

BUSCANDO EVIDENCIAS DE MARTEMOTOS Y PROPUESTA DE SEISMOS INDUCIDOS O ARTIFICIALES EN MARTE.

***Pionners:** José Manuel López de la Oliva Sánchez-Crespo y Juan Antonio Sánchez-Crespo Zamora. **Tutor:** José Luis Olmo Rísquez. IES "Guadina", C/ Instituto nº 2, 13600, Villarrubia de los Ojos, Ciudad Real, España. jlorisquez@gmail.com*

RESUMEN

El estudio de los martemotos es de gran importancia para determinar la estructura y dinámica del interior de Marte. Además, es fundamental para conocer la interesante historia geológica de este singular planeta y descubrir si alguna vez pudo albergar vida o si todavía perdura en forma de microorganismos. Los principales objetivos de nuestro trabajo son: buscar evidencias de lugares donde los martemotos sean más probables, utilizando para ello las imágenes de la NASA obtenidas por el HiRISE (High Resolution Imaging Science Experiment) y proponer mecanismos para la producción de seísmos artificiales que puedan ser tenidos en cuenta en las próximas misiones a Marte. Se han analizado cientos de imágenes y se han seleccionado quince lugares idóneos para buscar evidencias de martemotos. De todos ellos, se propone en primer lugar "*Cerberus Fossae*", por ser uno de los lugares donde podemos encontrar mayor número de evidencias de seísmos en Marte. Para un mejor estudio de los martemotos se proponen distintas misiones, una de ellas consiste en enviar una sonda móvil que sitúe tres sismógrafos separados entre sí cientos de kilómetros. También, se propone la generación de explosiones controladas que producirían seísmos artificiales, que facilitarían el estudio del interior de Marte y además, podrían suplir la posibilidad de encontrarnos ante un planeta con un escaso o nulo dinamismo interno.

INTRODUCCIÓN

Hace más de 50 años que se envió la primera sonda para explorar Marte, y desde entonces han sido muchos los conocimientos que hemos adquirido sobre su atmósfera, su superficie, topografía, meteorología, etc.; sin embargo sabemos muy poco o casi nada sobre el interior de Marte.

Por otra parte, una de las grandes preguntas, todavía por resolver, es la presencia de vida en otros lugares del Universo, siendo Marte un excelente candidato. Cada vez hay más evidencias de que esto pudo ser y que hoy en día pueda existir vida microscópica en Marte. Los estudios sobre la composición y dinámica interna de Marte, también pueden aportar datos de enorme interés para descubrir la presencia de vida en Marte

(<http://www.bbk.ac.uk/news/marsquakes-2013-another-clue-in-the-search-for-life-on-mars>).

Para estudiar el interior de Marte, es fundamental conocer los movimientos sísmicos que se producen en él, ya que la mejor forma que tenemos para averiguar cómo es el interior de los planetas consiste en el estudio del movimiento de las ondas sísmicas, las cuales se generan por medio de los seísmos naturales o artificiales.

A su vez, si queremos buscar evidencias de seísmos en otros planetas o satélites tendremos en primer lugar que conocer cuáles pueden ser sus posibles causas y efectos. Para que exista un movimiento sísmico tiene que ocurrir una perturbación en el terreno que ocasione la formación de ondas sísmicas y esto puede ser debido a: los impactos de los meteoritos, la actividad volcánica, las tensiones que se producen en las fracturas y fallas, los movimientos de la tectónica de placas y los desprendimientos o deslizamientos de rocas o bloques de hielo, el hundimiento de cavernas o las variaciones bruscas en la presión atmosférica por ciclones o bien pueden ser producidos o inducidos artificialmente por los humanos, mediante la construcción de grandes embalses, el fracking, explosiones nucleares o mediante impactos de objetos artificiales desde el espacio. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto>).

