

ESTRUCTURA DEL CRÁTER *CALAHORRA*, MARTE

por

Carlos Martín Escorza*

Resumen

El cráter de impacto marciano *Calaborra* presenta rasgos comunes con la mayoría de los cráteres de este tamaño (unos 30 km de diámetro) presentes en la superficie de dicho planeta: bordes elevados según al menos tres anillos de cordilleras concéntricas; un fondo complejo con elevaciones en el centro; y estructuras lobuladas de derrames que o bien se formaron con intervención de 'fluidos' o quizás solo por movimientos intra granulares de la rocas trituradas por el impacto.

Se expone aquí la posibilidad de que en su área central se haya puesto en juego después del impacto una falla de tipo inverso que posiblemente modificó la estructura central produciendo varios picos centrales en vez de uno sólo como es habitual en cráteres de este tamaño.

Palabras clave: Cráter *Calaborra*, Marte, estructura de impacto.

Abstract

The impact crater *Calaborra* has features in common with most of the craters of this size (some 30 km in diameter) present on the Martian surface: edges raised by at least three elevated alignment concentric concavity complex with peaks in the middle, and structures lobed spills or formed with the involvement of 'fluid', or perhaps only by movements of the intra granular crushed rocks from the impact.

Is discussed here the possibility that, after impact, put into action in a dynamic tectonic central area was a reverse fault type with SW-NE direction. Possibly the fault modified the structure producing several central peaks instead of one as usual only in craters of this size, also shifts slightly the edges of the crater.

Keywords: *Calaborra* crater, Mars, impact structure.

* Departamento de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC.
escorza@mncn.csic.es

INTRODUCCIÓN

Los datos morfológicos obtenidos hasta ahora de la superficie de Marte desde el lanzamiento desde los primeros fotogramas enviados por el Mariner 4 en 1965 y luego por medio de diversos ingenios hacia sus proximidades, varían en su resolución y nitidez que en algunas áreas alcanzan la de 40 m. Las imágenes disponibles de la zona del cráter *Calahorra* provienen de los Mars Global Surveyor, Viking Orbiter y MOLA. La información obtenida con todo ello ha permitido elaborar una cartografía básica de los rasgos morfológicos y geológicos marcianos, sobre los que se han superpuesto mallas de sistemas de referencia en coordenadas tanto en grados sexagesimales como en UTM. También se han elaborado un conjunto de denominaciones y nomenclaturas para identificar por nombres propios los muy diversos accidentes que se están encontrando, labor que se hace a través de comisiones internacionales y que tienen la doble finalidad de asignar esos nombres, y de hacerlo según la loable y elemental razón, aplaudida por todos, de que cada nueva denominación cuente con el consenso universal, teniendo en cuenta así todas las percepciones culturales, lo cual garantiza su permanencia¹. Para ello se elaboraron diversas normas cuyo extracto se puede ver por ejemplo en Bastón y Russell, (1995). Un miembro de una de dichas comisiones que forman el International Astronomical Union Working Group for Planetary System Nomenclature, es el geólogo estadounidense James Rice, profesor de la Universidad del Estado de Arizona. Y él fue quien propuso denominar a un cráter de Marte como *Calahorra* recordando sin duda que su bisabuelo materno, Felipe Jiménez Obanos, nació en ésta ciudad riojana emigrando después a Estados Unidos².

El cráter *Calahorra* de Marte es el objeto de éste estudio. Es una estructura circular de unos 30 km de diámetro cuyo centro de halla a una latitud de 26,5° N y longitud de 321,3° W, según los datos que enviados 'Jim'. El cráter tiene su origen en el impacto que aconteció allí al chocar sobre la superficie marciana un asteroide, y es uno de los más destacados por su tamaño y buena conservación en la región donde se encuentra, la llamada Chryse Planitia. Dicha área se encuentra dentro de la cuadrícula UTM R24 (NASA/JPL/University of Arizona).

1. Un ejemplo de la variación de esta nomenclatura en la Luna a lo largo de la historia puede verse en Paluzié Borrell, A. Formaciones lunares con nombres españoles, y en Ruiz Morales, M. Representación cartográfica de la Luna.

