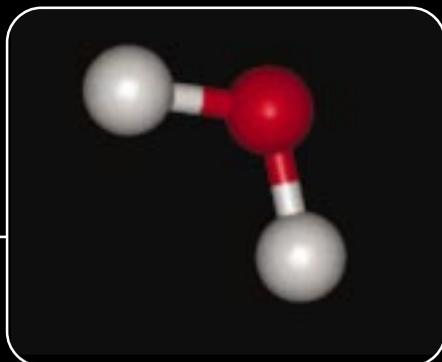


Agua en el Universo

Luis F. Rodríguez y Yolanda Gómez

RECIENTES HALLAZGOS INDICAN UNA PRESENCIA DE AGUA EN EL ESPACIO MÁS ABUNDANTE DE LO QUE SE CREÍA. DOS ASTRÓNOMOS QUE PARTICIPARON EN ESTOS DESCUBRIMIENTOS TE CUENTAN LA HISTORIA.

HASTA DONDE sabemos, la existencia de seres vivos es imposible sin agua. En los seres humanos, por ejemplo, el 60% de nuestro peso corporal es agua y ésta es indispensable para transportar y asimilar los nutrientes en la sangre. Una persona puede vivir más de 40 días sin comida, pero sólo unos cinco días sin agua. Así, cuando pensamos en vida, resulta inevitable pensar en agua. Sabemos que en la Tierra podemos encontrar agua en sus tres diferentes estados, ¿pero existe en otras partes del Universo? Después de todo, el agua es una molécula sencilla, el H_2O , formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.



El agua es una molécula formada por dos átomos de hidrógeno (representados por las esferas blancas) y uno de oxígeno (representado por la esfera roja).

¿Agua en la Luna?

El hidrógeno es el elemento más común en el Universo y el oxígeno es también relativamente abundante, así que uno pensaría que si se dan las condiciones adecuadas estos átomos se unen para formar agua. La Luna es el primer cuerpo celeste que viene a la mente, ya que saber si tiene o no agua es de crucial importancia para la futura exploración y colonización de nuestro satélite. 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— no es de extrañarse entonces el entusiasmo que se produjo 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. El Explorador había inferido la presencia del hielo bajo la superficie de la Luna mediante el estudio de los neutrones que se producen cuando los rayos cósmicos (partículas que viajan por el espacio a velocidades cercanas a las de la luz) chocan con la Luna. Si hubiese mucho hielo bajo la superficie lunar, el hidrógeno de este hielo absorbería fuertemente los neutrones producidos por los rayos cósmicos. Así, una reducción en la emisión de neutrones implicaría la presencia del hielo.

Pero cabe preguntarse cómo habría logrado permanecer este hielo en las inclementes condiciones lunares. La luz del Sol derretiría el hielo y, como la Luna no tiene atmósfera, la falta de presión haría que esta agua se transformara en vapor. Finalmente, la baja gravedad de la Luna

no podría impedir que el vapor de agua se perdiera al espacio exterior. La idea que podría explicar la presencia de hielo es que en los polos de la Luna hay cráteres con regiones que han estado siempre a la sombra; visto desde los polos de la Luna, el Sol siempre está muy bajo en el horizonte y sus rayos no llegan a las partes internas de los cráteres. En estas condiciones el hielo podría conservarse miles de millones de años.

Para poner a prueba la existencia de hielo en la Luna, la NASA decidió estrellar intencionalmente el Explorador Lunar en una de las regiones permanentemente sombreadas. Esta nave tenía un peso de 150 kilos y estuvo en órbita alrededor de la Luna durante un año, estudiándola. 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 detalladas para buscar emisiones del hidroxilo (el OH, una molécula que se produce 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 comprobación. Por otra parte, quizá la región donde cayó la nave no tenía hielo. Sólo futuras exploraciones de estos cráteres resolverán el enigma.

