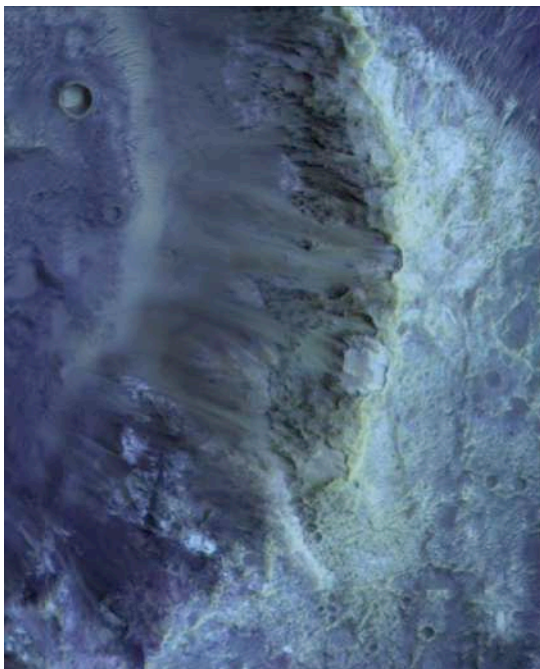


La larga historia del (no) metano en Marte

LOS DATOS MÁS RECIENTES Y PRECISOS SOBRE EL METANO EN MARTE DESMIENTEN LA EXISTENCIA DE ESTE GAS EN LA ATMÓSFERA MARCIANA, QUE TANTOS TITULARES HA ALENTADO

José Juan López Moreno (IAA-CSIC)

La búsqueda de vida o de indicios de esta en el universo ha sido y es una de las tareas que han movido a la humanidad a desarrollar tanto la ciencia como la tecnología asociada, y esperamos que siga siendo un motor que haga avanzar a la



Esta imagen muestra la pared sureste de un pequeño cráter ubicado a unos cientos de kilómetros al norte de la gigantesca cuenca de impacto Hellas en Marte. El cráter completo mide unos 12 kilómetros de diámetro, y esta imagen muestra un área de 5 x 10 kilómetros. Fuente: ESA/Roscosmos/CaSSIS.

humanidad. Es obvio que, descartada la Luna como posible hábitat de seres vivos por muchos motivos –uno evidente: la ausencia de una atmósfera que permita el desarrollo de compuestos complejos–, y descartada también la superficie de Venus por sus condiciones de presión y temperatura, nos queda Marte, con unas condiciones cercanas a las de habitabilidad, con una atmósfera que, aunque débil, permitiría la presencia de compuestos complejos, y con una superficie que muestra rasgos de haber tenido, en el pasado, una atmósfera más densa y con posibilidad de presencia de agua líquida en su superficie. Por tanto, la búsqueda de indicios de vida en Marte y la presencia de metano en su atmósfera podría ser uno de esos importantes indicios que ha movido a la ciencia a esforzarse en buscarlo. Por ello se han realizado muchos intentos para detectar, cuantificar y buscar el origen y el destino del posible metano en Marte. El objetivo de este trabajo es explicar cómo se ha tratado de entender este tema por la comunidad científica.

¿QUÉ ES EL METANO?

El metano (CH_4), el hidrocarburo más simple, contiene un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno; su masa molecular, por tanto, es de 16 dalton, mucho menor que la masa molecular media de la atmósfera de Marte (compuesta principalmente por CO_2 , N_2 y Ar), que es de 43.1 dalton. Por tanto, cualquier emanación de metano que se produjera en la superficie se iría elevando y mezclándose de forma uniforme (disolviéndose) en la troposfera marciana. Los modelos de composición y dinámica de la atmósfera de Marte muestran que cualquier producción de metano en su superficie estaría disuelta de forma prácticamente regular hasta una altura de diez kilómetros en 24 horas (2). Los modelos también muestran que cualquier liberación de metano se distribuirá de forma uniforme en toda la atmósfera de Marte en un plazo inferior a un mes.