2. CINCA MARTÍNEZ, J.L., GONZÁLEZ OCHOA, J.M. Calahorra.

Los mapas ya elaborados de la geología marciana indican que *Calahorra* se encuentra sobre la unidad Hch considerada por Scott y Tanaka³ constituida por materiales arrastrados por un complejo conjunto de canales que debían proceder del NE. Es un cráter que por sus rasgos generales cae dentro de los 'Cp' de los tipos diferenciados por Crumpler, Craddock y Aubele⁴. El choque entre Marte y el asteroide que produjo el *Calahorra* debió acontecer durante los tiempos geológicos marcianos denominados Amazonian y Hesperian⁵.

El objetivo de éste estudio es mostrar los rasgos morfológicos que con los datos actualmente disponibles pueden ser definidos en *Calahorra* e intentar llegar a su mejor conocimiento.

METODOLOGÍA

La obtención de los datos y observaciones para éste estudio han estado basados en las imágenes y herramientas suministradas por NASA/JPL/University of Arizona, disponibles a través del software Google en su apartado 'Mars' y que son asequibles a través de Internet. Estas imágenes tienen una resolución muy variables que afecta también a *Calahorra* y áreas próximas.

Para satisfacer los objetivos se ha seleccionado un área rectangular de 160x104 km² centrada en el *Calahorra* en la cual se ha superpuesto una malla con los nudos distanciados 0,025° tanto sobre los meridianos como en los paralelos, entre las latitudes de 25,700° N y 27,500° N, y las longitudes de -40° W y -37° W, es decir una malla de celdas rectangulares de unos 1.300 m de lado en la dirección WE y unos 1.420 m en la dirección NS. En cada uno de sus 8.832 nodos de cruce se han tomado las referencias sexagesimales de longitud, X, latitud Y y altitud Z. Todas ellas han sido tratadas con el software 'Surfer' en su versión 8 para obtener el mapa de su topografía por kriging.

3. SCOTT, David H. and TANAKA, Kenneth L. *Geologic map of the western equatorial region of Mars*.

4. CRUMPLER, L. S., CRADDOCK, R. A. and AUBELE, J. C. *Geologic Map of the MTN 25047 and 20047 quadrangles central Chryse Planitia Viking 1 lander site, Mars*.

5. TANAKA, Kenneth L., SKINNER, James A. and HARE, Trent M. *Geologic Map of the northern plains of Mars*

RESULTADOS

Calaborra presenta todas las características de un cráter formado durante el proceso extraordinariamente rápido del impacto de un asteroide sobre la superficie de Marte. Es una concavidad con forma circular y con un borde complejo constituido por varias elevaciones y depresiones alternantes, todas ellas concéntricas; y en su centro hay al menos un pico cónico que se eleva del fondo. Además, como otros muchos cráteres marcianos de este origen, presenta en todo su perímetro un derrame constituido por lóbulos que en forma de pétalos irradian de la depresión hacia fuera.

Tomando como referencia sus límites más externos el cráter tiene un aspecto marcadamente circular, pero haciendo uso de los herramientas del software se obtienen diámetros con dimensiones variables según en que orientación se tomen las medidas. Y así, en la dirección NS el resultado es de 32,8 km; en la OE se obtiene 34,7 km; según la NE-SW la dimensión es de 33,1 km; y en la NO-SE de 33,1 km. Variaciones que tienen inherentes, desde luego, tanto los errores propios del software, la nitidez de la imagen y la del propio analista, pero que dan una idea acerca de la obvia irregularidad que cabe esperar en cualquier fenómeno natural y más de este tipo y con estas dimensiones y que acontecen sobre un terreno inhomogéneo, quizá con impacto de un asteroide a su vez con forma irregular y de constitución asimismo no homogénea.

