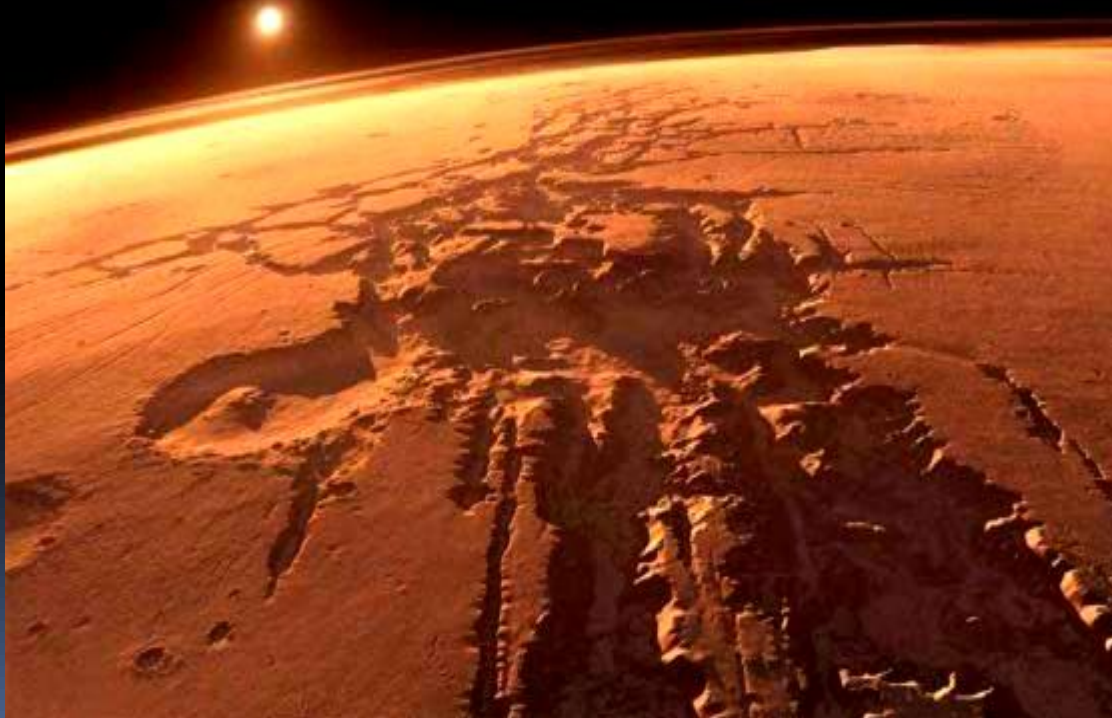


BUSCANDO EVIDENCIAS DE MARTEMOTOS Y PROPUESTA DE SEISMOS INDUCIDOS O ARTIFICIALES EN MARTE



Pioneers

Juan Antonio

Sánchez-Crespo Zamora

José Manuel López de la Oliva

Sánchez-Crespo

Tutor

José Luis Olmo Rísquez

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.

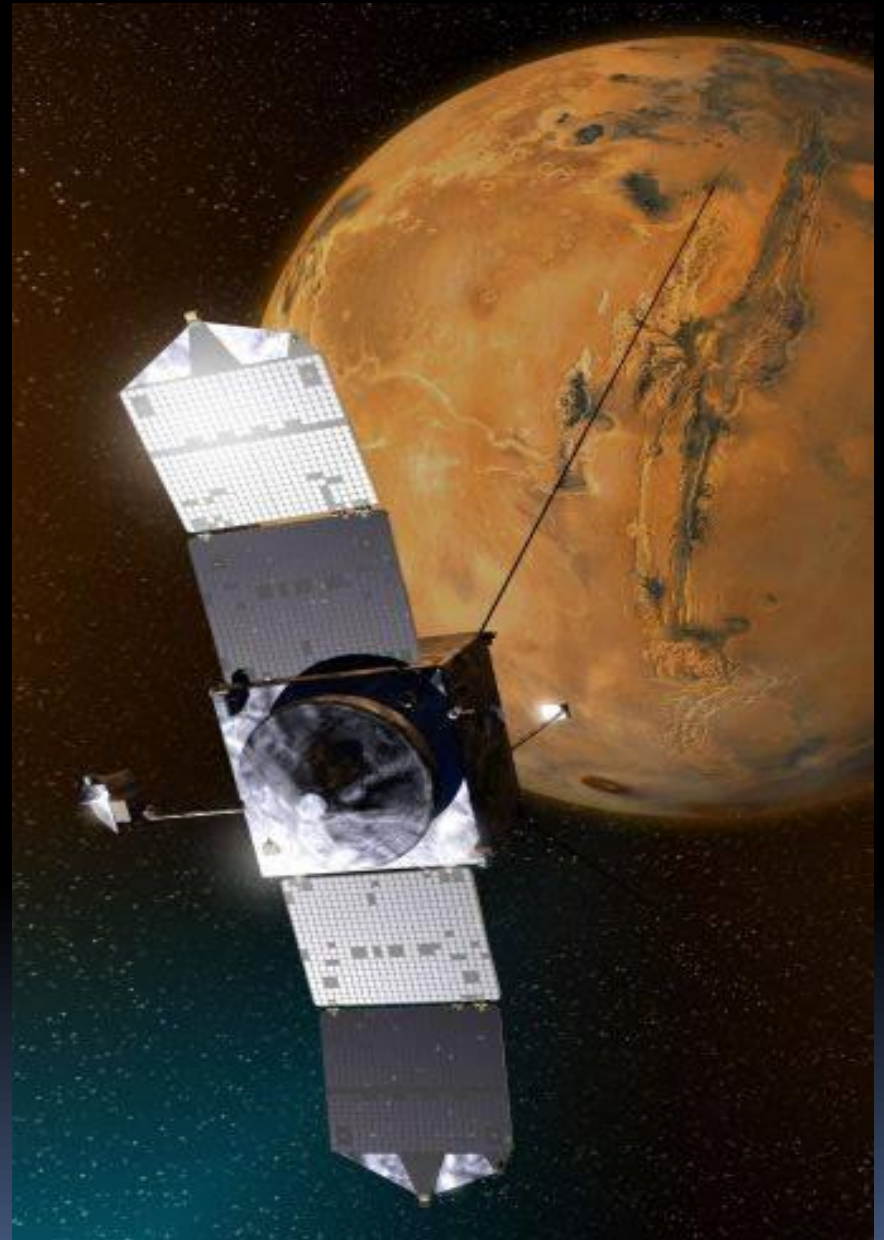


Ilustración de la sonda en órbita de Marte 'Maven', de la NASA.
/ NASA/GODDARD SPACE FLIGHT CENTER