La búsqueda en Marte

Donde es seguro que hay hielo es en los polos de Marte. Se trata de regiones congeladas que están formadas principalmente por dióxido de carbono (lo que llamamos “hielo seco”), pero también por una parte de agua sólida. Esto se sabe



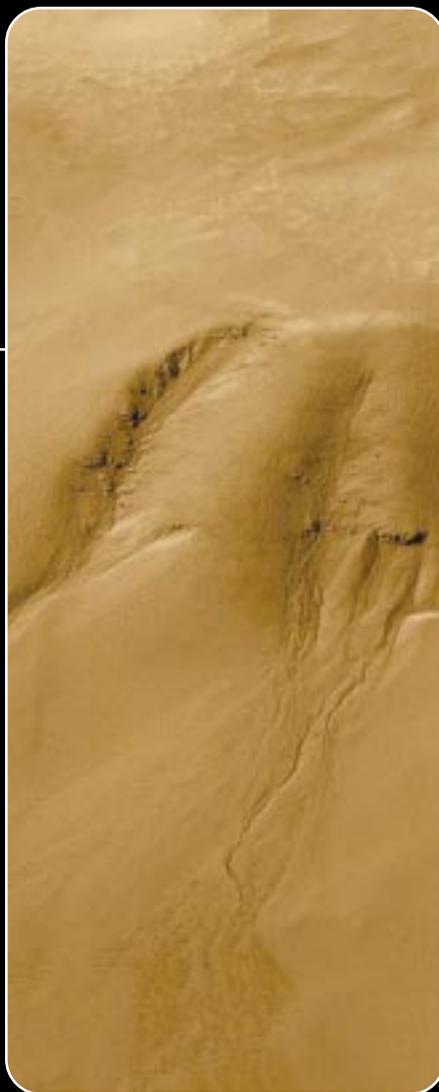
El polo sur marciano, cubierto de hielos de dióxido de carbono y agua.

mediante la combinación de la información que aportan fotografías de esas regiones, obtenidas en varias misiones espaciales, y estudios de la radiación infrarroja que las mismas reflejan.

Por otra parte, se sabe que la atmósfera marciana 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. 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, y hay evidencia de la presencia de agua en los meteoritos. Uno de ellos, que cayó en Texas en 1998, contiene gotas microscópicas de agua líquida que quedó atrapada en los cristales que forman el meteorito. Como los meteoritos se formaron hace 4 500 millones de años, junto con el Sol y los planetas, es asombroso pensar que estas pequeñísimas gotas de agua hayan estado atrapadas ahí todo ese tiempo.

Más allá

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 alcanzar las estrellas más cercanas a nuestro Sol. ¿Existe agua en estas estrellas o en sus alrededores? No es fácil contestar la pregunta, porque estos cuerpos están tan lejos que no es posible tomarles una fotografía que nos mostrara directamente nubes de vapor de agua como en la Tierra o casquetes de hie-

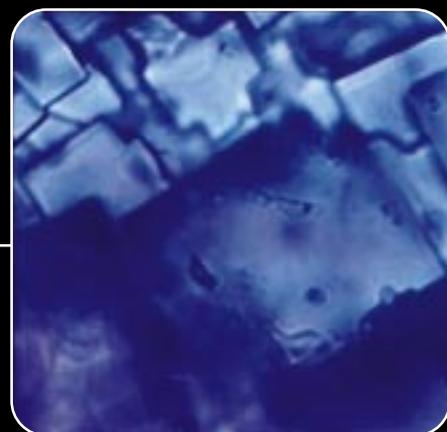


La presencia de canales y hondonadas en la superficie marciana sugiere que pudo haber existido agua líquida en el pasado.

lo como en Marte. A estas grandes distancias nos tenemos que conformar con analizar la luz y las otras radiaciones que nos llegan de los lejanos astros. Afortunadamente, cuando se encuentra en estado ga-

Formación de estrellas

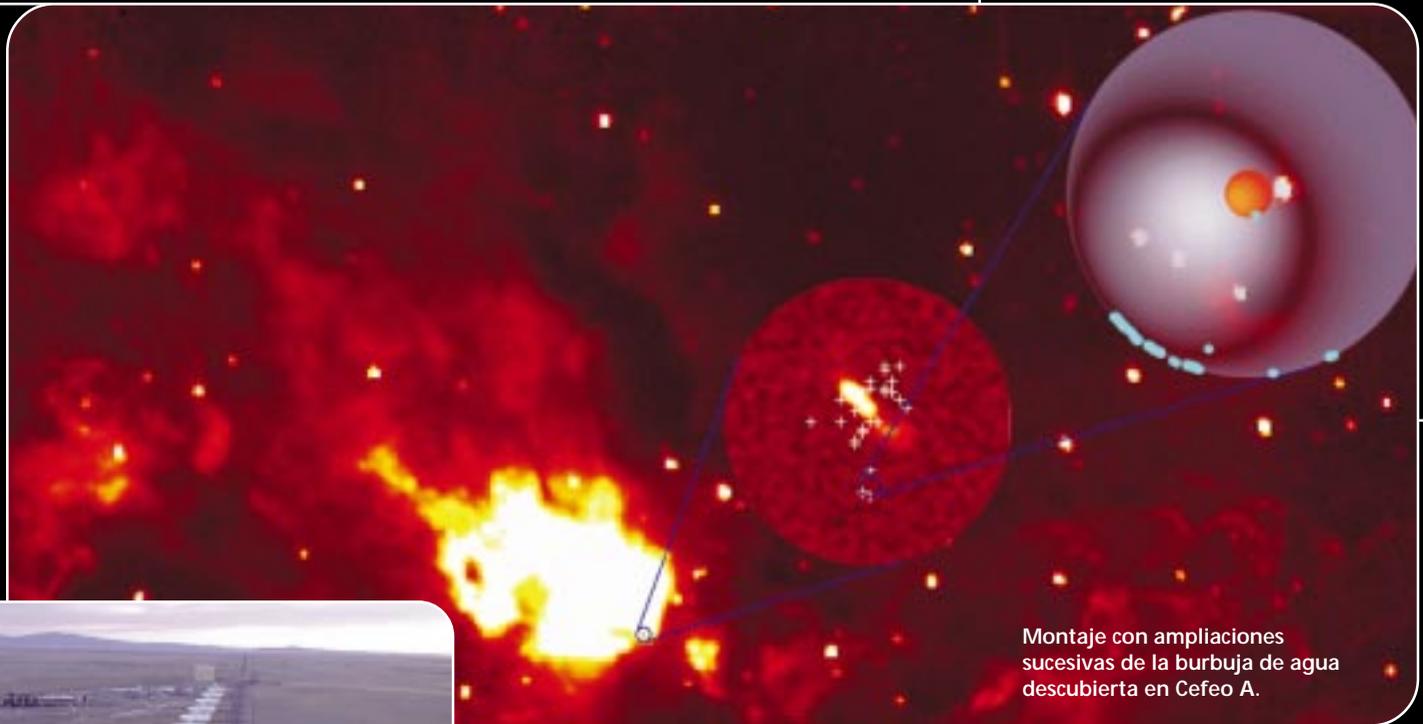
Las estrellas se forman en el interior de las nubes de gas que existen en el espacio, a las que se conoce como nubes moleculares. El proceso inicia cuando un fragmento de la nube molecular se contrae por la fuerza de su propia gravedad. Esta contracción da lugar a un cuerpo esférico central rodeado de un disco de gas cósmico. El disco continúa recibiendo gas de la nube molecular. Finalmente, para que el material que cae al disco pueda pasarse a la estrella, es necesario que pierda energía y momento angular (giro) y esto lo hace expulsando gas en direcciones opuestas.



Fotografía del meteorito que tiene atrapadas gotitas de agua en sus cristales.

seoso, el agua emite ondas de radio con una longitud característica de 1.35 cm, que pueden ser detectadas y estudiadas con los radiotelescopios terrestres. Más aún, esta emisión natural ocurre en el modo máser, lo que significa que las señales pueden ser bastante intensas. La emisión en modo máser (palabra que viene de las siglas en inglés de Amplificación de las Microondas por la Emisión Estimulada de Radiación) ocurre cuando en un medio existe un gran número de partículas que están excitadas, esto es, listas para soltar la energía interna que han acumulado mediante su interacción con otras partículas y fotones del medio ambiente. En estas condiciones, un fotón inicial que encuentra una partícula excitada la “estimula” a soltar su energía, la cual es emitida en forma de otro fotón de características idénticas al primero. La partícula queda desexcitada y los dos fotones viajan por el espacio hasta encontrar sendas partículas a las que estimulan a soltar su energía, y así sucesivamente. El proceso hace que el fotón original se “multiplique” exponencialmente y el resultado es una emisión muy intensa.

En 1969 un grupo de astrónomos encabezados por el Premio Nobel de Física Charles Townes, detectó por vez primera emisión máser del vapor de agua en tres nubes cósmicas donde se están formando nuevas estrellas. Desde entonces, la emisión máser del vapor de agua se ha estudiado exhaustivamente, usando distintos



Montaje con ampliaciones sucesivas de la burbuja de agua descubierta en Cefeo A.



El Conjunto Muy Grande es utilizado frecuentemente para estudiar la emisión máser del vapor de agua.

radiotelescopios, como el llamado Conjunto Muy Grande (o *Very Large Array*).

Recientemente, un grupo internacional de astrónomos entre los que estaba uno de los autores (Luis F. Rodríguez) utilizó 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 2 000 años-luz de la Tierra. El instrumento utilizado, el sistema de radiotelescopios VLBA (siglas en inglés de *Very Long Baseline Array*), está compuesto por diez radiotelescopios, cada uno de 25 metros de diámetro, situados uno en Hawái, otro en St. Croix (Islas Vírgenes) y los ocho restantes en los Estados Unidos. Los 10 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, es decir,

una estrella en formación, en Cefeo A. Lo más sorprendente de esta burbuja es su precisa geometría esférica; antes de esta observación se creía que si las protoestrellas expulsaban gas lo hacían en forma de chorros antiparalelos (véase recuadro) y de hecho aún no hay explicación para la burbuja, que se expande a una velocidad de 36 000 kilómetros por hora y tiene un tamaño de 18 000 millones de kilómetros, comparable al de nuestro Sistema Solar. La burbuja es similar a una pompa de jabón, excepto que el agua está en forma de gas y no de líquido. 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) y lo que hace notable a la burbuja es su forma. Una vez que transcurre la infancia de las estrellas, generalmente éstas se tornan demasiado calientes para que el agua permanezca en ellas. Sin embargo, el astrónomo regiomontano Pedro Sada ha encontrado, mediante la observación de

radiaciones infrarrojas, trazas de vapor de agua en dos estrellas viejas: Betelgeuse, de la constelación de Orión, y Antares, la estrella más brillante de la constelación del Escorpión.

El agua vuelve a aparecer de manera importante cuando la estrella se acerca a su muerte. Un caso interesante es el de *CW Leonis*, estrella próxima a morir que sufrió un aumento en su brillo, el cual al parecer calentó una nube de cometas que existe a su alrededor. Este calentamiento provocó la evaporación de parte del hielo que existe en la superficie de estos cometas. La detección de este fenómeno fue posible porque el vapor de agua emite, además de las ondas de radio de 1.35 cm que ya se mencionaron, ondas de longitud inferior a un milímetro o submilimétricas y contamos con un instrumento para registrarlas, el Satélite Astronómico para Ondas Submilimétricas (SWAS).

Por otra parte, se creía que las estrellas al morir destruían toda el agua que pudiera haber a su alrededor. Sin embargo, recientemente uno de los autores (Yolanda Gómez), junto con un grupo de astrónomos españoles, encontró vapor de agua en los alrededores de una estrella agonizante, denominada K3-35, que se encuentra en la fase llamada de nebulosa planetaria. El descubrimiento se hizo con el Conjunto Muy Grande.

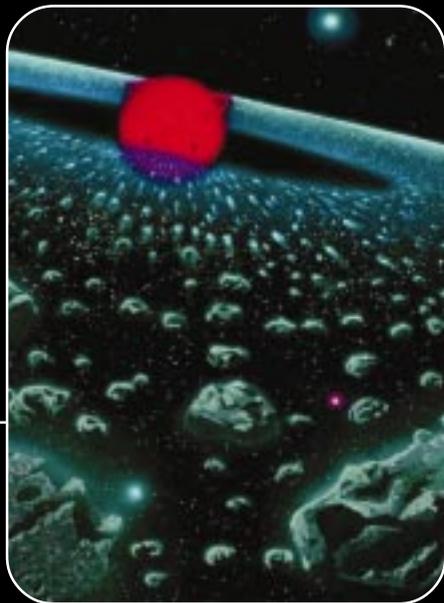


Ilustración de lo que puede estar ocurriendo en los alrededores de la estrella *CW Leonis*.

No obstante su nombre, una nebulosa planetaria no tiene nada que ver con planetas, en realidad se forma cuando una estrella como nuestro Sol agota su combustible y sufre una especie de metamorfosis: primero se expande aumentando su tamaño cientos de veces, y se convierte en una gigante roja. Luego la estrella comienza a contraerse y se torna cada vez más caliente hasta que ioniza (esto es, arranca electrones a los átomos) el gas que fue expulsado por la estrella en la etapa anterior de gigante roja. Este gas se desprende de la estrella formando una espectacular cáscara brillante, denominada envolvente, alrededor de la estrella moribunda. Durante esta etapa se dice que lo que queda de la estrella es un núcleo de nebulosa planetaria.