Según mis observaciones el centro del cráter se encuentra en el meridiano de $38,750^{\circ}$ W y entre los paralelos de $26,450^{\circ}$ N y $26,425^{\circ}$ N. La altitud mínima cerca de su centro, de -5.048 m en el punto de coordenadas $38,600^{\circ}$ W y $26,600^{\circ}$ N, la altitud máxima se halla en la zona del borde del cráter, con un valor de -1.070 m y en las coordenadas $38,500^{\circ}$ W y $26,600^{\circ}$ N. Ambos límites extremos de altitud se encuentran pues en el mismo paralelo y a sólo una distancia entre ellos de unos 5.200 m, lo cual refleja la complejidad que debe tener su fondo. (fig 1)

Borde del cráter

Calaborra presenta un borde que está compuesto por al menos tres alineaciones circulares estrechas, concéntricas y discontinuas que alternan con depresiones alargadas y subparalelas, asimismo concéntricas, con forma elíptica irregular con sus ejes mayores variables de unos 8 km de eje mayor y de 1,5 km de eje menor. Este conjunto complejo y no regular de elevaciones y depresiones concéntricas forman un borde poco nítido que contribuye también a la variabilidad antes señalada que se observa en las dimensiones diametrales. El conjunto del borde tiene una anchura

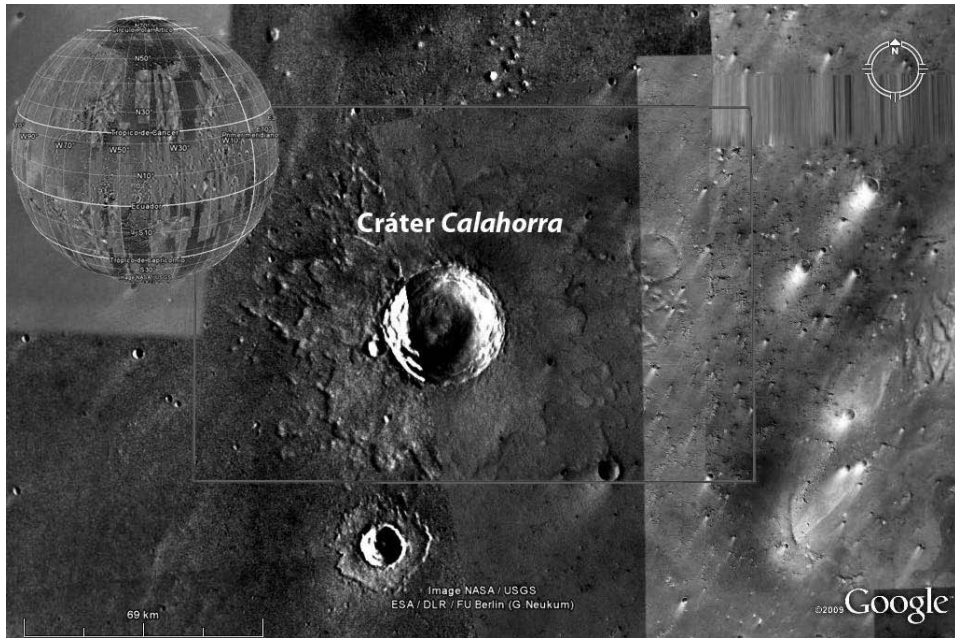


Figura 1.- Vista general de la situación del cráter de impacto *Calahorra* en al superficie de Marte. Se ha enmarcado el área en al que se han obtenido los datos de altitud para la obtención de las figuras 2 y 3.

variable entre los 3 a 6 km, y se localiza entre las altitudes de -4.500 m a los -3.300 m, estos últimos ocupando ya posiciones del interior.

Picos centrales

Algunas estructuras que tienen su origen en grandes impactos muestran en su parte central un pico que se eleva desde su fondo más profundo. En el caso de *Calahorra* la imagen disponible no deja ver bien como es ese pico, pero por los datos de altitud que se registran al recorrer su área central se detectan hasta cuatro puntos con altitudes por encima de la profunda concavidad. En efecto, por entre los valores del fondo se detectan en el marcador los valores de -4.022 m, -4.121 m, -4.117 m y el de -4.173 m que responden a la existencia en dicha zona en general profunda de unas elevaciones cónicas que indican que se trata de al menos cuatro picos, no de uno sólo.

