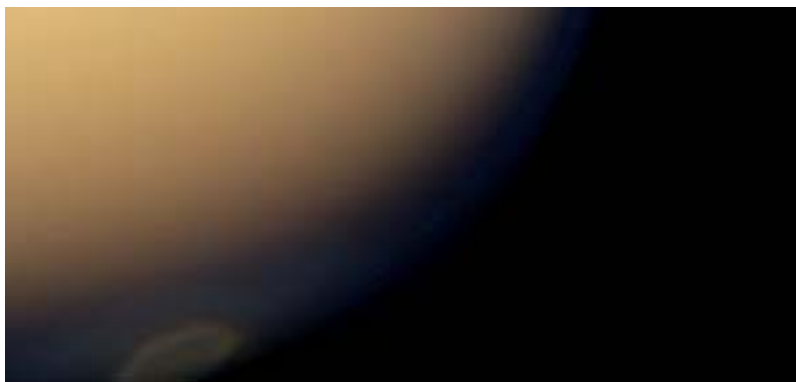


Titán: el satélite con atmósfera de planeta

LA MISIÓN CASSINI, QUE SOBREVUELA SATURNO Y SUS LUNAS DESDE HACE CASI UNA DÉCADA, HA MOSTRADO LA GRAN COMPLEJIDAD Y BELLEZA DE TITÁN, UN SATÉLITE CON RASGOS DE PLANETA

Por Silbia López de Lacalle
(IAA-CSIC)



HACE APENAS UNA DÉCADA PODÍAMOS RESUMIR EN POCAS FRASES LO QUE SABÍAMOS DE TITÁN, LA MAYOR LUNA DE SATURNO: que presentaba atmósfera (Comás Solá, 1908), que contenía metano (Gerald P. Kuiper, 1944), que su temperatura en superficie, de 179 grados bajo cero, era muy baja como para desarrollar vida (misión Pioneer 11, 1979), y que todo el satélite se hallaba cubierto por una capa de densa neblina impenetrable con telescopios ópticos (misión Voyager 1, 1980). Sin embargo, este curioso satélite con atmósfera de planeta y, se creía, lagos de metano sobre su superficie, despertó la curiosidad suficiente como para que la misión Cassini, destinada a sobrevolar Saturno y sus satélites, incluyera un módulo de descenso, Huygens, que aterrizaría sobre Titán.

Tras su lanzamiento en 1997, Cassini realizó dos pasos por Venus y uno por la Tierra y cruzó el cinturón de asteroides hasta sobrevolar Júpiter en diciembre del 2000. Con esta asistencia gravitatoria, Cassini llegó a Saturno a mediados de 2004 y su sonda Huygens descendió con éxito en Titán. Desde entonces, la misión sigue enviando datos valiosísimos, entre los últimos, un mapa topográfico de Titán. Ahora ya conocemos parte de lo que esconde Titán bajo esa neblina (lagos, dunas, montañas y ríos), qué compone su atmósfera e incluso cómo podría ser por dentro. Mientras escribo estas líneas (23 de mayo), Cassini se halla sobrevolando Titán en busca de olas sobre la superficie de uno de sus lagos, el Ligeia Mare, para determinar si el líquido que lo forma, presumiblemente una mezcla de metano y etano, es denso como la melaza o ligero como el agua terrestre.

Si no conocían mucho sobre Titán y la misión que está revelando sus secretos, pasen y enamórense.



El lago Ligeia Mare. Fuente: □NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute

El origen de la neblina



La densidad de la atmósfera de Titán supera la de la Tierra, y genera una presión sobre la superficie algo mayor que en nuestro planeta, similar a la del fondo de una

piscina. Al igual que en la atmósfera terrestre, en la de Titán predomina el nitrógeno, pero el resto de los componentes, como el metano y otros compuestos orgánicos, establecen grandes diferencias.

La proporción de estos componentes (98,4% nitrógeno, 1,6% metano, 0,1-0,2% hidrógeno y pequeñas cantidades de otros compuestos) se hallaba bien caracterizada gracias a la misión Cassini, pero precisamente los datos de uno de sus sobrevuelos sorprendió hace pocos meses al desvelar la existencia de un gas aún no catalogado en la alta atmósfera de Titán.

La emisión de ese compuesto sin identificar, que producía una señal muy intensa en el infrarrojo (a 3,28 micras), se hallaba presente durante las horas diurnas del satélite desde los seiscientos hasta los mil doscientos cincuenta kilómetros de su superficie, con un pico especialmente intenso a los novecientos cincuenta kilómetros. El hallazgo fue posible gracias a los datos del espectrógrafo VIMS, a bordo de Cassini.