INTRODUCCIÓN



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>

INTRODUCCIÓN

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

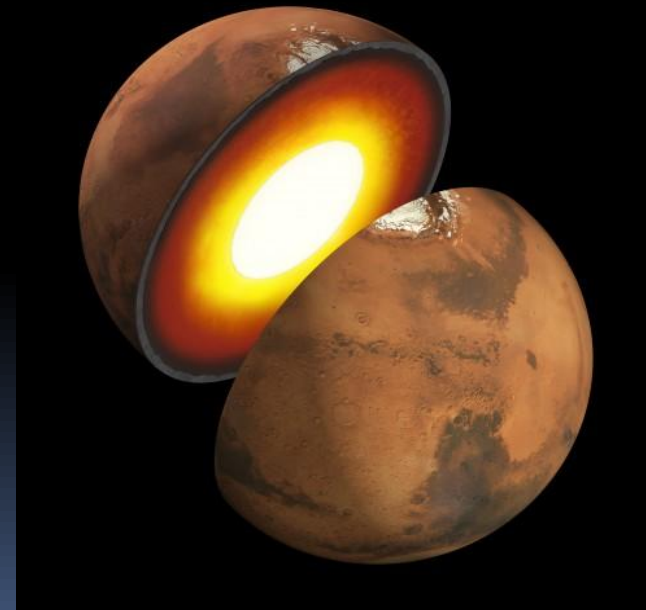
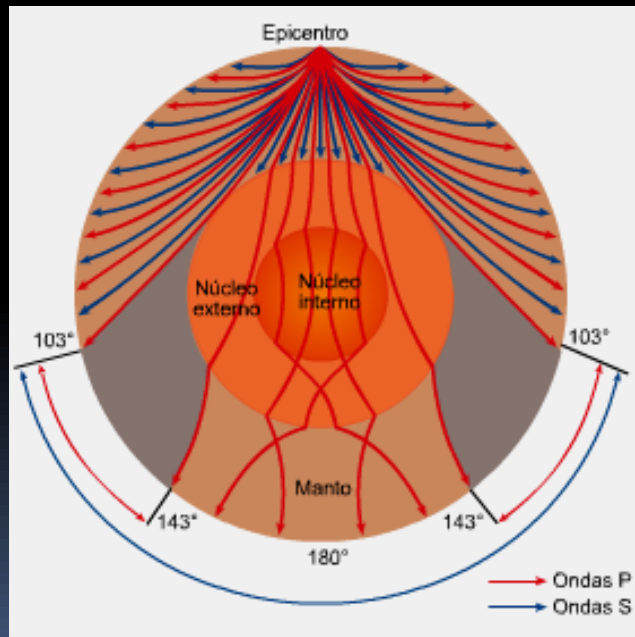


Imagen extraída de : <https://ponungeologentuvida.wordpress.com/tag/sismica/>

Imagen extraída de : <http://giaoduc.net.vn/Muc-cu/Khoa-hoc--Cong-nghe/Sau-Curiosity-NASA-se-phong-tau-tham-do-dia-chat-sao-Hoa-vao-nam-2016-post84232.gd>

INTRODUCCIÓN

Si queremos buscar evidencias de seísmos en otros planetas o satélites tendremos en primer lugar que conocer sus posibles causas. Estas pueden ser: (<https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto>).

Actividad volcánica



Imagen extraída de <http://biologiaelcampello.blogspot.com.es/2015/10/los-volcanes-que-es-un-volcan-es-una.html>

Desprendimientos de bloques de roca o hielo



Imagen extraída de: <http://www.masquealba.com/noticias/albacete/item/12016-gran-susto-por-desprendimientos-de-rocas-entre-alcala-del-jucar-y-la-recueja.html>

INTRODUCCIÓN

**Movimientos de la
tectónica de placas**



Fallas o fracturas



Imagen extraída de <http://siguealconejoblanc.com/viajeislandia/category/ring-road/>

Imagen extraída de <http://www.aytomiera.es/index.php/municipio/patrimonio/natural/fallas>

INTRODUCCIÓN

Impactos de meteoritos



Imagen extraída de : <http://www.aztecanoticias.com.mx/notas/tecnologia/100027/impacto-de-meteorito-provoco-cambio-climatico>

Variaciones bruscas en los ciclones



Imagen extraída de <http://musulmanesysismos.blogspot.com.es/>

Hundimiento de cavernas



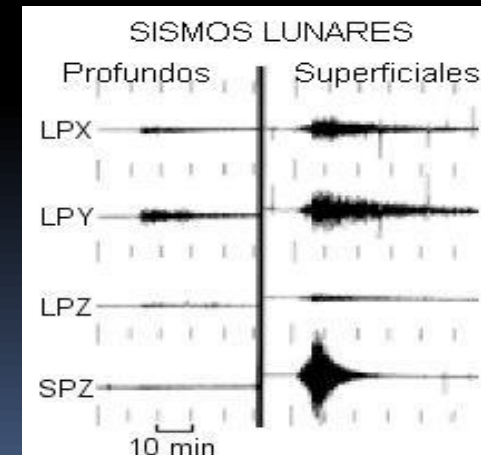
Imagen extraída de : http://lascavernas.blogspot.com.es/2011_06_01_archive.html

INTRODUCCIÓN

Los únicos datos que tenemos sobre seísmos en otros cuerpos celestes, 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).