Actualmente, los únicos datos que tenemos sobre seísmos en otros cuerpos celestes, que no sea la Tierra, proceden de la Luna. Los lunamotos (<https://es.wikipedia.org/wiki/Lunamoto>) se comenzaron a estudiar gracias a los sismógrafos dejados por las misiones tripuladas de los Apolo 11 al 16. El Apolo 11 dejó un prototipo que falló un mes después, y el Apolo 13, nunca llegó a la superficie lunar. Pero los otros cuatro sismógrafos (Apolo 12, 14, 15 y 16) registraron unos 12.500 movimientos sísmicos hasta 1977, cuando la NASA desconectó la red. (http://elpais.com/diario/2005/03/16/futuro/1110927602_850215.html). Los lunamotos artificiales o inducidos, han sido causados por el hombre y se han generado mediante la explosión de cargas en la superficie de nuestro satélite, o mediante el impacto de objetos en la Luna, como el lanzamiento controlado de sondas o fases inútiles de vehículos espaciales contra la superficie lunar. Por ejemplo, los módulos S-IVB de los Apolo 13, 14, 15, 16 y 17 impactaron cerca de la zona de los Mar Cognitum ocasionando lunamotos artificiales que fueron registrados ([https://the-moon.wikispaces.com/S-IVB#S-IVB%20\(or%20S-4B\)](https://the-moon.wikispaces.com/S-IVB#S-IVB%20(or%20S-4B))).

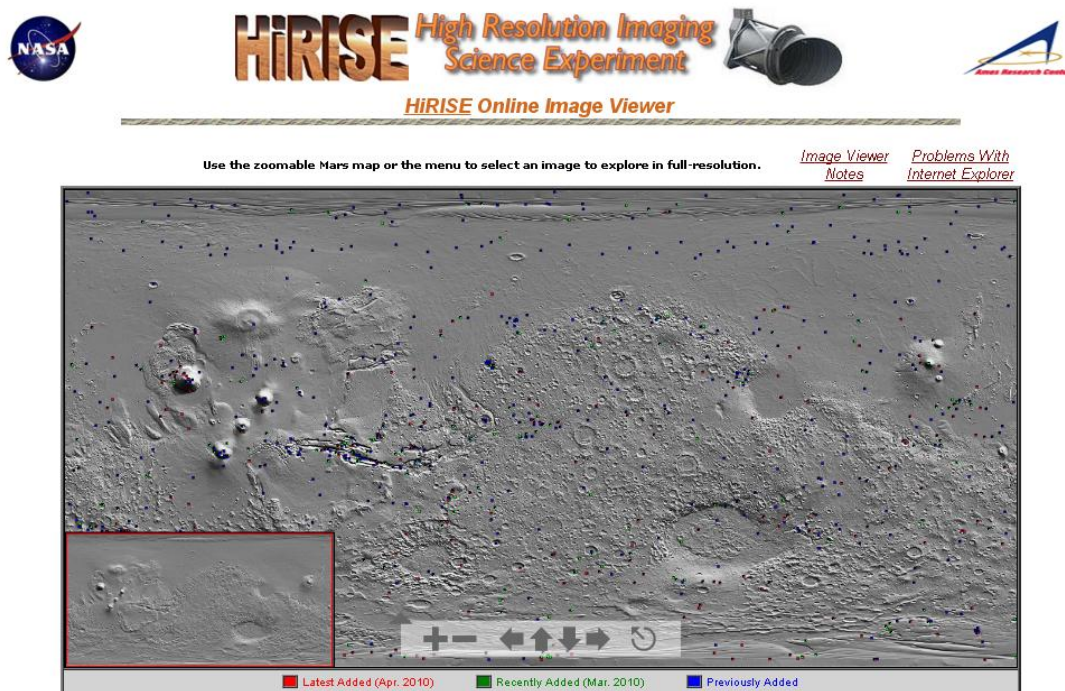
Con el fin de conocer el interior de Marte, para marzo del 2016 estaba prevista la misión "InSight" (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat transport) (<http://insight.jpl.nasa.gov/home.cfm>), pero debido a un problema de sellado del SEIS (Seismic Experiment for Interior Structure), un sismógrafo de alta precisión y sensibilidad, diseñado para medir movimientos del suelo tan minúsculos como el diámetro de un átomo, la NASA ha pospuesto su lanzamiento hasta el 2018, lo

que permitirá mejorar la misión (http://elpais.com/elpais/2015/12/23/ciencia/1450867429_024694.html) .

Los principales objetivos de nuestro trabajo son: 1) localizar lugares donde los terremotos tengan más probabilidad de suceder por medio de la observación de imágenes de alta resolución de Marte; 2) proponer lugares y mecanismos para la producción de sismos artificiales en Marte que puedan ser tenidos en cuenta en las próximas misiones y, 3) dar a conocer y valorar la importancia del estudio de los sismos en Marte.

