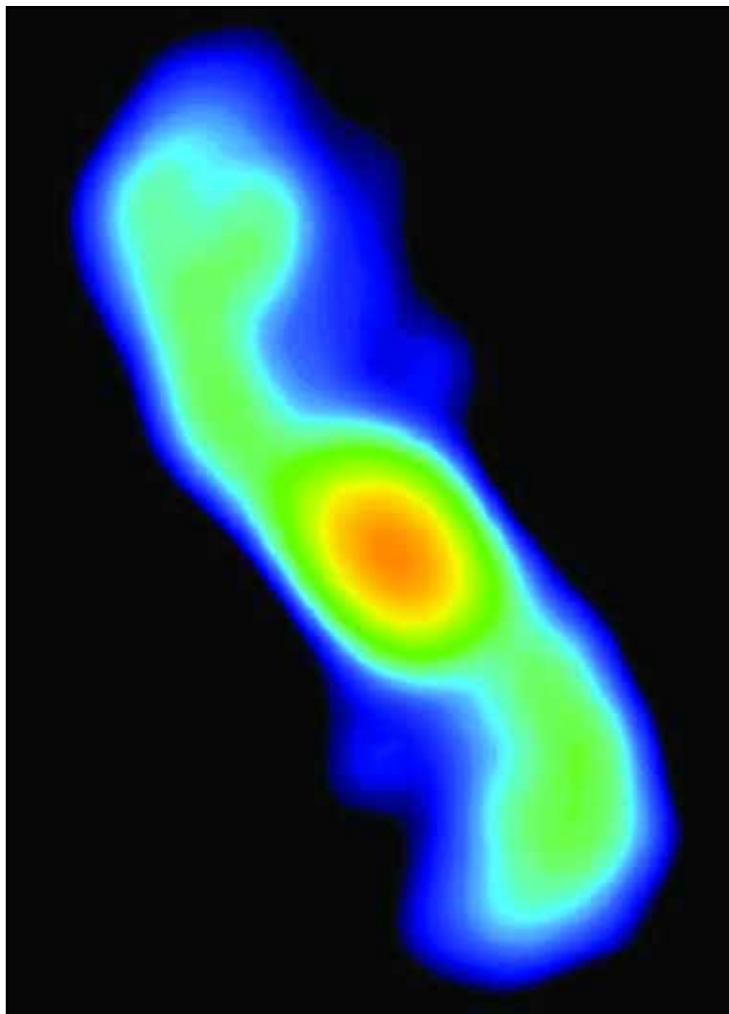
Por otra parte, se creía que las estrellas al morir rompían todas las moléculas de agua que pudiera haber a su alrededor. Sin embargo, recientemente uno de los autores (Yolanda Gómez), junto con investigadores españoles, encontraron vapor de agua en los alrededores de una estrella agonizante, denominada K3-35, que se encuentra en la fase llamada de nebulosa planetaria.

Durante esta etapa se dice que lo que queda de la estrella es un núcleo de nebulosa plane-

taria. No obstante que el agua y otras moléculas son abundantes en las nubes envolventes que rodean a las gigantes rojas, en la fase de nebulosa planetaria la intensa radiación del núcleo destruye progresivamente estas moléculas, entre ellas el agua, rompiéndolas en sus átomos componentes.

La detección de agua en K3-35 ha sido un resultado sorprendente que sugiere que ésta es una nebulosa planetaria tan joven que la radiación del núcleo aún no ha tenido tiempo de destruir todas las moléculas a su alrededor. K3-35 se encuentra a una distancia de 16 mil años luz de nosotros en dirección de la constelación de Vulpecula, y está constituida por una especie de dona de gas que rodea el núcleo y por un par de chorros de gas que emergen formando grandes lóbulos (Figura 3).

Recientemente este mismo grupo, junto con otros astrónomos del Observatorio de Robledo de Chavela (España) y de Medicina (Italia) realizaron una búsqueda de vapor de agua en otras nebulosas planetarias, y la encontraron en un nuevo



**Figura 3.** Imagen de radio de la nebulosa planetaria K3-35, tomada con el Conjunto Muy Grande de Radiotelescopios. Los colores indican intensidad; el rojo es más fuerte y el azul más débil. El agua fue detectada hacia el núcleo y hacia las puntas de los dos chorros de gas. (Imagen cortesía del Observatorio Nacional de Radio de los Estados Unidos).

objeto que probablemente sea también una nebulosa planetaria recién formada.

### Agua extragaláctica

¿Qué tan lejos se ha detectado vapor de agua? Gracias a que la emisión que se capta en la región de radio (con longitud de onda de 1.35 centímetros) está amplificada por el proceso máser, ha sido posible detectar vapor de agua aun en las lejanas galaxias externas. Mientras las estrellas de las que hemos estado hablando están a sólo unos miles de años luz de la Tierra, las galaxias comienzan a aparecer a millones de años

luz. En la Figura 4 mostramos una imagen de la galaxia NGC 4258, a 25 millones de años luz, en cuyo centro se ha detectado vapor de agua orbitando alrededor de un gigantesco hoyo negro. De hecho, el movimiento rotacional del vapor de agua alrededor del hoyo negro permite determinar la masa de éste: unos 35 millones de veces la masa de nuestro Sol.