Una molécula de gas, por ejemplo de metano, puede absorber la luz solar, excitarse y, posteriormente, emitir la luz en una longitud de onda característica de dicha molécula. Así, analizando las emisiones de una atmósfera, la de Titán en este caso, se identifican los compuestos presentes. Y el análisis de esa intensa emisión en el infrarrojo ayudó a resolver cuestiones abiertas

desde hacía décadas, relacionadas con la espesa neblina que cubre la superficie de Titán y que calienta la atmósfera y evita que se condense y disipe.

"Hace décadas se propuso que la capa de neblina de la baja atmósfera de Titán se generaba a partir de moléculas orgánicas complejas, y en 2007 se sugería que estas moléculas podían formarse en la atmósfera superior, varios cientos de kilómetros por encima de su lugar de residencia. Nuestro estudio confirma ambas hipótesis", señala Manuel López-Puertas, investigador del Instituto de Astrofísica de Andalucía que encabeza el estudio.

López-Puertas y colaboradores analizaron esta señal empleando una base de datos espectroscópica de la NASA y la atribuyeron a hidrocarburos aromáticos policíclicos -o PAHs, de su nombre en inglés-, un tipo de compuestos orgánicos complejos formados por cadenas de benceno. "Estos compuestos absorben los fotones

ultravioleta del Sol, muy energéticos, y rápidamente redistribuyen la energía internamente y la vuelven a emitir en el infrarrojo cercano”, indica el astrónomo.

Empleando un modelo de redistribución de esa energía los investigadores consiguieron explicar la señal a 3,28 micras detectada y calcular la abundancia de hidrocarburos aromáticos policíclicos presentes en la alta atmósfera de Titán, cantidad que ha resultado sorprendentemente alta, entre veinte y treinta mil PAHs por centímetro cúbico.

Este resultado es coherente con el hallazgo en 2007, también por la misión Cassini, de pequeñas concentraciones de benceno y de iones positivos y negativos de composición desconocida en la alta atmósfera del satélite, que sugería que los compuestos que forman la neblina de Titán se producían varios cientos de kilómetros por encima de ella. “Esta hipótesis implicaba la generación de grandes cantidades de especies aromáticas a gran altura -apunta López- Puertas-, y con nuestro trabajo hemos demostrado que los PAHs son la contrapartida neutra, y mucho más abundante, de las pequeñas cantidades de iones halladas en 2007. Aportamos así una evidencia clave de la composición y procedencia de la neblina de Titán”, concluye.

Destellos de un lago remoto

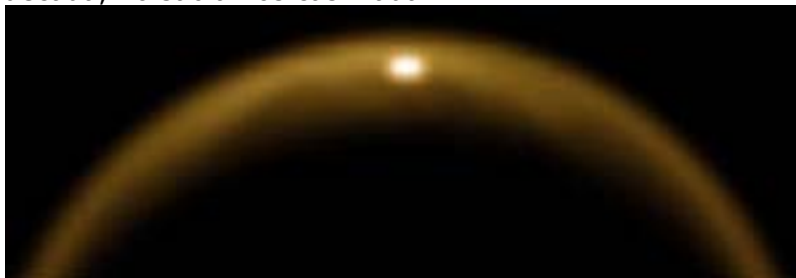
Antes de la llegada de Cassini, las observaciones de radar desde Tierra y las del telescopio Espacial Hubble habían atravesado la opaca neblina y mostrado el carácter heterogéneo de la superficie de Titán. También, desde la época de las misiones Voyager, se creía que las bajas temperaturas atmosféricas podían convertir el metano en gotas de lluvia, pero se ignoraba si los lagos formaban parte de esa irregular orografía.

En este sentido, los datos de Cassini produjeron cierta decepción al principio ya que no mostraron señales de líquido en la superficie. Una decepción poco fundada, ya que en el primer sobrevuelo apenas se estudió un 1% de la superficie del satélite, una muestra poco representativa (el desierto del Sáhara cubre más de 1% del globo terrestre, y un observador externo podría concluir que no hay una gota de agua en superficie en la Tierra tras sobrevolarlo).

No obstante, a mediados de 2005 se detectaba, en el polo sur de Titán, una región oscura de unos quince mil kilómetros cuadrados con forma de huella de pie. En radar, las regiones lisas aparecen oscurecidas, por lo que se creyó que podría constituir un primer candidato a lago en Titán. A mediados de 2008 se publicaba el análisis espectroscópico que confirmaba que se trataba de una superficie líquida compuesta por etano y, posiblemente, metano, nitrógeno y otros hidrocarburos, un verdadero hito pues se trataba del primer embalse de líquido estable fuera de nuestro planeta. Un lago que, según se conoció después, muestra una superficie extremadamente lisa, con variaciones máximas en altura de tres milímetros, y con una profundidad media de entre 0,4 y 3,2 metros y de 7,4 metros de máxima.