Paralelamente, el tiempo medio de vida del metano en la atmósfera de Marte (es decir, el tiempo para que n moléculas en la atmósfera se reduzcan hasta n/e , siendo $e = 2.72...$) es superior a 300 años, según todos los modelos atmosféricos desarrollados para entender su atmósfera.

De lo anterior se deduce que:

1. Cualquier metano que se libere por cualquier medio en la atmósfera de Marte permanecerá en ella durante muchos años, incluso en el caso de que no se siguiera liberando.
2. Cualquier metano que se libere en la atmósfera de Marte se distribuirá en forma de mezcla uniforme (fracción respecto a la suma de otros componentes constante) en el plazo máximo de un mes.

Sobre el origen del metano en Marte se han barajado distintas hipótesis, si bien hasta ahora ninguna está demostrada ni mucho menos cuantificada. Una posible explicación de base biológica indica que el metano estaría producido por posibles bacterias en un ambiente subterráneo.

Entre las hipótesis de carácter no biológico cabe situar los siguientes procesos: serpentización de la olivina, degradación por radiación ultravioleta de posibles materiales orgánicos depositados por meteoritos, impactos de cometas, descomposición de clatratos subsuperficiales, producción geotérmica y algunos más

Por otra parte, el metano en la Tierra tiene un origen mayoritariamente biológico y es producido por organismos vivos y por la degradación de compuestos orgánicos más complejos en sus procesos digestivos. Una fracción minoritaria es emitida a la atmósfera desde los depósitos de hidrocarburos que se encuentran en el subsuelo.



La imagen, tomada el 27 de abril de 2020, muestra parte de un cráter de impacto en el hemisferio sur de Marte. La imagen revela un campo de dunas casi negro a la derecha, rodeado de suelos rojos parcialmente cubiertos de hielo blanco brillante. Fuente: ESA/ExoMars/CaSSIS

PRIMERAS NOTICIAS SOBRE EL METANO EN MARTE

La primera referencia histórica y pretendidamente científica se publicó como Announcement en la revista Science en agosto de 1966 (1). En dicho anuncio, los autores declararon haber detectado unos gases en la atmósfera de Marte a los que,

sin identificar, llamaron substitutes methane. Aunque prometieron publicar la identificación espectroscópica del "descubrimiento", nunca llegaron a publicar los resultados para confirmarlo y tampoco se retractaron jamás, aunque, eso sí, ninguno de los tres firmantes del anuncio volvió a hablar ni a publicar una sola palabra sobre el metano en Marte. El siguiente hito en esta historia ocurre tres años después, con el sobrevuelo de la nave Mariner 7 en Marte el 5 de agosto de 1969. Dos días después, NASA organiza una rueda de prensa en la que anuncia que Mariner 7, mediante espectroscopía infrarroja, había detectado metano y amoníaco en el polo sur de Marte. La noticia rápidamente saltó y se extendió por todo el mundo, siendo recogida por la prensa americana. El New York Times fue una de las cabeceras que se hizo eco del supuesto hallazgo, con el siguiente titular: "Dos gases asociados con la vida, encontrados en el polo sur de Marte". Sin embargo, poco más de un mes después, el mismo equipo que había hecho tan trascendental anuncio volvió a convocar otra rueda de prensa en la que se desdijeron de lo anterior y señalaron que todo ello había sido una mala interpretación de los datos y que las absorciones en la espectroscopía infrarroja no se debían a ningún gas atmosférico, sino a bandas de absorción del hielo de dióxido de carbono presente en el polo sur. La decepción fue tan grande como la vergüenza de haber hecho pública una conclusión tan importante sin haber hecho un análisis suficientemente serio de los datos. Ese necesario análisis serio y con consistencia científica se realizó durante los años en los que Mariner 9 siguió enviando espectros desde Marte, de tal forma que, en 1977, tras analizarse 1747 espectros tomados por Mariner 9, se concluyó que no se había detectado metano en Marte por encima de 20 partes por mil millones en volumen (20 ppbv). Esto significa que el límite superior de la concentración de metano, si es que hay alguno, sería de 20 ppbv. Entiéndase que esto no supone que haya 20 ppbv de metano, sino que habría un 95% de probabilidad de que la abundancia de metano, de haberla, sería inferior a 20 ppbv, y que habría un 99,7% de probabilidad de que esta sea inferior a 30 ppbv. Aunque el New York Times nunca publicó la rectificación, sí lo hicieron Los Angeles Times y el Wall Street Journal, aunque ya no en primera página.