No obstante que el agua y otras moléculas son abundantes en las envolventes de las gigantes rojas, en la fase de nebulosa planetaria la intensa radiación del núcleo destruye progresivamente estas moléculas rompiéndolas en sus átomos componentes. Por ello 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 16 000 años luz de nosotros en dirección de la constelación de Vulpecula. 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. La dona tiene un diámetro de 25 mil millones de kilómetros, esto es, dos veces mayor que la órbita de Plutón alrededor del Sol.

El vapor de agua fue encontrado en la dona, cerca del núcleo, y también —y esto fue lo más sorprendente— en dos regiones diametralmente opuestas de la nebulosa a 750 000 millones de kilómetros del núcleo, coincidiendo con las puntas de los dos chorros de gas que parten de la estrella.

¿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 cm) 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

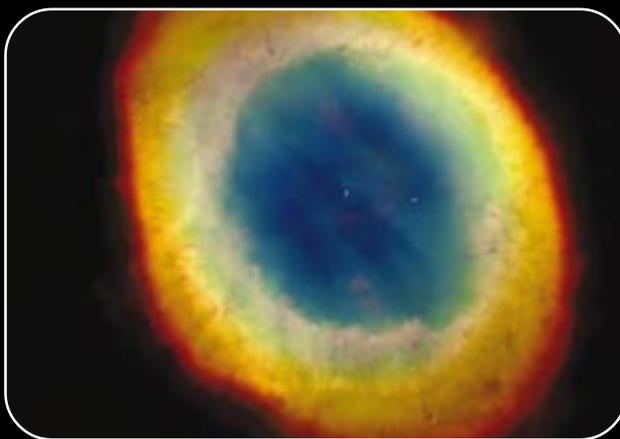


Imagen óptica de una nebulosa planetaria común llamada la "nebulosa del anillo" (M57). Se encuentra a 2 000 años luz de nosotros en la constelación de la Lira.

hemos estado hablando están a sólo unos miles de años-luz de la Tierra, las galaxias están a cientos y miles de millones de años-luz. En esta página puede apreciarse 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.

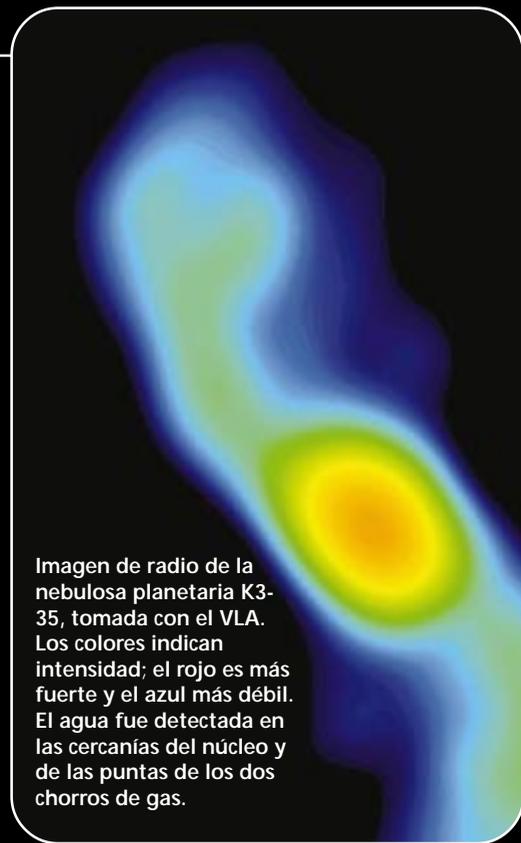


Imagen de radio de la nebulosa planetaria K3-35, tomada con el VLA. Los colores indican intensidad; el rojo es más fuerte y el azul más débil. El agua fue detectada en las cercanías del núcleo y de las puntas de los dos chorros de gas.



Se ha detectado la presencia de vapor de agua en el centro de la galaxia NGC 4258 y en otras galaxias.

En resumen, el agua abunda en el Universo. Claro, a los seres humanos lo que nos gustaría es saber de 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, aún en regiones donde se consideraba improbable que se conservara. ☝

Los doctores Yolanda Gómez y Luis F. Rodríguez son investigadores del Instituto de Astronomía de la UNAM, en el campus Morelia. Ambos se dedican a la radioastronomía y los resultados de su trabajo que se describen en este artículo aparecieron en dos artículos publicados en 2001 en la revista británica *Nature*.