Pero antes de que llegara esta confirmación los candidatos a lago se habían multiplicado: un sobrevuelo de Cassini por el polo norte de Titán desvelaba en 2006 la existencia de más de setenta y cinco regiones oscurecidas de entre uno y setenta kilómetros de largo que, sin pecar de optimismo, lucían exactamente como uno se espera que lo hagan los lagos, situados en depresiones topográficas y con canales a su alrededor. Además, en julio de 2009 se obtenía una reflexión especular, una imagen buscada desde hacía décadas y que consiste en un intenso destello producido por superficies tan lisas que espejean cuando la luz incide sobre ellas. Con la existencia de los lagos confirmada resultaba inexplicable que no se obtuviera esa imagen, pero después conocimos el porqué: la mayoría de los lagos de Titán se hallan en el polo norte donde, desde la llegada de Cassini, había sido invierno (un año de Saturno, y por extensión de Titán, equivale a 29,5 años terrestres). De modo que teníamos uno de los ingredientes para la reflexión especular, los lagos, pero faltaba la luz, que comenzó a iluminar el polo norte en 2009. Y para obtener una reflexión especular era necesaria además una correcta alineación entre la luz del Sol, el lago y la nave, algo que se produce a menudo en las regiones

ecuatoriales y latitudes medias pero menos frecuentemente en los polos. Ahora, observen ese pequeño punto brillante bajo estas líneas y maravíllense: estamos viendo el brillo de un lago en una pequeña luna en torno a Saturno de la que, hace apenas una década, no sabíamos casi nada.



¿Está Titán geológicamente vivo?

Cuando pensamos en lunas, casi seguro que se nos viene a la cabeza la nuestra, la Luna, con sus tremendos cráteres como antiguas heridas de guerra. Y la pregunta es obvia: ¿muestra Titán cráteres? Pues sí, pero escasos. En un extenso estudio que analizaba el 22% de la superficie del satélite se difundía la existencia de cinco cráteres confirmados y de otros cuarenta y cuatro candidatos que podrían constituir versiones erosionadas de los primeros. También se mostraba una distribución poco uniforme, con regiones poco craterizadas, como el polo norte, y otras con una sobreabundancia de impactos, como la región de Xanadú (se trata de una región del ecuador que destaca por su alto albedo, o fracción de luz reflejada).

Esta escasez de cráteres, que contrasta con otros satélites compañeros como Rhea, en cuya superficie se observan cientos de huellas de impacto, es típica de superficies jóvenes y geológicamente activas.

En nuestro planeta una serie de fenómenos (tectónica de placas, erupción de volcanes, formación de glaciares y ríos...) han transformado la superficie a lo largo de miles de millones de años, y puede que en Titán operen procesos similares, aunque desentrañar cuáles no resulta sencillo. Las imágenes de Cassini han desvelado las líneas de cauces de ríos pero, según un análisis publicado en 2012, la actividad fluvial en Titán apenas produce erosión del terreno, de modo que no debe de ser un factor predominante en transformación de la superficie. Otro de los posibles orígenes del rejuvenecimiento de la superficie son los criovolcanes, o volcanes que expulsarían agua, amoníaco o metano en lugar de roca fundida. Sin embargo, aún no disponemos de candidatos que puedan ser interpretados como criovolcanes sin lugar a dudas –aunque se conoce una cadena de tres montañas denominada Sotra Patera que parece el candidato más prometedor-. De igual modo, en 2006 se detectó lo que podría interpretarse como una cordillera montañosa de unos ciento cincuenta kilómetros de largo que constituiría un posible indicio de actividad tectónica en Titán, pero de nuevo los datos no resultan inequívocos.

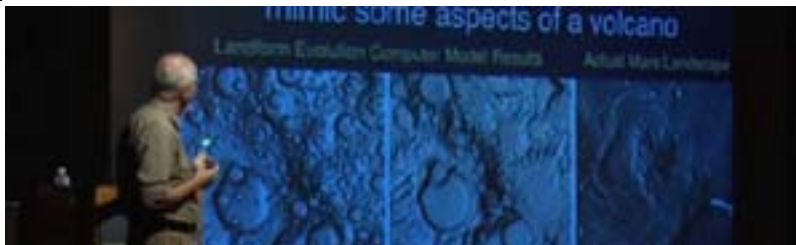


Ilustración de Jeffrey Moore sobre cómo la erosión por líquido puede producir que un cráter termine pareciendo un cono volcánico.

De hecho, a este respecto existen opiniones encontradas y resulta muy revelador un debate (<http://vimeo.com/40176481>) en el que Ralph Lorenz (*Applied Physics Laboratory*) y Jeffrey Moore (*Ames Research Center*) ofrecían argumentos a favor y en contra de algún tipo de actividad interna en Titán. En tanto que el primero

defendía que Titán estaba geológicamente vivo a través de indicios de actividad volcánica y tectónica, Jeffrey Moore aseguraba que la actividad en el satélite se limitaba a factores por encima de su superficie, como procesos producidos por líquido (lluvia y ríos), viento (transporte de aerosoles) e impactos de meteorito. Moore mostraba que la erosión por líquido puede producir que un cráter termine pareciendo un cono volcánico y contraponía, a la versión de un Titán con calor y actividad interna, lo que anunció como la "hipótesis Tritón-Titán- Marte". Según sus palabras, en el pasado de Titán (quizá hasta hace unos mil millones de años), el metano y nitrógeno que hoy forman la atmósfera se hallaban congelados en la superficie (en una analogía a lo que ocurre en Tritón, la mayor luna de Neptuno, cuyos volátiles se hallan atrapados en el hielo superficial). Un aumento de brillo del Sol o un episodio de bombardeo de meteoritos pudieron producir calor suficiente para sublimar el metano y nitrógeno y formar la atmósfera, que en un principio contenía mucho más metano. Sin reabastecimiento de metano, este componente terminaría por agotarse en unos mil millones de años al descomponerse en otros elementos (hidrocarburos más pesados), que entre otras cosas forman las partículas que componen las dunas que se observan en el ecuador. El metano se agotará y la presión atmosférica descenderá, de manera que las condiciones finales se asemejarán a las de Marte hoy día.

Así, y aunque la misión Cassini nos ha aportado información esencial para profundizar en el conocimiento de Titán, aún faltan evidencias rotundas sobre algunos aspectos de este mundo anaranjado.

UN SATÉLITE CON LLUVIA Y LAGOS DE METANO

Con una densa atmósfera y un ciclo de metano similar al hidrológico terrestre (con nubes, lluvia y líquido en superficie) caracterizado por una bajísima temperatura - 179 grados bajo cero en superficie-, se cree que Titán presenta unas condiciones similares a las que pudo tener la Tierra primigenia antes de la aparición de la vida. Sin embargo, existe un problema con el metano, elemento central de ese ciclo, que podría resumirse de la siguiente manera: debido a la radiación solar, el metano sufre un proceso de fotodisociación en la atmósfera que lo convierte en etano; el metano y etano forman nubes, que precipitan sobre la superficie y rellenan los lagos y forman los ríos; moléculas más complejas se forman también en la alta atmósfera, que descienden y forman la neblina que cubre todo el satélite y que terminan por originar los aerosoles que forman las dunas ecuatoriales.

Así, y de forma aún más resumida, el metano se gasta: se calcula que en un máximo de cien millones de años la radiación solar debería haber convertido el metano en hidrocarburos más complejos, de modo que debe de haber un mecanismo que reabastezca ese compuesto (a no ser que se trate, como sugieren algunos investigadores, de un elemento "pasajero", liberado en grandes cantidades en el pasado y que terminará por agotarse). Aunque algunos han propuesto la existencia de posibles organismos que produzcan metano (en la Tierra, entre el 90 y 95% del metano es de origen biológico), la opinión más generalizada apunta a procesos geológicos para la reposición del metano, entre los que destacan la aún no confirmada actividad volcánica, la evaporación de los lagos (aunque los estudios más recientes afirman que no resulta suficiente para equilibrar el ciclo) y, finalmente, la existencia de un océano interno que libere lentamente el metano almacenado.

Esta última opción se apoya sobre diversas evidencias indirectas. El año pasado, por ejemplo, se difundía un estudio del campo gravitatorio de Titán: la órbita de dieciséis días del satélite en torno a Saturno es elíptica, de modo que la distancia entre ambos cuerpos varía entre 1,19 y 1,26 millones de kilómetros; por ello, Titán sufre oscilaciones producidas por el tirón gravitatorio del planeta. En este caso, los cálculos apuntaban a mareas sólidas de más de diez metros de altura y los investigadores calculaban que, si el interior de Titán fuera sólido, las mareas no

deberían superar el metro de altura. Según ellos, la explicación que mejor se adapta a los datos es la existencia de un océano subterráneo, pero no se trata de una conclusión irrefutable, de modo que el ciclo "metanológico" de Titán aún sigue sin mostrar todas sus piezas.

Silbia LOPEZ DE LACALLE (IAA_CSIC)

**Este artículo aparece en el número 40, julio 2013,
de la revista Información y Actualidad Astronómica,
del Instituto de Astrofísica de Andalucía.**