RENACIMIENTO DE LA BÚSQUEDA DE METANO EN MARTE

Sin embargo, la posibilidad de detectar cualquier signo de vida en Marte, y el metano atmosférico es uno de ellos, no perdió interés como objetivo científico. Aunque tuvo que esperar al año 2004, cuando tres equipos diferentes, dos de ellos desde observatorios en tierra y uno con un espectrógrafo en órbita marciana anunciaron, de nuevo, el descubrimiento de metano en la atmósfera de Marte. Así, en 2004 se publicaron pretendidas detecciones de metano en la atmósfera de Marte: una primera publicación en Icarus (3), que abrió la puerta a otra en Science (4), además de una presentación en un congreso (5). La primera y la tercera presentaban datos tomados desde telescopios en tierra. La segunda lo hacía con datos tomados por el instrumento PFS a bordo de Mars Express desde una órbita marciana. Las diferentes medidas eran relativamente parecidas (entre 10 y 60 ppbv), lo que las dotaba de credibilidad y podía hacer pensar en un consenso científico, aunque no siempre un consenso científico supone una constatación científica. Recordemos, en este sentido, cómo en el siglo XVII algunos físicos como Isaac Newton, astrónomos como Kepler, además de varios clérigos llegaron, de forma independiente, a la conclusión de que la edad de la Tierra era de alrededor de seis mil años. Sin embargo, todos ellos se equivocaban solo en unos cuatro mil millones de años (6). Y ahora, volviendo a las publicaciones del 2004 sobre el metano en Marte, no solo los valores obtenidos eran del mismo orden, sino que también presentaban unas características similares en cuanto a la variación temporal o geográfica de la concentración de metano en la atmósfera. Y, precisamente, esas similitudes provocaron en la comunidad científica una evidente sospecha de la poca fiabilidad de los datos obtenidos: como se explicó al principio, de haber metano en la atmósfera de Marte este debería ser uniforme en todo el planeta y con una distribución también uniforme con la altura. Los resultados

presentados por los tres equipos contradecían estas premisas. El problema estaba planteado: o bien lo que se estaba midiendo no era metano, o lo que se conoce de modelos fotoquímicos y de física atmosférica estaba totalmente equivocado, o existían procesos desconocidos que permitían no solo la producción de metano sino, especialmente, su desaparición, de forma que los mecanismos que eliminaban el



El rover *Curiosity* (NASA).

metano en Marte serían mil veces más rápidos de lo que los conocimientos hasta el momento calculaban. Las publicaciones de observaciones de metano, tanto desde órbita (PFS) como desde telescopios terrestres continuaron produciéndose y, en el año 2010, en plena efervescencia de las detecciones de metano en Marte, el equipo dirigido por S. Fonti revisó las observaciones tomadas por el instrumento TES a bordo del Mars Global Surveyor (MGS). En concreto, se analizaron un total de casi tres millones de espectros de una muy baja resolución, en concreto diez veces menor que la de PFS que, a su vez, es doscientas veces menor de la necesaria para resolver las líneas de la banda del metano. Pues bien, con estos