MATERIAL Y MÉTODO

Se han utilizado las imágenes de la NASA obtenidas por el HiRISE (High Resolution Imaging Science Experiment), que es una cámara situada a bordo del Mars Reconnaissance Orbiter. Consiste en un Telescopio reflector que permite fotografiar con una resolución por encima de los 0,3 metros (<https://es.wikipedia.org/wiki/HiRISE>). La mayoría de las imágenes obtenidas por la HiRISE son de libre acceso y de muy alta resolución y pueden ser descargadas a través de la siguiente página web <http://hirise.lpl.arizona.edu/> perteneciente a la Universidad de Arizona y en la página: http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/.



También, se ha empleado el programa 3DEM Terrain Visualization, que es un software libre para windows, orientado a la visualización de datos en 3D, sobre todo de modelos digitales de elevación, conocidos por sus abreviaturas en castellano ,MDE, o en ingles ,DEM. Los formatos soportados son: USGS DEM, SRTM, GLOBE, Mars Viking

Orbiter, GEOTIFF, Terrain Matrix, GTOPO30 y Mars MOLA. El programa tiene utilidades para visualizar modelos digitales de elevación, permite trabajar con ellos y realizar numerosas operaciones, entre ellas la de exportar a otros formatos (USGS ASCII DEM, Geotiff y Terrain Matrix), capturar imágenes de pantalla, generar vistas en 3D, superponer imágenes a modelos 3D, creación de anáglifos, captura de vuelos en formato .avi y .mpg, cambio de coordenadas, etc. (<http://ggyma.geo.ucm.es/docencia/documentos/informatica/guia-3dem.pdf>). Como modelo en su utilización en Marte se tuvo presente el trabajo realizado por Eulogio Pardo Igúzquiza bajo el título de “MOLA la geología de Marte: construcción de un álbum de mega-formas geológicas de la superficie de Marte” <http://www.cienciaenaccion.org/es/2000/experimento-407/mola-la-geologia-de-marte-construccion-de-un-album-de-m.html>.

Finalmente, se ha recurrido a la diversa bibliografía existente sobre los seísmos artificiales en otros cuerpos celestes (ver apartado de referencias bibliografía) para la elaboración de nuestra propuesta para Marte.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las miles de imágenes que ha realizado la cámara HiRISE, se han estudiado más de trescientas de ellas (muchos de los puntos presentes en la página: http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/) y al final se han seleccionado 15 puntos con sus correspondientes imágenes (ver tabla, con los enlaces a dichos puntos), además la ordenación de los puntos viene determinada por los criterios empleados en su selección, siendo el punto primero (punto 1) el más prometedor para encontrar evidencias de terremotos y el 15 el menor.

La metodología seguida para seleccionar los puntos ha sido la búsqueda de lugares donde existieran al menos dos de las causas que pueden dar lugar a movimientos sísmicos (ver introducción), como ocurre por ejemplo en el punto 1 (Fosa de Cerbero, http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/TRA_000827_1875/), donde se aprecian la existencia de fallas, deslizamientos de bloques de rocas y cráteres de meteoritos. De forma secundaria, también se tuvo presente su localización, ya que sabemos que la mayoría de las sondas espaciales que se envían al exterior tienen que trabajar con paneles solares y, por tanto, es alrededor del “ecuador” de Marte, donde pueden ser más activos y funcionar mejor.

Teniendo presente los criterios anteriormente mencionados hemos obtenidos la siguiente lista (tabla 1):

Tabla 1. Lugares de Marte más idóneos para el estudio de evidencias de martemotos.

| Orden | Denominación del punto | Evidencias | Enlace |
|-------|--|---|---|
| 1º | <i>Cerberus Fossae</i> | Fracturas, hundimientos, desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/TRA_000827_1875/ |
| 2º | <i>Cerberus Fossae Fracture</i> | Fracturas, hundimientos, desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_004006_1900/ |
| 3º | <i>Fractures in Cerberus Fossae</i> | Fracturas, hundimientos, desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_009913_1910/ |
| 4º | <i>Small Secondary Craters</i> | Fracturas, hundimientos, desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_001342_1910/ |
| 5º | <i>Juncture of Two Branches of Dao Vallis</i> | Fracturas, hundimientos, desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_002545_1430/ |
| 6º | <i>(Almost) Silent Rolling Stones in Kasei Valles</i> | Desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_001640_2125/ |
| 7º | <i>Bright Gully Deposit in Terra Sirenum</i> | Desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_003252_1425/ |
| 8º | <i>Bacolor Crater Interior and Central Peak</i> | Desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_009677_2135/ |
| 9º | <i>Fresh 5-Kilometer Diameter Rayed Crater</i> | Desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/ESP_014265_1570/ |
| 10º | <i>Edge of Fan in Bakhuyzen Crater</i> | Desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/ESP_011382_1575/ |

| | | | |
|-----|--|--|---|
| 11º | <i>Iberus Vallis</i> | Desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_003637_2020/ |
| 12º | <i>Lineated Valley Fill and Lobate Debris Aprons in Deuteronilus Mensae</i> | Desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_009799_2205/ |
| 13º | <i>West Side of Ascræus Mons Caldera</i> | Desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_004820_1915/ |
| 14º | <i>Depression near Warrego Valles Uplands</i> | Desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_005967_1400/ |
| 15º | <i>Outcrops in Hellas Montes</i> | Desprendimientos y fracturas. | http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_006672_1420/ |

Nuestros resultados están de acuerdo con aquellos obtenidos por Robert *et al.* (2012) sobre paleomartemotos, indicando que en la falla de Cerbero (*Cerberus Fossae*) se han producido diversos movimientos sísmicos al estudiar la distribución de los bloques de rocas caídos en la fosa (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011JE003816/pdf>). Lo hemos seleccionado como punto 1, ya que en ese lugar es donde se conjugan el mayor número de causas que pueden producir movimientos sísmicos y se ha demostrado que se han producido martemotos. Además, la región de la Fosa Cerbero ha sido seleccionada por la misión InSight para colocar el primer sismógrafo (Taylor, *et al.* 2013, <http://research-information.bristol.ac.uk/files/32514303/13tayetal.pdf>). Nuevamente nuestros resultados confirman a la Fosa Cerbero como un lugar muy adecuado para detectar con bastante probabilidad los posibles martemotos.

También, hemos comprobado como otras regiones de Marte, también son propicias para el estudio y colocación de sismógrafos, como son el resto de los puntos de la tabla 1.

Debido a que la misión InSight ha sido pospuesta, esto permitiría replantearse la posibilidad de que fuese una sonda móvil, y que al menos pudiera llevar dos sismógrafos más, aunque no fueran de tanta precisión, pero si menos pesados. La presencia de tres sismógrafos situados en tres puntos muy distintos de Marte,

permitiría obtener una imagen mejor y ajustada del interior marciano y además, permitiría localizar fácilmente el lugar de origen de los movimientos sísmicos que se produjeran.

Sería una buena idea que las próximas naves o sondas que se enviasen a Marte pudieran generar seísmos artificiales en Marte, como ocurrió con la Luna (ver introducción), mediante el impacto directo de aquellos restos inservibles, sobre todo si las misiones van encaminadas a enviar humanos. Esto implicaría sondas muy complejas con una gran cantidad de módulos y algunos de ellos podrían ser empleados para generar martemotos artificiales. Una alternativa mucho más sencilla sería que en la nueva misión programa InSight no fuese una sonda fija sino que fuese móvil como el Curiosity y pudiese llevar distintas cargas explosivas que pudiera colocar en diversos puntos y hacerlas explotar.

Como alternativa a la misión InSight, plantearíamos la posibilidad de lanzar una sonda que se dividiera en otras tres pequeñas, cada una de las cuales llevaría un sismógrafo y diversos explosivos para generar seísmos artificiales.

Finalmente, hay que indicar por qué es tan importante el estudio de la sismología de Marte. Conocer la actividad tectónica y la estructura interna de Marte es fundamental y para ello el mejor y principal mecanismo que tenemos es el estudio de las ondas sísmicas. Su estudio nos permitirá descubrir muchos de los misterios que guarda Marte como por ejemplo el tamaño del núcleo de Marte, si este es de naturaleza líquida o sólida, la composición del manto o si existe cierta actividad tectónica. Toda esta información además, es clave para comprender la interesante historia geológica de Marte y averiguar si alguna vez fue un planeta que pudo albergar vida o que todavía perduró en forma de microorganismos. Incluso si quisiéramos realizar una terraformación de Marte el estudio sísmico sería de un gran valor (<https://es.wikipedia.org/wiki/Terraformaci%C3%B3n>). Por otra parte, si quisiéramos colonizar Marte, es fundamental conocer su actividad sísmica para poder establecer correctamente los primeros asentamientos.

CONCLUSIONES

Nuestros resultados ponen de manifiesto la importancia del estudio de los movimientos sísmicos para comprender y conocer la estructura interna y dinamismo de Marte.

Los mejores lugares para realizar los estudios sísmicos, son aquellos donde se localicen el mayor número de evidencias sísmicas como ocurre en la fosa Cerbero (*Cerberus Fossae*).

Las misiones móviles son mejores que las fijas, y una misión donde se pudieran situar tres sismógrafos, es mejor que la actual prevista en la misión InSight.

Finalmente, indicar que la generación de sismos artificiales puede ser la única posibilidad que tengamos para conocer el interior de Marte, ya que nos podríamos encontrar con un planeta tectónicamente muerto o poco activo.

REFERENCIAS

Artículos de investigación

- Lognonne, P., (2005). Planetary seismology. *Ann. Rev. Earth. Plan. Sci.*, 33, 571-604.
- Martel, L.M., (2012). Young Tectonic Events in Martian Chaotic Terrain. Study of a faulted landslide in *Aureum Chaos* and its ramifications. En <http://www.psrcd.hawaii.edu/Mar12/AureumChaos-Mars.html>
- Knapmeyer, M., Oberts, J., Hauber, M., Wahlish, M., Deuchler, C. and Wagner, R. (2006). Working models for spatial distribution and level of Mars' seismicity. *J. Geophys. Res.* 111.
- Taylor, J.; Teanby, N. A. & Wookey, J. (2013). Estimates of seismic activity in the *Cerberus Fossae* region of Mars, *J. Geophys. Res.* 118, 2570-2581.
- Taylor, J; Teanby, N.A. and Wookey, J. (2013). Seismic activity estimates for the *Cerberus Fossae* region of Mars and implications for the 2016 InSight mission. 44th Lunar and Planetary Science Conference. 1264 Pdf.
- Roberts, P.,G., Brian, M., Bristow, C., Guerrieri, L. and Vetterlein, J. (2012). Possible evidence of paleomarsquakes from fallen boulder populations, *Cerberus Fossae*, Mars. *Journal of Geophysical Research.*, 117, 1-17.

Libros

- Brunier, S., (2005). *Observar Marte. Descubrir y explorar el planeta rojo*. Ed. Larousse. Págs.80.
- Sagan, C. (2004). *Cosmos*. Ed. Planeta. Págs. 368.
- Ronan, C.A. (1982). *Los amantes de la astronomía. Exploremos el cielo con ojos de astrónomo y descubramos los secretos del Universo*. Ed. Blume. Págs. 192.

Páginas webs

- <http://www.rtve.es/noticias/20140922/sonda-maven-entra-orbita-marte-para-estudiar-atmosfera-del-planeta/1016060.shtml>
- <http://danielmarin.naukas.com/2015/10/17/los-aciertos-y-errores-de-the-martian-marte/>
- <http://danielmarin.naukas.com/2012/03/01/insight-la-ultima-sonda-marciana/>
- <http://www.martinoticias.com/content/nasa-marte-terremoto-jesus-rojas-/95608.html>

- <http://www.elnuevodia.com/ciencia/ciencia/nota/nasaestudiaraterremotosenmarte-2054218/>
- http://elpais.com/diario/2005/03/16/futuro/1110927602_850215.html
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Lunamoto>
- <https://the-moon.wikispaces.com/S-IVB>
- http://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2006/15mar_moonquakes/
- <http://lroc.sese.asu.edu/posts/364>
- <http://www.cienciaenaccion.org/es/2000/experimento-407/mola-la-geologia-de-marte-construccion-de-un-album-de-m.html>

AGRADECIMIENTOS

Queremos dar las gracias al Dr. Eulogio Pardo Igúzquiza, del Instituto Geológico y Minero de España, por la rapidez e interés prestando en todas nuestras propuestas, así como por todas sus sugerencias.