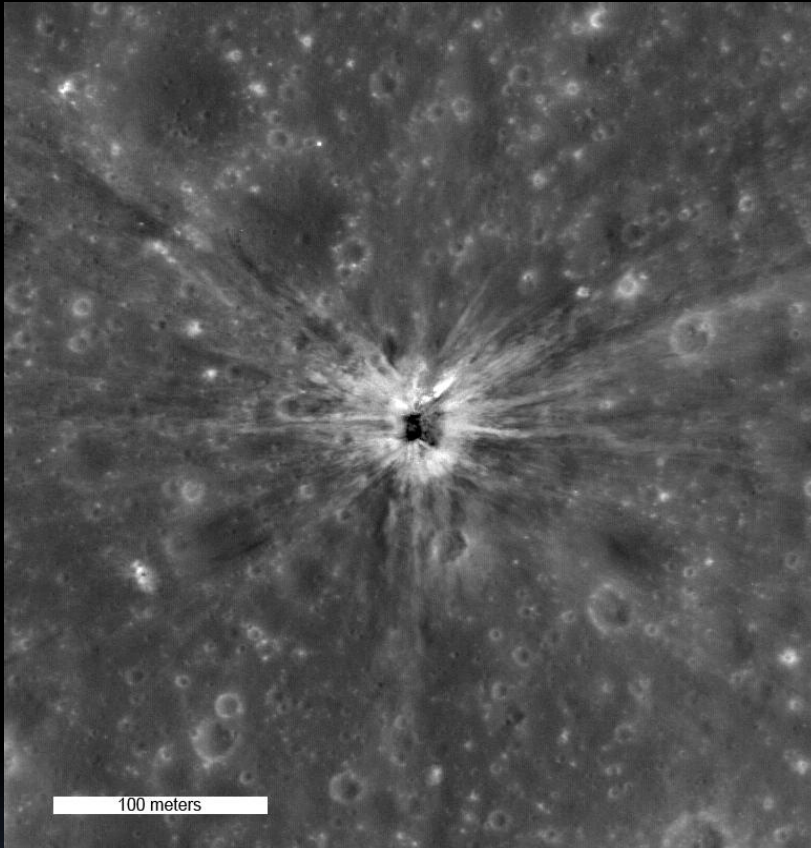


Estación sísmica del Apolo 12. (Imagen de la Nasa)



Sismogramas lunares. (Imagen de la Nasa)

INTRODUCCIÓN



En abril de 1970 el módulo Saturno IVB del Apolo 13 impactó en el Mar Cognitum produciendo un cráter de unos 30 metros diámetro visible en LROC NAC imagen M109420042LE [NASA/GSFC/Arizona State University].

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 del la zona de los Mar Cognitum ocasionando seísmos artificiales que fueron registrados.

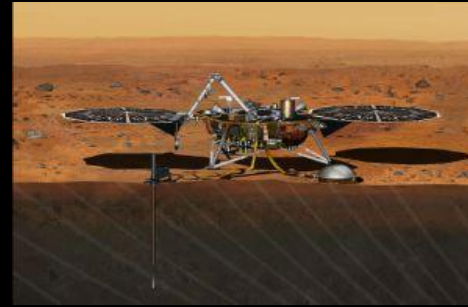
[https://the-moon.wikispaces.com/S-IVB#S-IVB%20\(or%20S-4B\)](https://the-moon.wikispaces.com/S-IVB#S-IVB%20(or%20S-4B))

INTRODUCCIÓN

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, 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) .



La sonda espacial 'InSight', de la NASA, durante un ensayo de los paneles solares en los talleres de Lockheed-Martin, en Denver (EE.UU.) / NASA/JPL-CALTECH/LOCKHEED-MARTIN

OBJETIVOS



Los principales objetivos de nuestro trabajo son:

- (1) Localizar lugares donde los martemotos 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 seísmos artificiales en Marte que puedan ser tenidas en cuenta en las próximas misiones.
- (3) Dar a conocer y valorar la importancia del estudio de los seísmos en Marte.

MATERIAL Y MÉTODOS



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>).

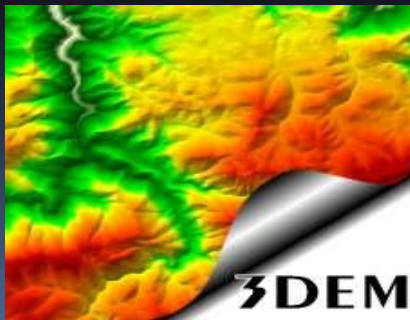
MATERIAL Y MÉTODOS

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/.

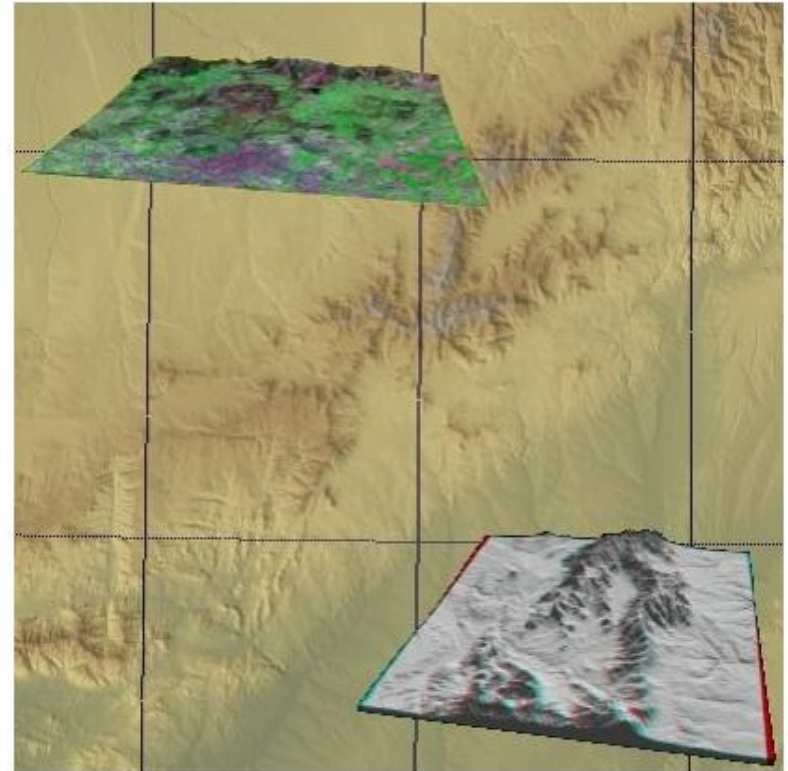


MATERIAL Y MÉTODOS

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. Los formatos soportados son: USGS DEM, SRTM, GLOBE, Mars Viking Orbiter, GEOTIFF, Terrain Matrix, GTOPO30 y Mars MOLA



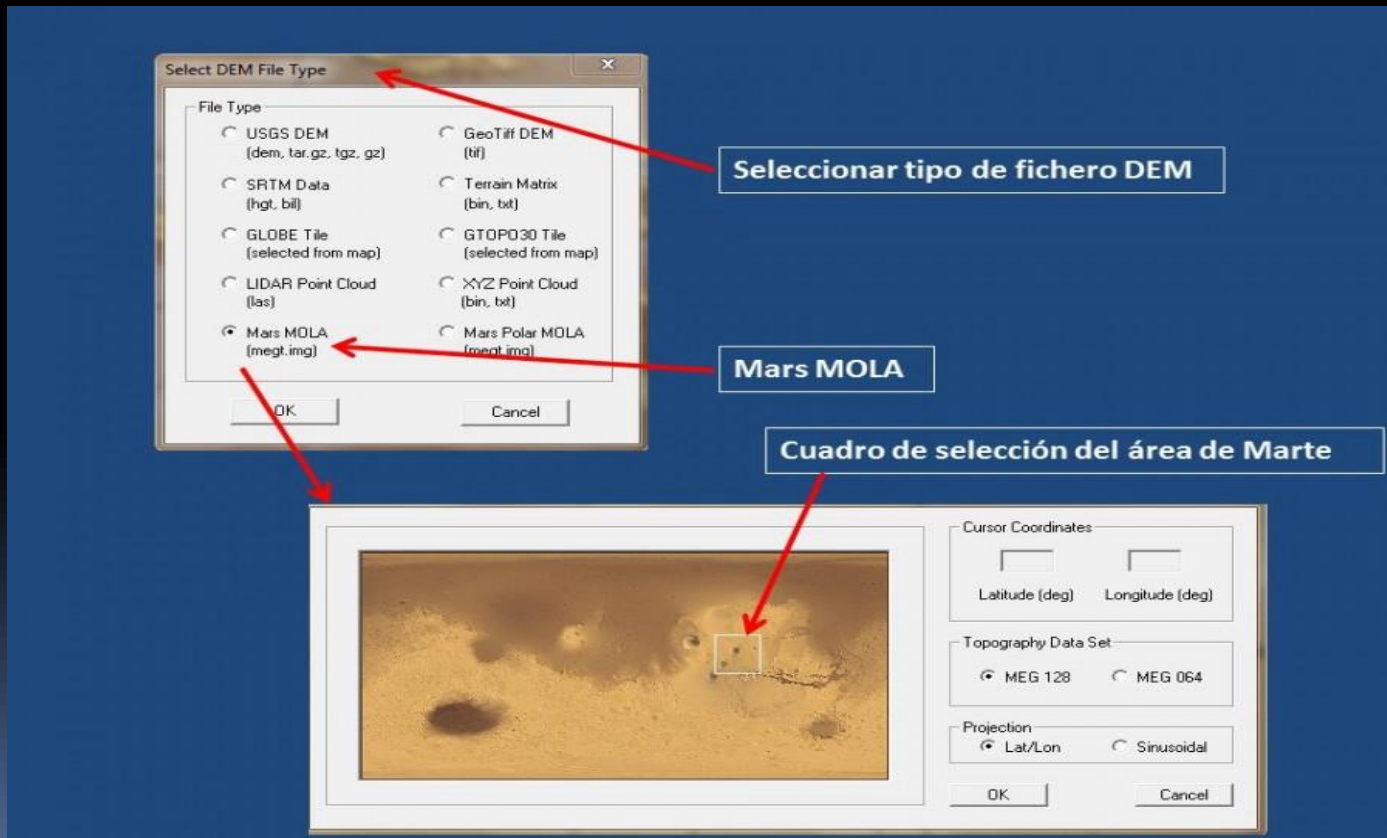
MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN PARA TODOS LOS PÚBLICOS



MANUAL DE 3DEM

MATERIAL Y MÉTODOS

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>.

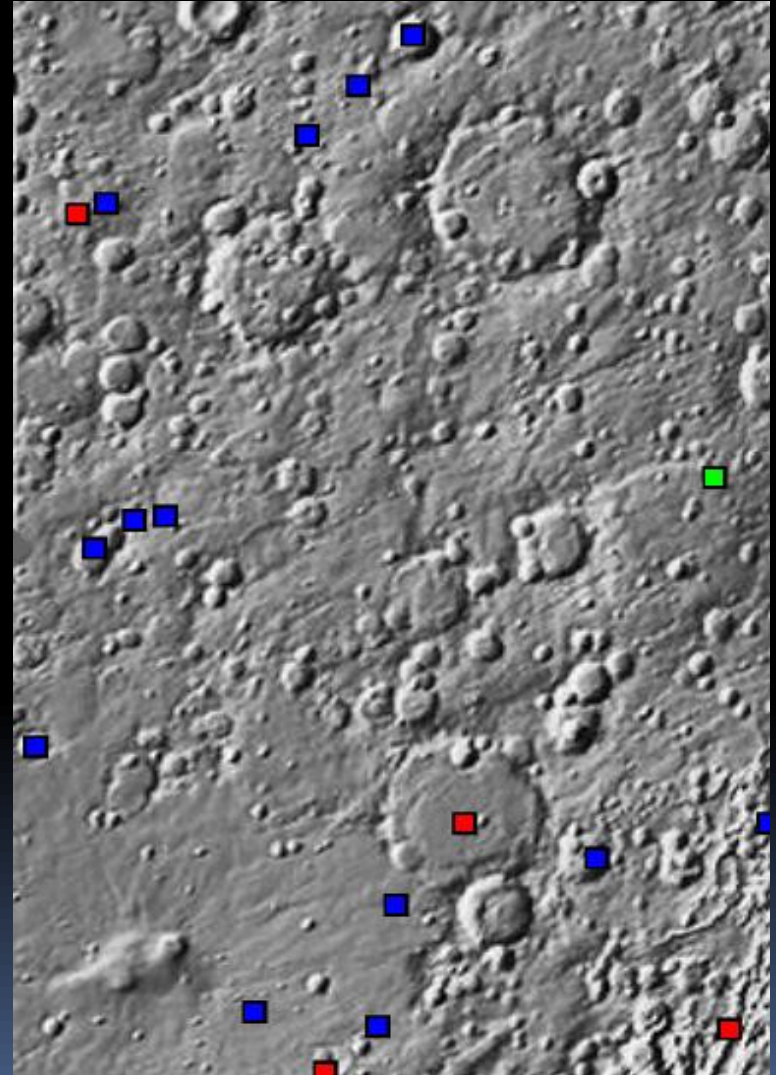


RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han analizado más de trescientos puntos de los presentes en la página:

http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/

y 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.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

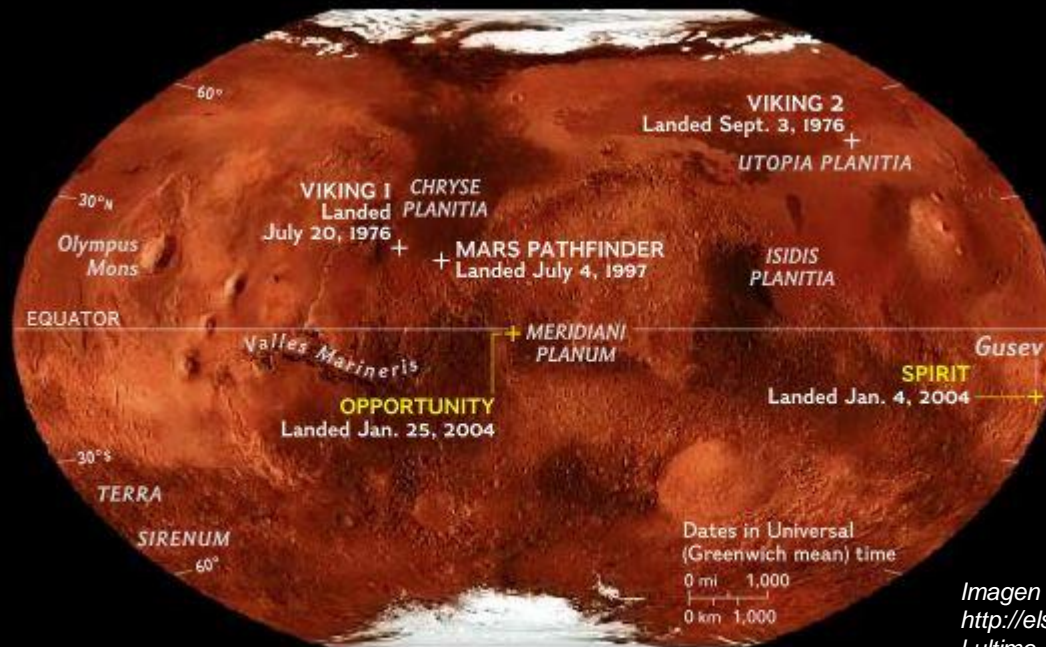


Imagen extraída de:
<http://elsofista.blogspot.com.es/2011/05/e-l-ultimo-panorama-marciano-del-spirit.html> Crédito: National Geographic

© 2005 National Geographic Society. All rights reserved.

La selección de los puntos se basó en la presencia en dichas zonas de al menos dos de las causas que puedan dar origen a movimientos sísmicos. También, se tuvo presente su localización dentro de Marte, eligiendo mayoritariamente aquellos puntos más cercanos al “Ecuador” marciano, debido a que las sondas espaciales suelen trabajar con paneles solares y por tanto, es en estos lugares pueden recibir más radiación luminosa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

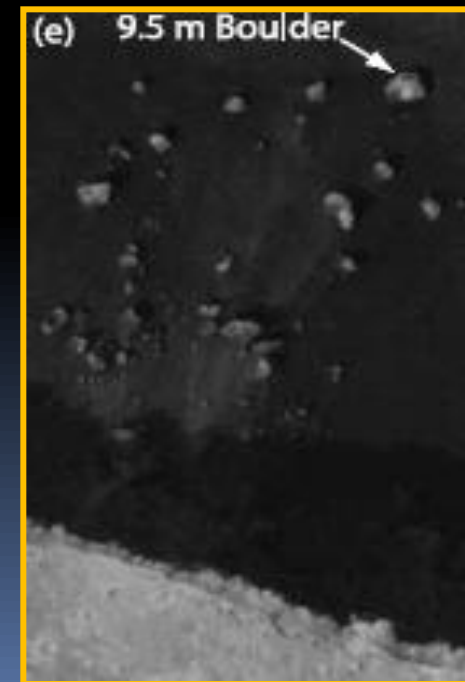
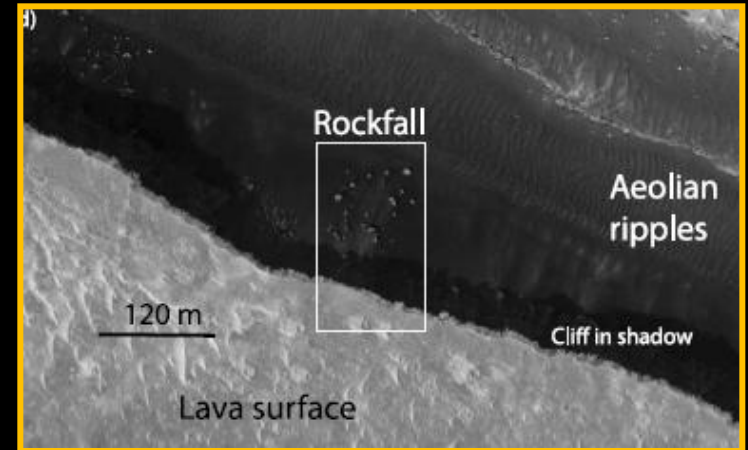
Orden	Denominación del punto	Evidencias	Enlace
1º	<i>Cerberus Fossae</i>	Fracturas, hundimientos, desprendimientos de de rocas y cráteres de meteoritos.	http://marsoweb.nas.nasa.gov/HIRISE/hirise_images/all_images/TRA_000827_1875/
2º	<i>Cerberus Fossae Fracture</i>	Fracturas, hundimientos, desprendimientos 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 Bakhuisen 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 Ascraeus 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/