datos, Fonti y Marzo publicaron un artículo (7) en el que presentaban una distribución del metano a lo largo y ancho de la superficie del planeta con valores entre 0 y de 80 ppbv, distribuidos de manera irregular. Los resultados publicados, al igual que los obtenidos tanto por PFS como desde telescopios terrestres, claramente atentaban contra los más elementales principios de física atmosférica, que indican que el metano en esas cantidades debería estar distribuido de forma prácticamente uniforme por el planeta. Afortunadamente, y con una dosis de honradez científica que los acredita como grandes científicos, cinco años después, revisando críticamente los resultados publicados con anterioridad, el mismo equipo envió un nuevo trabajo (8) en el que se reconocía el error de publicar el primer trabajo y confirmaban: "Nuestros hallazgos [...] confirman [...] que ningún espectro sintético puede reproducir un espectro marciano promedio con la precisión necesaria para evaluar la presencia de metano". La relevancia de esta segunda publicación debería haber vuelto a situar el tema del metano en Marte en el lugar de donde no debería haber salido: científicamente no puede afirmarse su existencia en la atmósfera marciana con unos valores y unas variaciones temporales y geográficas como las presentadas.



Esta imagen, tomada el 5 de mayo de 2020, muestra una parte del suelo del cañón de Ius Chasma, parte del sistema de cañones de Valle Marineris que se extiende casi una cuarta parte de la circunferencia de Marte al sur del ecuador del planeta. Fuente: ESA/ExoMars/CaSSIS.

EL CURIOSO CASO DE CURIOSITY

La misión de NASA Mars Science Laboratory, lanzada el 26 de noviembre de 2011 y que aterrizó en Marte el 6 de agosto de 2012, llevaba como elemento principal un vehículo rover llamado Curiosity, equipado con instrumental capaz de estudiar con gran detalle la composición de la atmósfera y de la superficie. Con ese objetivo se diseñó el Sample Analysis at Mars (SAM). Está formado por un conjunto de sensores que incluyen un cromatógrafo de gases, un espectrómetro de gases y un espectrómetro láser sintonizable. Este último está diseñado para detectar metano por encima de 0.3 ppbv aunque, mediante un sistema de enriquecimiento, anunciaban que podrían llegar a algunas N partes "per trillion", entre 50 y 100 veces más sensible, es decir, 0.00N ppbv. Textualmente: "el espectrómetro de SAM Suite está diseñado para detectar metano por encima de 0.3 ppbv [...] TLS en SAM tendrá la capacidad de detectar abundancias de metano atmosférico de partes por billón (!) en la atmósfera marciana" (11).

Las primeras medidas de metano con TLS se realizaron el 25 de octubre de 2012 con un resultado (1.62 ± 2.03 ppbv) que claramente indicaba que, de haber metano, su concentración estaba claramente por debajo del límite de detección del instrumento. En los siguientes meses, Curiosity realizó otras cinco medidas más con resultados que confirmaban el primero, lo que llevó al equipo científico a publicar: "Hasta la fecha, informamos de la no detección de metano atmosférico con un valor medido de 0.18 ± 0.67 ppbv correspondiente a un límite superior de solo 1.3 ppbv (nivel de confianza del 95%)" (12). Solo dos años más tarde, el mismo equipo (11), tras realizar siete medidas más y "revisar ligeramente" las medidas anteriormente publicadas, llegaron a conclusiones absolutamente contrarias. De las seis primeras medidas, cuatro de ellas confirmaron la no detección, incluso aumentando el grado de fiabilidad de los resultados, pero las dos medidas del mes de junio de 2013 son revisadas y pasan de ser:

16 de junio 2013: - 2.21 ± 0.94

23 de junio 2013: - 0.50 ± 0.94

a

16 de junio 2013: 5.78 ± 2.27

23 de junio 2013: 2.13 ± 2.02

Es decir, las dos detecciones claramente negativas se convirtieron en positivas y, además, una detección positiva de 5.78 ppbv empezaba a acercarse a los valores pretendidamente medidos por las publicaciones anteriores. Con ello se volvía a abrir la cuestión. Contrariamente a los resultados publicados sobre las primeras medidas, las nuevas sí daban valores superiores a los límites de detección, es decir: de las siete medidas solo una estaba por debajo del límite de detección, las demás se presentaban como detecciones positivas y algunas de ellas con valores puntuales superiores a 5 ppbv, incluso una de ellas de 9 ppbv.