Se ha detectado vapor de agua en un centenar de galaxias, que por la gran luminosidad de su emisión máser (en comparación con los másers de nuestra galaxia) se conocen como “galaxias megamáser”.

La más lejana se llama 3C 403, a 800 millones de años luz. Es el objeto más lejano en el que se ha detectado agua. La distancia a 3C 403 es, sin embargo, menos del 10 por ciento del tamaño del Universo. Es posible que haya vapor de agua a mayores distancias, pero ni aun la eficiente emisión máser resulta detectable tan lejos, dada la sensibilidad de los radiotelescopios actuales.

El agua es, pues, común en el Universo y sus emisiones le permiten al astrónomo estudiar diversos objetos en el espacio.

Claro, como seres humanos lo que nos gustaría es encontrar un planeta alrededor de otra estrella que tuviera agua líquida, además de atmósfera y la temperatura adecuada para sostener la vida. Los astrónomos estamos aún lejos de encontrar esto, pero es reconfortante saber que la molécula más importante para la vida existe en otras partes de nuestro Universo.

### El origen del agua en la Tierra

Terminemos este artículo regresando al inicio. Sabemos que hay agua en la Tierra. Nuestra primera explicación para su presencia sería decir que, como el vapor de agua existe como una de tantas moléculas en el gas interestelar, cuando la Tierra se condensó del disco protoplanetario que rodeaba al Sol simplemente recibió su “ración” de agua.



**Figura 4.** Se ha detectado la presencia de vapor de agua en el centro de la galaxia NGC 4258, entre otras. (Imagen cortesía del Observatorio Nacional Óptico de los Estados Unidos).

Pero esta sencilla hipótesis no parece ser correcta por lo siguiente: inmediatamente después de formada la Tierra, su temperatura era mucho más alta que ahora. Esto impidió la condensación de elementos volátiles y consecuentemente la formación de agua. Más aún: hay evidencia de que la Tierra pudo haber pasado en su inicio por episodios geológicos en los que su superficie quedó cubierta de lava, causando la desgasificación de la superficie. Bajo esta hipótesis, la Tierra se formó “seca”, sin agua. Por esta razón se ha buscado una explicación alternativa para entender la presencia de agua en nuestro planeta.

Una posibilidad viable es la que plantea que en el inicio del sistema solar había un enorme número de cuerpos a medio formar chocando con otros. Esto mantuvo por millones de años una lluvia intensa de fragmentos pequeños de material sólido o planetésimos sobre la Tierra. Muchos de estos cuerpos eran los antecesores de los cometas, y venían de las partes externas y frías del sistema solar donde el agua, en lugar de evaporarse, se había congelado en la superficie de esos cuerpos sólidos. El suministro de agua a la Tierra lo pudieron

haber proporcionado estos primitivos cometas cubiertos de hielo. En la actualidad los cometas tienen mucho menos hielo en su superficie que cuando se formaron, porque cada vez que pasan cerca del Sol sufren mucha evaporación.

La teoría del origen cometario del agua tiene sus oponentes, quienes argumentan que la abundancia de deuterio (un isótopo, o forma alternativa, poco común, del hidrógeno) en los cometas actuales es muy alta en comparación con la que hay en el agua terrestre, y que no podemos atribuir toda el agua a aquellos primitivos impactos cometarios.

Estos investigadores piensan que la Tierra no se formó tan “seca” como otros argumentan y que sí poseyó todo el tiempo una cierta cantidad de agua. Como tantos enigmas de la ciencia, sólo la investigación futura nos aclarará las cosas.

### Bibliografía

- Boss, A. P. (1998), “Temperatures in Protoplanetary Disks”, *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 26, 53-80.
- Chyba, C. F. y K. P. Hand (2005), “Astrobiology: The study of the Living Universe”, *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics*, 43, 31-74.
- Drake, M. J. (2005), “Origin of water in the terrestrial planets”, *Meteoritics & Space Science*, 40, 519-527.
- Ehrenfreund, P. y S. B. Charnley (2000), “Organic molecules in the Interstellar Medium, Comets, and Meteorites: A Voyage from Dark Clouds to the Early Earth”, *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics*, 38, 427-483.
- Kasting, J. F. y D. Catling (2003), “Evolution of a Habitable Planet”, *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics*, 41, 429-463.
- Miranda, L. F. et al. (2001), “Water-maser emission from a planetary nebula with a magnetized torus”, *Nature*, 414, 284-286.
- Torrelles, J. M. et al. (2001) “Spherical Episodic Ejection of Material from a Young Star”, *Nature*, 411, 277-280.

**Luis F. Rodríguez** es investigador del Centro de Radioastronomía y Astrofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en la ciudad de Morelia. Ha realizado investigación en los campos de la formación de las nuevas estrellas y en el de las estrellas binarias de rayos X.  
l.rodriguez@astrosmo.unam.mx

**Yolanda Gómez** es investigadora del Centro de Radioastronomía y Astrofísica, campus Morelia, de la UNAM. Utiliza técnicas de radio para estudiar las características físicas de las estrellas que se hallan cerca del final de su vida, cuando la estrella está en la llamada fase de nebulosa planetaria.  
y.gomez@astrosmo.unam.mx