Lóbulos marginales externos

Otro rasgo que presenta *Calahorra* es el de la existencia en su exterior más cercano de unas estructuras lobuladas con claro aspecto de haberse derramando desde su

interior radialmente hacia fuera, dando lugar a una disposición de masas rocosas ya sólidas pero que están configuradas por formas de pétalos de una flor radial y centrífugamente. Rodean a toda el perímetro más externo del cráter y los extremos de los pétalos llegan a distancias variables: desde el centro hacia el N hasta los 50 km; hacia el E llegan 41 km; hacia el S alcanza su extremo a los 38 km; y hacia el oeste 42 km. (fig 2)

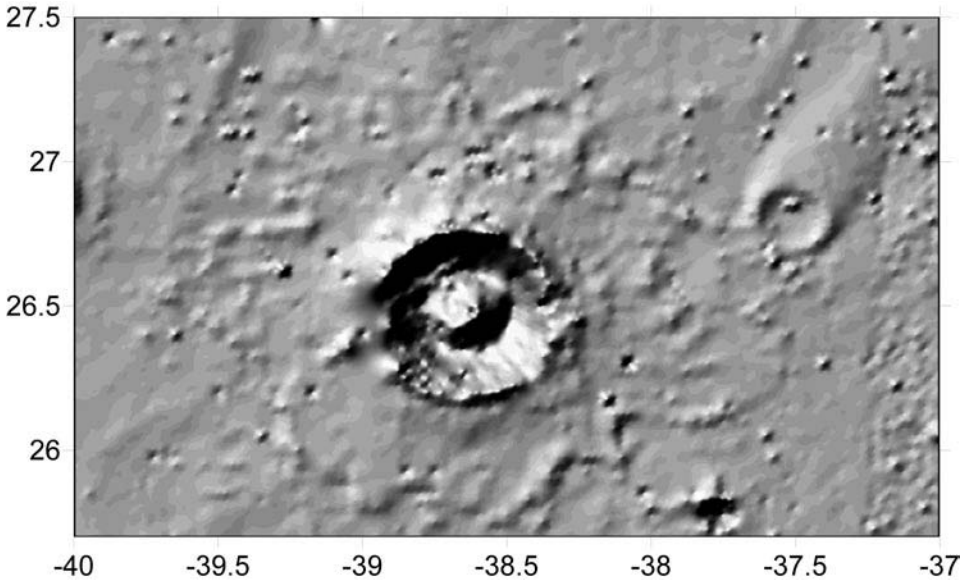


Figura 2.- Mapa de la zona rectangular de Marte rectangular que con dimensiones de unos 156 km y 102 km tiene en el centro el cráter de impacto *Calaborra*. El norte está hacia arriba y los grados en la longitud son hacia el oeste; los de latitud hacia el norte. Se ha obtenido midiendo la altitud sobre 8.832 puntos correspondientes a los nodos de una malla rectangular distanciados $0,025^\circ$ en la dirección NS y en la WE. Este voluminoso conjunto de datos se ha sometido al tratamiento por *kriging*.

Para *Calaborra* no parece que se trate de un derrame centrífugo único, pues en la imagen da la impresión de que algunos de los pétalos se superponen a otros, indicando con ello que existieron varios derrames, distanciados un cierto tiempo pero sin poder precisar ese intervalo que pudo haber sido muy pequeño. El conjunto de todos esos lóbulos forma un manto rugoso casi circular distanciados unos 50 km de su centro que rodea todo el exterior del cráter, con un espesor que debemos suponer variable y decreciente hacia sus extremos más distanciados. En las áreas más alejadas de su centro es precisamente donde se puede medir su diferencia de altitud respecto a la general de la planicie en la que se encuentra. El aspecto de su

final debe ser el de una gran pared vertical o casi vertical de unos 100 m de alto. Una impresionante muralla natural que emerge de la superficie llana de la Chryse Planitia.

Las estructuras lobuladas alrededor del cráter *Calahorra* no son exclusivas de él, se encuentran en casi todo Marte según una distribución general que es muy irregular, con áreas en las que abundan con profusión y otras que sólo se exhiben de vez en cuando⁶.

Estos derrames ‘fluidizados’ alrededor de los cráteres de Marte no son exclusivos de éste planeta, pues también se han identificado en Venus⁷. Aunque las características y gran frecuencia con que se presentan en Marte han hecho considerarlas como uno de sus rasgos peculiares⁸.