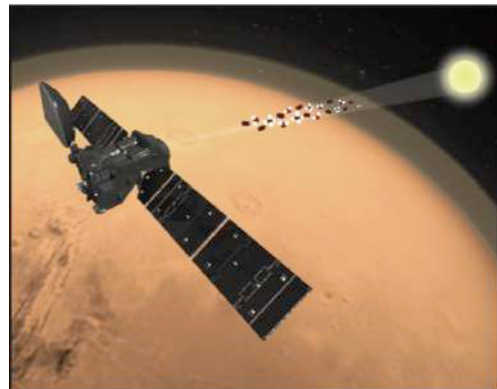
EXOMARS TGO: NOMAD Y ACS

En este contexto se incluyen, dentro del programa Exomars de exploración de la ESA, dos instrumentos (NOMAD y ACS) especialmente diseñados para estudiar, con una precisión cien veces mayor que la utilizada hasta el momento, la concentración de los gases que forman la atmósfera marciana y su distribución con la altura. Así, uno de los objetivos del instrumento NOMAD, a bordo de Exomars, reza textualmente: "perfiles verticales y mapeo de metano". Es decir que, a pesar de las enormes dudas existentes sobre la veracidad de las medidas publicadas que se reflejaban en la imposible explicación de su comportamiento tanto espacial como temporal, se incluyeron en la misión los objetivos de estudiar con detalle la distribución del metano y la identificación de las posibles fuentes y mecanismos de destrucción con el objetivo de llegar a entender el comportamiento del metano en la atmósfera marciana. Exomars-TGO se lanzó en marzo del 2016, se situó en

órbita alrededor de Marte en octubre de ese mismo año y los instrumentos a bordo (específicamente NOMAD y ACS) están tomando espectros de la atmósfera de Marte desde abril de 2018 mediante la técnica de ocultación solar. Hasta abril de 2019 se realizaron 2.606 ocultaciones y se obtuvieron más de 210.000 espectros en las que estarían presentes las líneas del metano. Los resultados (9 y 10), tomados a lo largo de un año completo cubriendo prácticamente la totalidad del planeta y sondeando desde 100 hasta 6 kilómetros de altura muestran la no detección de metano a niveles superiores de 0,061 ppbv. Dichas medidas están en completo desacuerdo con las pretendidas medidas anteriores y en total acuerdo con los resultados de otro instrumento a bordo de Exomars-TGO, ACS, que tampoco encontró metano por encima de un límite de 0,05 ppbv, en medidas realizadas desde 100 hasta 2 kilómetros de altura.

RENACIMIENTO DE PFS

Una semana antes (abril 2019) de la publicación en Nature de los resultados de los instrumentos NOMAD y ACS (7), que mostraban que, tras un año de observaciones y con miles de espectros tomados cubriendo prácticamente todo el planeta hasta una altura de cinco kilómetros, el metano, de haberlo, estaría por debajo de 0.05 ppbv, Nature Geoscience (13) publicó otro artículo en el que el equipo de PFS, tras revisar los datos de órbitas de seis años antes, presentaron una medida de 15.5 ppbv, precisamente referida al día siguiente de la medida publicada por Curiosity de 5.78 ppbv. Las medidas, presentadas por el equipo de PFS, se obtuvieron aplicando una nueva forma de observación e integrando y promediando 275 espectros en la zona del cráter Gale. Las nuevas medidas implican que, de ser ciertas, habría una gran cantidad de metano distribuida por una región extensa del planeta, lo cual atenta contra todos los modelos del comportamiento de las atmósferas planetarias, que predicen que, de haber una cantidad importante de metano, este se distribuye en pocos meses en toda la atmósfera y debería haber sido detectado por el mismo PFS en las órbitas anteriores y siguientes. En suma, la publicación de los resultados de PFS, en vez de dar credibilidad y confirmar la medida puntual y localizada de Curiosity, restringida a la proximidad de la superficie (lo que la haría compatible con las no detecciones realizadas por NOMAD y ACS), en realidad vuelve a quitar credibilidad a las detecciones de metano ya que, de ser cierta la medida de PFS, la enorme cantidad de metano que se necesita para justificar sus medidas debería mantenerse en la atmósfera durante muchos años y deberían haber sido detectadas por ACS y NOMAD y, también, por Curiosity y PFS, lo que no se ha producido.