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha seleccionado como el punto más idóneo (el punto 1) Fosa de Cerbero,

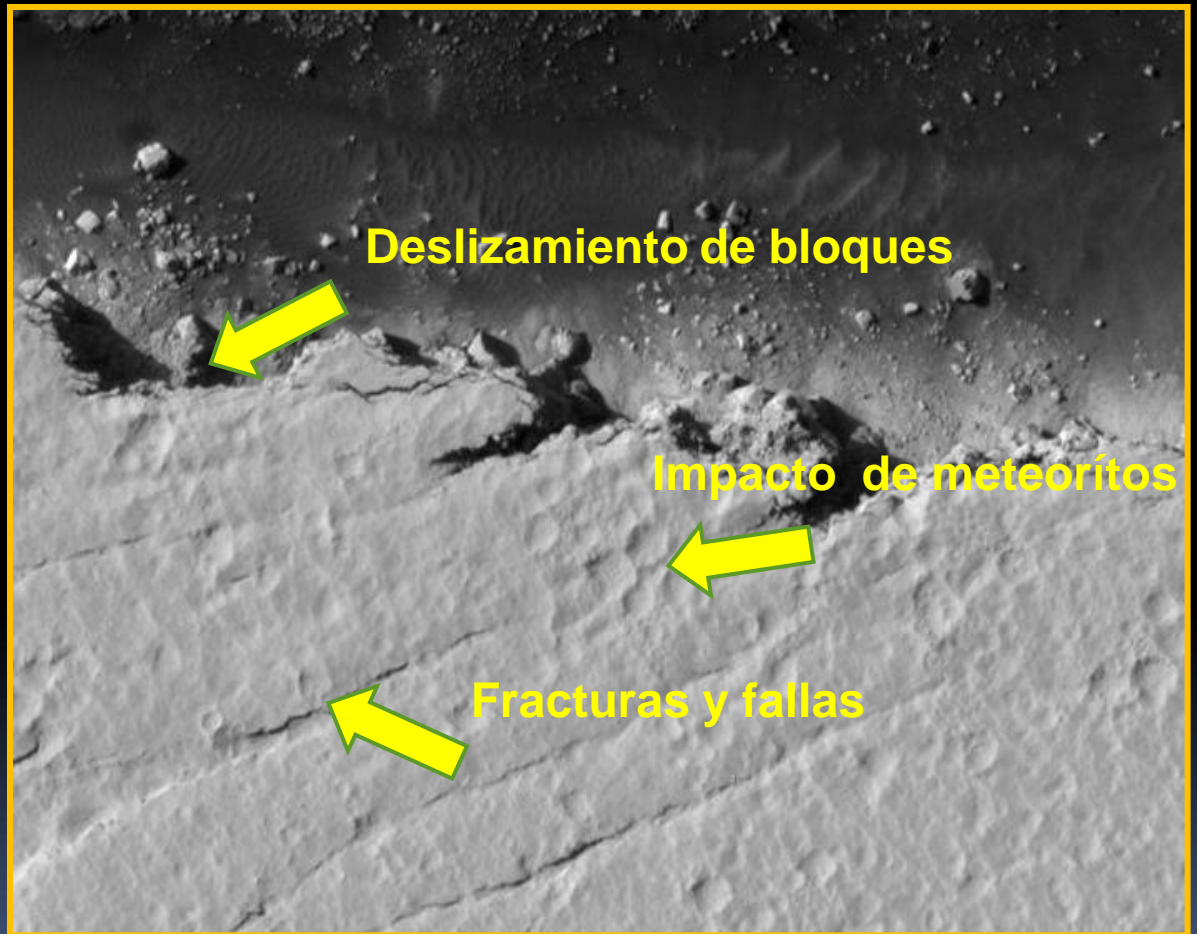
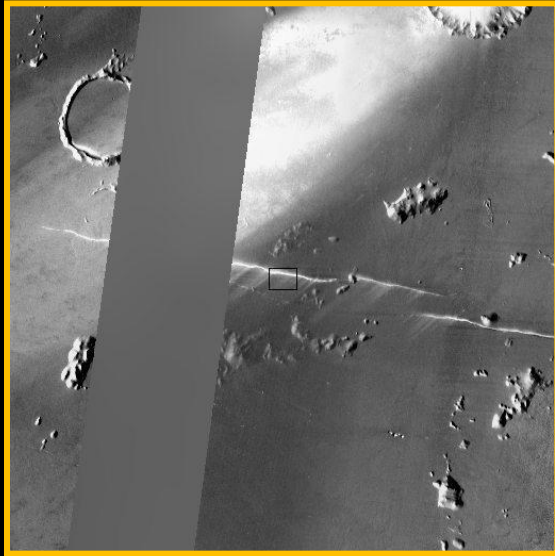
http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/TRA_000827_1875/, porque en dicho punto se aprecian al menos tres causas de movimientos sísmicos. Además, Robert *et al.* (2012) al estudiar los paleomartemotos, determinó que en *Cerberus Fossae* se han producido diversos movimientos sísmicos al estudiar la distribución de los bloques de rocas caídos en la fosa (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2011JE003816/pdf>).

Por otra parte, esta región ha sido seleccionada por la misión InSight para colocar el primer simógrafo (Taylor, *et al.* 2013, <http://research-information.bristol.ac.uk/files/32514303/13tayetal.pdf>).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TRA_000827_1875
Cerberus Fossae



http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/TRA_000827_1875/

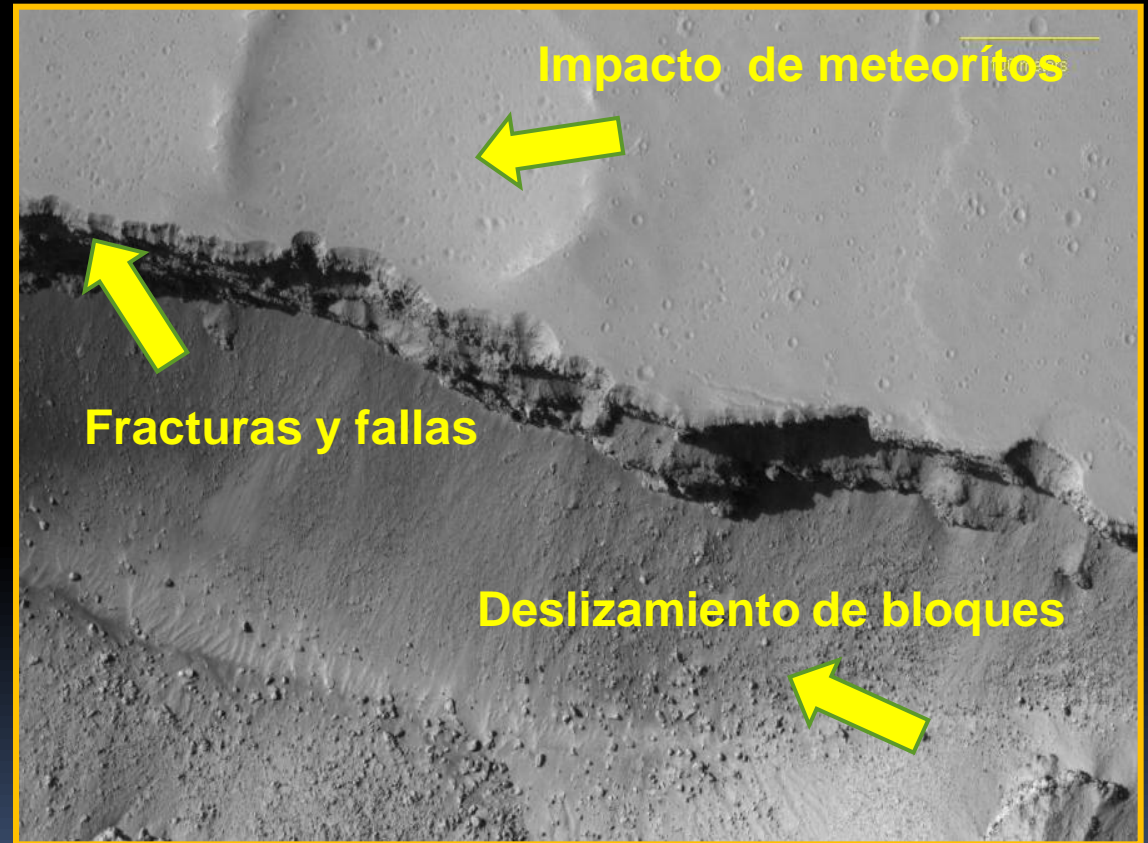
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Otros puntos seleccionados



Fractures in *Cerberus Fossae*

HiRISE Image PSP_009913_1910 (Center Lat, Lon °E: 11.04, 155.44)



http://marsoweb.nas.nasa.gov/HiRISE/hirise_images/all_images/PSP_009913_1910/

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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.

SONDAS



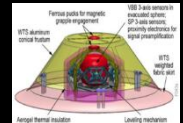
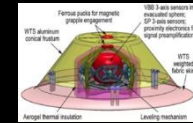
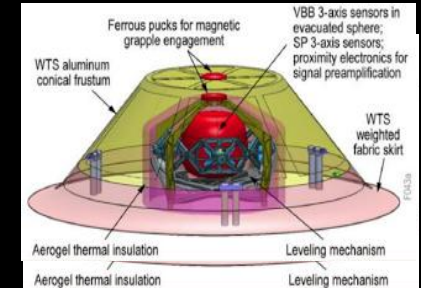
Fija



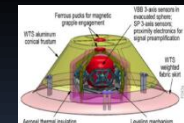
Móvil

SISMÓGRAFOS

1



3



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una buena idea sería que las próximas naves o sondas que se enviaran a Marte pudieran generar seísmos artificiales en Marte, como ocurrió con la Luna, 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.



Restos de sondas similares al modulo S-IVB de Saturno para generar martemotos artificiales. (Foto NASA)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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.

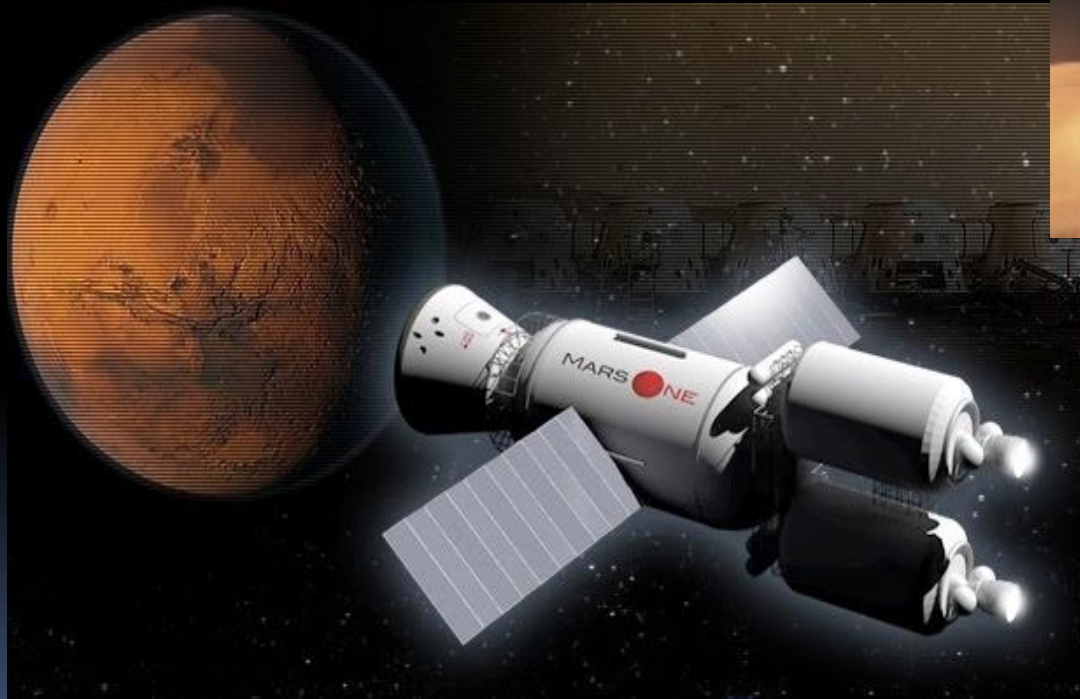


Imagen extraída de <http://www.777noticias.com/search?updated-max=2014-01-04T13:31:00-08:00&max-results=20&reverse-paginate=true>



Imagen extraída de
<https://www.youtube.com/watch?v=RSkg6aT3xrA>

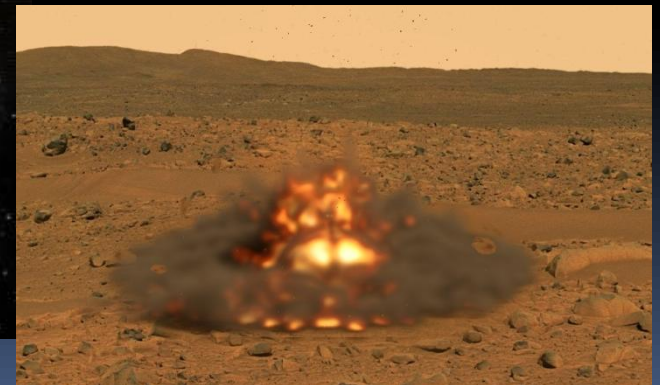


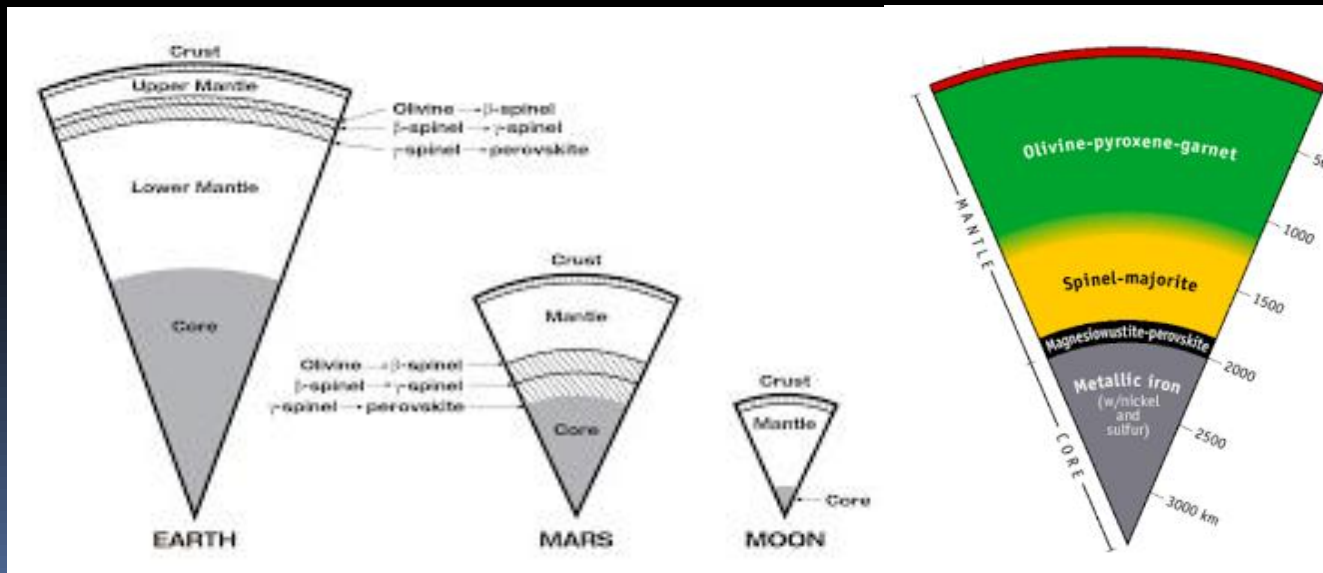
Imagen extraída de
<http://www.creacionesblender.com/2013/07/explosion-en-el-planeta-marte-en.html>

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

¿Por qué es importante estudiar la sismología de Marte?

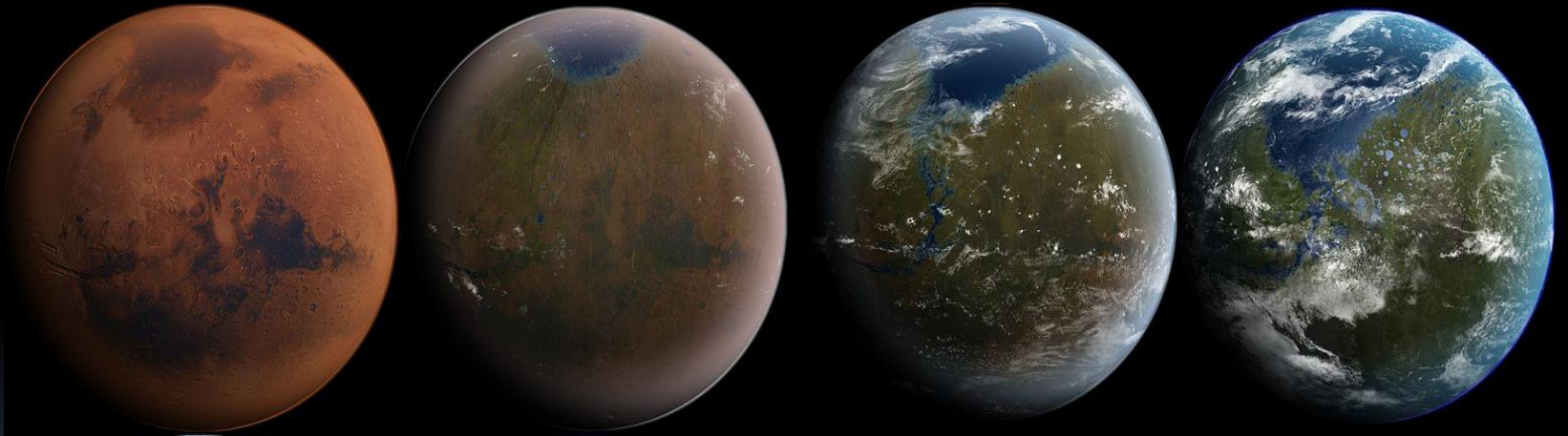
Conocer la actividad tectónica y la estructura interna de Marte es fundamental y para ello el mejor y principal mecanismo que tenemos es el estudio de las ondas sísmicas.

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.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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.



Terraformación de Marte <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 seísmos 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

- 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 Fosae 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.

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 generosas sugerencias.