El impacto producido por el asteroide en la superficie de Marte para formar el cráter *Calahorra* expulso los materiales que ocupaban lo que ahora es una oquedad más alguna parte de la masa del mismo asteroide. Esos productos rocosos triturados se irradiaron como proyectiles hacia el exterior del centro de impacto acumulándose lógicamente según sus tamaños (los mayores en los lugares más próximos) alcanzando los más pequeños varios kilómetros de distancia al menos de 50 pues hasta allí se identifican los derrames ‘fluidizados’. En las proximidades del cráter se acumularon formando en su borde elevaciones (fig 3) progresivamente van perdiendo espesor hasta enlazar con la planicie general que rodea y domina el paisaje.

DISCUSIÓN

La presencia de las estructuras ‘fluidizadas’ se interpretaron, ya desde los inicios de su puesta en evidencia, que en su formación habrían intervenido ‘fluidos’ hubiera sido gases o líquidos⁹ interpretándose todo ello como que en el momento del impacto del asteroide en esos puntos el basamento se encontraba en un estado reológico de baja viscosidad, bien por la presencia de volátiles o por estar sólidos

6. THOMAS, Pierre G. and MASSON, Philippe L. Martian fluidized crater distribution: tectonic implications

7. LOWMAN, Paul D., JOHSON, K. S., CAMPBELL, J. A. Extraterrestrial impact craters

8. DEMURA, Hirohide and KURITA, Kei. Formation of fluidized craters on Mars.

9. GREELEY, Ronald, et al. Geology of Chryse Planitia

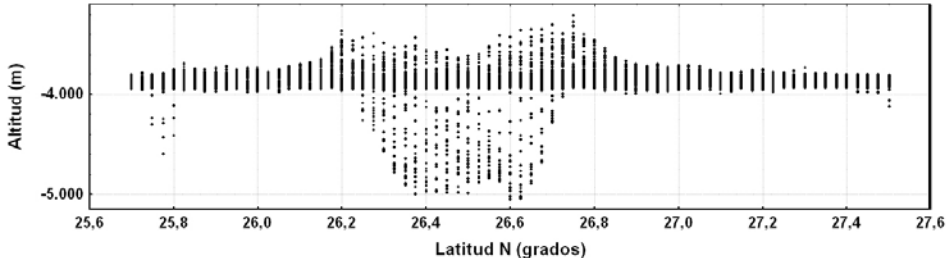


Figura 3.- superposición de los 72 cortes topográficos del rectángulo considerado centrado en Calahorra, y distanciados $0,025^\circ$ desde la latitud $25,700^\circ$ N hasta la de $27,500^\circ$ N. Se puede apreciar así la forma y relación de las altitudes relativas entre la planicie exterior al cráter y la concavidad, así como la forma que presenta ésta. Las distancias verticales están exageradas pues toda el eje de las abscisas representado tiene una longitud de unos 102 km mientras que en el eje de ordenadas (altitud) la variación es de unos 2.000 m.

pero a una temperaturas cercanas al punto de fusión¹⁰. La distribución de las estructuras de éste tipo asociadas a cráteres de impacto sobre la superficie de Marte esta relacionada con la de la presencia de cordilleras o alineación de elevaciones que se formaron como consecuencia de una tectónica de compresión posterior¹¹. De tal manera que las alineaciones tectónicas son frecuentes allí donde hay cráteres con lóbulos, aunque no siempre sucede lo inverso¹². Todo lo cual no haría sino poner en evidencia que para formarse esas cordilleras habría resultado necesario, además de una dinámica cortical compresiva, unas condiciones reológicas del basamento especiales, pues allí donde no hay alineaciones de cordilleras de origen tectónico no hay cráteres lobulados, aunque no siempre sucede lo contrario¹³. Las hipótesis citadas se basan en la influencia de la presencia de ‘gases’ o ‘líquidos’ en el proceso, pero es posible que deban revisarse a tenor de la propuesta de Wada y Bernouin-

10. THOMAS, Pierre G. and MASSON, Philippe L. Martian fluidized crater distribution: tectonic implications

11. CHICARRO, Agustín F. *Compressive structures on Mars* y CHICARRO, Agustín F. and SCHULTZ, Peter H. Global and regional ridge patterns on Mars; CHICARRO, Agustín F., SCHULTZ, P. H. and MASSON, P. Global and regional ridge patterns on Mars; THOMAS, Pierre G. and Masson, Philippe L. op. cit.; CHICARRO, Agustín F. Ridge distribution and fluidized crater occurrences on Mars.

12. THOMAS, Pierre G. and Masson, Philippe L. op. cit. y CHICARRO, Agustín F. Ridge distribution...

13. THOMAS, Pierre G. and Masson, Philippe L. op. cit.

Jha¹⁴ para quienes para la formación de dichas estructuras lobuladas no es necesario la presencia de fluidos, necesiándose sólo que el fenómeno se produzca a través de un mecanismo de un flujo granular.

Por otra parte estructuras de este tipo, con productos de eyección ‘fluidizados’ lanzados alrededor de los márgenes de los cráteres como el *Calahorra* son precisamente los lugares que se han propuesto como los más adecuados para la búsqueda de evidencias de vida anterior en Marte¹⁵ lo cual añade interés a su presencia.

No resulta fácil interpretar la existencia de diversos picos en la parte central del cráter. Se han detectado aquí directamente a través de la imagen, poco nítida, suministrada por Google. Pero en la observación de una imagen con una mucho mayor resolución¹⁶ con definición de 29,2 cm por píxel, se percibe una compleja morfología resultado quizá de verse más detalles de la misma y, como indica el título del de dicho fotograma de NASA, por la existencia de una falla de origen tectónico que afecta a dicha zona central y cuya actividad modificó la forma inicial del posible único pico existente previamente al funcionamiento de la falla. En la imagen de Google no se aprecia esta falla, pero curiosamente si que se señala, según SW - NE, en el mapa obtenido por kriging de la zona (fig. 2) poniendo en evidencia la buena resolución que se ha obtenido por dicho método. Por lo que estas imágenes nos ofrecen parece que el tipo de falla allí existente es ‘inverso’ lo cual no es anormal en esta zona¹⁷. Esta falla podría haber la responsable de la complejidad añadida de este cráter en presentar varios picos en vez d sólo uno, y del desplazamiento de los bordes que se detecta también por medio de la imagen obtenida en éste análisis (Fig.2).

CONCLUSIONES

Desde fechas recientes se dispone de facilidades a través de Internet de una información precisa y exhaustiva de la altimetría de Marte con una precisión que hace tan sólo unos meses era impensable. Haciendo uso de esa facilidad y tomando

14. WADA, Koji and BARNOUI-JHA, Olivier S. The formation of fluidized ejecta on Mars by granular flows

15. OBERBECK, Verne R. Layered ejecta craters and the early water/ice aquifer on Mars

16. HIRISE (producted). *Central uplift fault zone of Calahorra crater (PSP_003934_2065)*

17. PALMERO RODRÍGUEZ, José Alexis et al. Formation and disruption of aquifers in southwestern Chryse Planitia, Mars

miles de medidas de la altitud de la zona que rodea el cráter de impacto *Calahorra* se ha elaborado un mapa por krigeage en el que se visualizan con detalle los rasgos morfológicos de dicho cráter, incluso creemos que de forma más nítida que las mismas imágenes ofrecidas por el software.

Calahorra presenta rasgos comunes con la mayoría de los cráteres de este tamaño (30 km de diámetro) presentes en la superficie marciana: bordes elevados según al menos tres anillos de cordilleras concéntricas; un fondo complejo con elevaciones en el centro; y estructuras lobuladas de derrames que o bien se formaron con intervención de 'fluidos' o quizás solo por movimientos intra granulares de la rocas trituradas por el impacto.

Se expone aquí la posibilidad de que en su área central se haya puesto en juego inmediatamente después del impacto una falla de tipo inverso que posiblemente modificó la estructura central ofreciendo varios picos centrales en vez de uno sólo como es habitual en cráteres de este tamaño.

AGRADECIMIENTOS

No se como agradecer a James Rice el haberse acordado de nuestra ciudad a la hora de dar nombre al cráter aquí estudiado. Calahorra tiene muchos más de 2.000 años de historia, pero con *Calahorra* ahora tiene además garantizado un lugar en el futuro, y todos nosotros una deuda con J. Rice. Su gesto, sin duda emotivo, llevó a que a su vez, yo hiciera éste trabajo. De nuevo: ¡gracias Jim!

REFERENCIAS

- BASTON, Raymond M. and RUSSELL, Joel F. (eds.) *Gazetteer of Planetary Nomenclature 1994*. Denver, Colo.: U. S. Geological Survey, 1995. 295 p. U.S. Geological Survey bulletin; 2129
- CINCA MARTÍNEZ, José L., GONZÁLEZ OCHOA, José M. Calahorras. En *Kalakorikos*, 2007, n.12, p. 323-338.
- CHICARRO, Agustín F. *Compressive structures on Mars*. Ph. D. Thèse 3^o cycle. Université Paris XI (1983).
- CHICARRO, Agustín F. and SCHULTZ, Peter H. Global and regional ridge patterns on Mars. En *Lunar and Planetary Science Conference XV*, 1984, p. 146-147.

- CHICARRO, Agustín F., SCHULTZ, P. H. and MASSON, P. Global and regional ridge patterns on Mars. En *Icarus*, 1985, n. 63, p.153-174.
- CHICARRO, Agustín. Ridge distribution and fluidized crater occurrences on Mars. En *Geogaceta*, 1987, n. 2, p. 17-19.
- CRUMPLER, L. S., CRADDOCK, R. A. and AUBELE, J. C. *Geologic Map of the MTN 25047 and 20047 quadrangles central Chryse Planitia/ Viking 1 lander site, Mars*. U.S. Dept. of the Interior, U.S.: Geological Survey , 2001, 1-2693.
- DEMURA, Hirohide and KURITA, Kei. Formation of fluidized craters on Mars. En *30th Annual Lunar and Planetary Science Conference, March 15-29, 1999*, Houston, TX, abstract no. 1630
- GREELEY, Ronald, et al. Geology of Chryse Planitia. En *Journal of Geophysical Research*, Septiembre 1977, vol. 82, p. 4093-4109.
- HIRISE (produced). *Central uplift fault zone of Calahorra crater (PSP_003934_2065)*. Mht. NASA/JPL/University of Arizona. (Picture from 29 may, 2007).
- LOWMAN, Paul D., JOHSON, K. S., CAMPBELL, J. A. Extraterrestrial impact craters. En *Oklahoma Geological Survey Report*, 1997, n. 100, p. 55-81.
- OBERBECK, Verne R. Layered ejecta craters and the early water/ice aquifer on Mars. En *Meteoritics & Planetary Sciences*, 2009, vol. 44, n. 1, p. 43-54.
- PALMERO RODRÍGUEZ, José, et al. Formation and disruption of aquifers in southwestern Chryse Planitia, Mars. En *Icarus*, 2007, n. 191, p. 545-567.
- PALUZÍE BORRELL, A. Formaciones lunares con nombres españoles. En *Urania*, 1950, n. 221-222, p. 73-87.
- RUIZ MORALES, M. Representación cartográfica de la Luna. En *Boletín de Información del Servicio Geográfico del Ejército*, 1988, n. 66, p. 27-48.
- SCOTT, David H. and TANAKA, Kenneth L. *Geologic map of the western equatorial region of Mars*. U.S. Dept. of the Interior, U.S.: Geological Survey, 1986. Col. Atlas of Mars, 1:15.000.000 geologic series, Map I-1802
- TANAKA, Kenneth L., SKINNER, James A. and HARE, Trent M. *Geologic Map of the northern plains of Mars*. U.S. Dept. of the Interior, U.S.: Geological Survey, 2005. Col. Scientific Investigations Map, 2888 . Escala: 1:15.000.000 polar stereographic.
- THOMAS, Pierre G. and MASSON, Philippe L. Martian fluidized crater distribution: tectonic implications. En *Earth, Moon, and Planets*, Febrero 1986, vol. 34, n. 2, p. 169-176.
- WADA, Koji and BARNOUJ-JHA, Olivier S. The formation of fluidized ejecta on Mars by granular flows. En *Meteoritic & Planetary Science*, Octubre 2006, vol. 41, issue 10, p. 1551-1569.