La misión TGO-ExoMars (ESA)

CONCLUSIÓN

Todas las medidas presentadas hasta el momento son compatibles (debido a sus márgenes de error) con la ausencia de metano en la atmósfera de Marte, como han confirmado NOMAD y ACS. Los intervalos de confianza de las medidas previas a NOMAD y ACS son suficientemente amplios como para ser compatibles con la no detección. La precisión de las medidas de ACS y NOMAD es mucho más elevada que la de cualquier otra medida previa y, tras más de 200.000 espectros analizados, el nivel de metano en la atmósfera de Marte es inferior a 0.06 ppbv. Aunque las observaciones de ACS y NOMAD se realizan a alturas superiores a tres kilómetros, en caso de que por debajo de esa altura en algún momento hubiese metano debería haber sido detectado por ellos unas horas o días después.

REFERENCIAS

- (1) Mars: New Absorption Bands in the Spectrum. Author(s): Connes, J., Connes, P. and Kaplan, L. D. Source: Science, New Series, Vol. 153, No. 3737 (Aug. 12, 1966), pp. 739-740.
- (2) Holmes, J. A., Patel, M. R. and Lewis, S. R. (2017). The vertical transport of methane from different potential emission types on Mars. Geophysical Research Letters, 44(16) pp. 8611–8620.
- (3) Krasnopolsky, V.A., Maillard, J.P., and Owen, T. C. (2004) Detection of methane in the martian atmosphere: evidence for life? Icarus 172 537–547.
- (4) Formisano, V., Atreya, S., Encrenaz, T., Ignatiev, N., & Giuranna, M. (2004) Detection of Methane in the Atmosphere of Mars. Science, 306, 1758.
- (5) Mumma, M.J., Novak, R. E. Di Santi, M. A, Bonev, B., Dello Russo, N., Hewagama, T. and Smith, M. (2004) Detection and Mapping of Methane and Water on Mars: Evidence for local enhancements in Methane. Abstract submitted to American Astronomical Society's Division for Planetary Sciences (DPS) annual meeting Louisville, KY, 8-12 November.
- (6) Weintraub, D. A. (2018). Life on Mars, what to know before we go. Princeton University Press. p. 223.
- (7) S. Fonti and G. A. Marzo (2010) Mapping the methane on Mars. Astronomy & Astrophysics, 512, A51.
- (8) S. Fonti et al. (2015) Revisiting the identification of methane on Mars using TES data Astronomy & Astrophysics 581, A136.
- (9) O. Korabev et al., (2019) No detection of methane on Mars from early ExoMars Trace Gas Orbiter observations. Nature, 568, 517.
- (10) Knutsen E.W. et al. (2021) Comprehensive investigation of Mars methane and organics with ExoMars/ NOMAD. Icarus, 357, 114266.
- (11) C.R. Webster and P.R. Mahaffy (2011) Determining the local abundance of Martian methane and its $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and D/H isotopic ratios for comparison with related gas and soil analysis on the 2011 Mars Science Laboratory (MSL) mission. Planetary and Space Science 59 271–283
- (12) C.R. Webster et al. (2013) Low Upper Limit to Methane Abundance on Mars. Science, 342, 355.
- (13) C.R. Webster et al. (2015) Mars methane detection and variability at Gale crater. Science, 347, 6220, 415
- (14) M. Giuranna et al. (2019) Independent confirmation of a methane spike on Mars and a source region east of Gale Crater. Nature Geoscience, 12, 326–332.

José Juan LÓPEZ MORENO (IAA-CSIC)
Este artículo aparece en el número 63, febrero 2021, de
la revista Información y Actualidad Astronómica, del
Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC)