

## Isla Decepción (Antártida) como análogo de Marte

A. Molina<sup>1, 2</sup>, M.A. de Pablo<sup>2</sup> y M. Ramos<sup>3</sup>

e-mail: [a.molina@csic.es](mailto:a.molina@csic.es)

<sup>1</sup> Centro de Astrobiología, CSIC-INTA, España

<sup>2</sup> Departamento de Geografía y Geología, Universidad de Alcalá, España

<sup>3</sup> Departamento de Física y Matemáticas, Universidad de Alcalá, España

Isla Decepción (62°57'S, 60°37'W) se localiza en el archipiélago de las Shetland del Sur, al oeste de la península Antártica. Este archipiélago forma parte del arco magmático Mesozoico-Paleozoico de la península Antártica, donde una intensa actividad tectónica extensional ha generado este estratovolcán de 12 Km de diámetro, que cuenta con una altura máxima de 539 m (monte Pond). Se trata, por tanto, de uno de los escasos volcanes activos presentes en la Antártida, siendo relativamente joven (< 780 Ka) [1] y habiéndose registrado su última erupción en el año 1970 [2].

La isla tiene forma de herradura debido a que la caldera colapsada ha sido inundada por el agua de mar a través de uno de sus flancos, formando así una bahía interior conocida como puerto Foster. Debido tanto a su juventud y reciente actividad, como a la limitada actividad humana de la zona, pueden encontrarse rasgos volcánicos muy bien preservados a lo largo de toda su extensión. Cráteres volcánicos, depósitos de piroclastos y cenizas, así como las coladas de lava basáltica son algunos de estos ejemplos, destacando la intensa actividad geotérmica registrada en algunas zonas. La mineralogía de la zona es muy variada, variando entre basáltica y dacítica. Diferencias composicionales y alteraciones posteriores, han dado como resultado una diversa coloración de los depósitos piroclásticos que comprende desde tonos pardos, amarillos y rojos, hasta completamente negros.

La intensa actividad tectónica que se registra en la isla es un claro condicionante del paisaje, al igual que ocurre en el planeta Marte. Las fallas condicionan otros rasgos como los canales de deshielo, escarpes o playas. En este aspecto, cabe destacar la costa nororiental de la isla, costa Recta, que se cree ha sido formada en el escarpe de una falla submarina [3].

La actividad glaciar es otro factor clave. El clima de la zona se caracteriza por veranos cortos, en los que se alternan periodos de congelación-descongelación, y fuertes nevadas durante el resto del año. Los fuertes vientos son persistentes durante todo el año, registrándose unas temperaturas medias en el nivel del mar de entre -3.9 a -1.6 °C. Estas condiciones propician la existencia de glaciares, que se acumulan en casquetes en las zonas más elevadas, y discurren formando lenguas hasta el mar, donde se forma de manera estacional la banquisa de hielo. Cabe destacar, que algunos de estos glaciares han sido cubiertos por tefra y cenizas volcánicas, mostrando una marcada estratificación (cenizas-hielo) y permaneciendo ocultos en algunos casos por una cubierta de este material. Ambos fenómenos son un análogo extraordinario de las capas estratificadas que se encuentran en los polos marcianos, así como de los posibles "glaciares ocultos" que han sido descritos en la superficie de este planeta [4, 5]. Al igual que allí, en Decepción el permafrost (suelo

congelado) se encuentra ampliamente distribuido. En la isla, su distribución se encuentra condicionada a la actividad geotérmica, que es también la que limita su distribución en profundidad. En la superficie, los agentes que controlan la estructura y comportamiento de estos suelos congelados son los depósitos de cenizas, a largo plazo, y los de nieve junto con las variaciones atmosféricas, en el corto plazo [6].

Durante la estación cálida, el agua congelado tanto en los glaciares como en el permafrost se funde rápidamente, movilizándose grandes caudales de agua que forman inundaciones catastróficas e importantes coladas de barro. Estos eventos excavan cárcavas, barrancos y valles, removilizando los materiales para formar abanicos aluviales y coluviales, playas y lechos fluviales. Además, multitud de rasgos periglaciares pueden ser observados en la isla, como lóbulos de solifluxión o termokarst. Todos estos rasgos relacionados con la acción del agua-hielo muestran grandes similitudes con aquellos descritos en la superficie de Marte.

Por todas las características anteriormente mencionadas, pensamos que isla Decepción es un lugar a considerar para el estudio de análogos de Marte [7]. De echo la presencia de fumarolas, fuentes hidrotermales y conos submarinos, también la hacen un lugar interesante desde un punto de vista astrobiológico más amplio [8].

### Referencias

1. Baraldo A. and Rinaldi C.A., *J. S. Amer. Earth Sci.* 13 785-796. (2000)
2. Baker P.E. and McReath, I., *Nature Physical Sci.* 231, 5-9. (1971)
3. Fernández-Ibáñez F. et al., *Antartic Science*, 17 (3), 418-426. (2005)
4. Cutts, *JGR* 78 (20), 4231-1973 (1973)
5. Head J.W. et al., *Nature* 434, 346-351 (2005)
6. Ramos, M. et al., *USGS OF-2007-1047* (2007)
7. de Pablo M.A. et al., *EGU XI*, EGU2009-1292 (2009)
8. Prieto-Ballesteros O. et al., *EPSC VII*, EPSC2012-466 2012 (2012)

## Glaciarismo en la ladera Noroeste del volcán Hecates Tholus de Marte: datación y evolución.

M.A. de Pablo<sup>1,3</sup>, G.G. Michael<sup>2</sup> y J.D. Centeno<sup>3</sup>

e-mail: [miguelangel.depablo@uahs](mailto:miguelangel.depablo@uahs)

<sup>1</sup> Área de Geodinámica Externa. Dpto. de Geografía y Geología. Universidad de Alcalá, España.

<sup>2</sup> Institute of Geological Sciences, Freie Universitaet Berlin, Germany

<sup>3</sup> Dpto. de Geodinámica Externa, Fac. de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid, España

El volcán Hecates Tholus (32.12°N, 150.24°E) es el único edificio del complejo volcánico de Elysium, en el hemisferio norte de Marte, en el que se han descrito rasgos glaciares. Estos rasgos, al igual que los descritos en otros edificios volcánicos del complejo de Tharsis, sólo existen en el flanco noroeste del volcán. Recientemente se ha llevado a cabo una cartografía geomorfológica de esta ladera del volcán Hecates Tholus<sup>(1)</sup>. Ahora se presentan los resultados de la datación de las unidades geomorfológicas más importantes (10 de las 18 cartografiadas en la zona<sup>(1)</sup>) con el objetivo de conocer su edad y además establecer la posible evolución de los procesos volcánicos y glaciares que han dado lugar a los relieves que se observen en este lugar del planeta en la actualidad.

La datación se ha realizado mediante el ajuste de isócronas a los datos de distribución de la frecuencia de diámetros de cráteres de impacto cartografiados en cada una de esas unidades geomorfológicas<sup>(2)</sup>. Para llegar a cabo de este trabajo se ha realizado la medición de todos los diámetros de los cráteres de impacto observados en dos imágenes CTX (MRO/NASA) - B04\_011324\_2128 y B06\_011957\_2127 de 6 metros por pixel de resolución- integradas en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS, 9.3), mediante la herramienta CraterTools<sup>(3)</sup>. Los resultados, fueron exportados e integrados en la herramienta CraterStats 2<sup>(4)</sup> donde se realizaron, en primer lugar análisis estadísticos para determinación de la existencia de craterización secundaria (clustering)<sup>(5)</sup>, y finalmente, el ajuste de isócronas a los datos de distribución de frecuencias de diámetros derivando una o más edades (con sus respectivos errores) de cada de las unidades geomorfológicas principales de la zona de estudio. Las edades obtenidas se corresponden, tanto a la edad de formación de los materiales situados en la superficie, como a la edad del final del proceso que produjo el rejuvenecimiento de la superficie (procesos fluviales, eólicos, volcánicos, glaciares,...)<sup>(5)</sup>.

Los resultados de estas dataciones (Figura 1)<sup>(2)</sup>, junto con el análisis de los rasgos geomorfológicos cartografiados en la zona, permiten determinar que el edificio se formó hace unos 3.800 Ma, aunque podría haber tenido eventos volcánicos hace unos 350 Ma, o que concuerda con otras dataciones previas realizadas en la zona<sup>(6)</sup>. Por otro lado, la actividad glaciar parece ser evidente en la zona hace ya unos 1.400 Ma, aunque con eventos más recientes hace entre 1.000 y 300 Ma. Por otro lado se han establecido otros periodos de actividad relativamente reciente (hace unos 60, 30, 16, y 6 Ma) e incluso muy recientes 1,34 Ma, 1 Ma, y 0,44 Ma). Estos últimos podrían estar conectados con la última era glacial propuesta para Marte<sup>(7)</sup>, aunque no es posible determinar si estos últimos eventos estaban

relacionados con la existencia de una capa permanente de hielo o con masas glaciares episódicas. Sin embargo, ésta última hipótesis podría explicar la presencia de muchos de los rasgos geomorfológicos de origen glaciar cartografiados en la zona: valles glaciares, rocas aborregadas, aristas, acanaladuras, etc <sup>(1)</sup>.

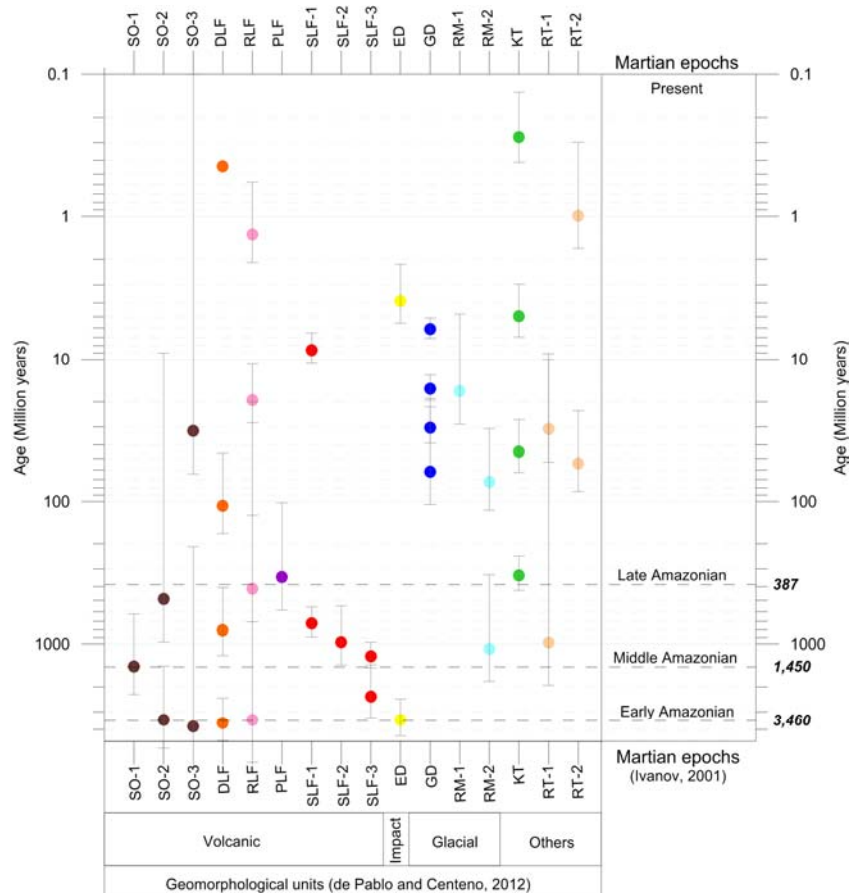


Figura 1. Resultado de las edades<sup>(8)</sup> obtenidas para las unidades geomorfológicas más importantes de la base del flanco Noroeste del volcán Hecates Tholus de Marte. Las edades han sido obtenidas mediante el método de análisis de la distribución de frecuencias de los diámetros de los cráteres de impacto.

### Referencias

1. M.A. de Pablo, J.D. Centeno. Journal of Maps, 8(3.) 208-2014 (2012).
2. M.A. de Pablo, G.G. Michael, J.D. Centeno. Icarus (in press), (2013).
3. T. Kneissl, S. van Gasselt, G., Neukum. Planetary and Space Science, 59. 1243-1254 (2011).
4. G.G. Michael, G. Neukum. Earth and Planetary Science Letters, 294. 223-229 (2010).
5. G.G. Michael, T. Platz, T. Kneissl, N. Schmedemann. Icarus, 218. 169-177 (2012).
6. E. Hauber, S. van Gasselt, B. Ivanov, S. Werner, J.W. Head, et al. Nature, 434. 356-361.
7. J.W. Head, J.F. Mustard, M.A. Kreslavsky, R.E. Milliken, D.R. Marchant. Nature, 426. 797-802 (2003).
8. B.A. Ivanov. Space Science Review, 96. 87-104 (2001).

## A possible impact structure in the Damara Orogen of Namibia.

I. López<sup>1</sup>

e-mail: ivan.lopez@urjc.es

<sup>1</sup>Departamento de Biología y Geología, Universidad Rey Juan Carlos, España.

Impact cratering is an important geological process for the surface evolution of the terrestrial planets. The terrestrial impact crater record is largely incomplete; there are 176 impact craters censused on Earth <sup>(1)</sup> with an underrepresentation of small impact events based on expected magnitude-frequency relation (only 15 craters are < 300 meter). The reason for this underrepresentation include: a) destruction of small impactors on their encounter with Earth's atmosphere, and b) crater erosion and/or burial by post-impact sediments <sup>(2)</sup>. In recent years the use of remote sensing and geophysical field studies is allowing the discovery of new impact structures on remote areas <sup>(3, 4)</sup>, completing the impact record on Earth. The study of magnitude-frequency predict that impacts that produce these small craters occur on decadal to secular time scales <sup>(5)</sup>, and that ~ 20 of about 100 m are expected to be present on Earth.

In this work I report the discovery of a ~ 80 meters circular depression sited in the Neoproterozoic Damara Orogen of Namibia (Figure 1), in the vicinity of the Huab River (coordinates lat: 20.84°S; long: 13.72°E), that according to morphology and geological setting is interpreted as an impact crater. The structure is located on top of materials included in the Brak River Formation of the Lower Ugab Domain (Figure 1a), a folded turbidite sequence of late Proterozoic age composed of siliciclastic sediments <sup>(6)</sup>.

In yet absence of ground truth a multiple working hypothesis approach is applied where processes that could produce this type of circular features of negative relief are considered: impact cratering, volcanic activity (i.e caldera formation) and sinkhole formation.

Formation of sinkholes is normally associated to the presence of carbonates and salts. The described circular structure is located on top of the siliciclastic materials of the Brak River Formation (greywacke and pelite with dropstones; <sup>6</sup>). This type of materials are not prone to suffer chemical dissolution; besides sinkholes are found in groups forming a karst landscape and no other circular depressions are found in the area related to the materials observed.

Volcanic activity and the formation of collapse calderas can produce circular structures with negative relief as the one observed. Although materials of volcanic origin are found in the area surrounding the circular structure, these are dykes and eroded materials of the Etendeka Plateau, a cretaceous volcanic sequence related to the break-up of Pangea <sup>(7)</sup>. There is no younger volcanic activity on the area that can produce volcanic calderas <sup>(8)</sup> and no volcanic materials (i.e. flows) are found related to the structure. According to this and the relatively fresh appearance of the structure the volcanic origin is also ruled out.

The third process that can produce a circular structure of negative relief, the impact of a bolide or meteorite, is considered. The morphology of the circular structure appears fresh enough to preserve the original crater rim (Figure 1b). Although ejecta rays are not clearly preserved there is some ejecta-like materials that surround the circular structure and cover the basement rocks that point to an impact origin (Figure 1b).

Future field studies are needed to confirm impact origin and to study shock metamorphism

in target rocks and to look for possible fragments of the impacting body.

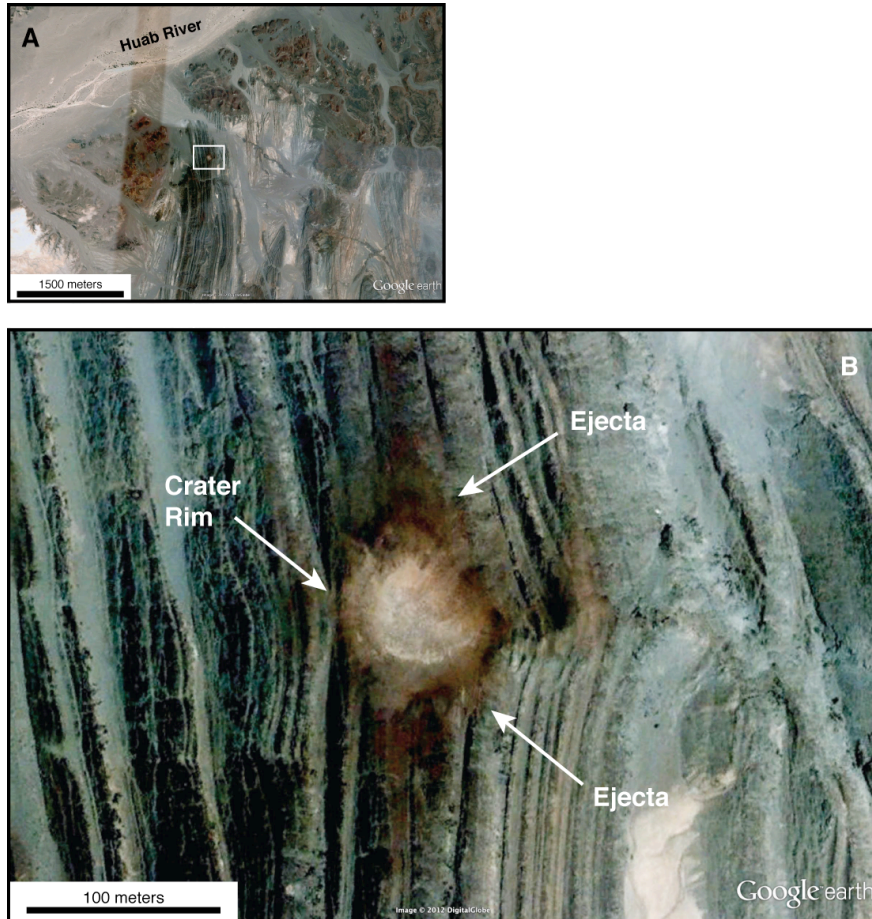


Figure 1. a) Location of the proposed impact structure in the Damara Orogen, near Huab River (Namibia). The white box indicates the location of Figure 1b. b) Detail image of the studied structure with location of the rim and the interpreted ejecta deposits (Image acquired 5/5/2003). (© 2012 Google; © 2012 DigitalGlobe).

#### References

1. Earth Impact Database, [www.unb.ca/passc/ImpactDatabase](http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase).
2. R.A.F. Grieve, Accretion of extraterrestrial matter through Earth's history (Springer-Verlag, New York, 2001)
3. L. Folco, et al., Geology, 39, 179 (2011).
4. C.D.K. Herd, et al., Geology, 36, 955 (2008).
5. P.A. Bland and N.A. Artemieva, Planetary and Space Science, 41, 607, (2006)
6. F.V.P. Paciullo et al., Journal of African Earth Sciences, 47, 121 (2007)
7. P.R. Renne et al., Geology, 24, 659 (1996)
8. H. Miller and W. Grote, Geologic map of the Damara Orogen of South West Africa/Namibia, 1:5.000.000, Geological Survey of Namibia, Windhoek.



## Caracterización y posible origen de depresiones subcirculares en la región de Ruach Planitia, Tritón

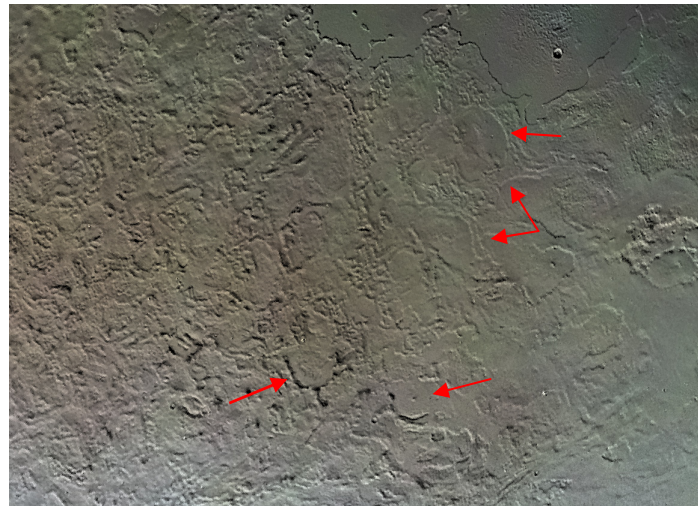
A. Martín-Herrero, J. Ruiz, I. Romeo.

e-mail: [alvimart@ucm.es](mailto:alvimart@ucm.es)

Departamento de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid, España

Los trabajos realizados sobre la cartografía y estudio de las formas y características de la superficie de Tritón han sido bastante escasos, consistiendo principalmente en la categorización meramente descriptiva de las distintas formas del terreno, y de las unidades geológicas a escala planetaria, quedando la superficie conocida de esta luna, dividida en varias grandes unidades morfológicas (Smith et al., 1989; Croft et. al., 1995).

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio y caracterización de diversas zonas específicas de la superficie de Tritón, donde la superficie presenta unas estructuras de aspecto circular o cuasi circular, a veces con los bordes externos elevados, y una zona interior hundida y tapizada por materiales de aspecto liso en mayor o menor medida. En la mayoría de los casos, los bordes externos presentan diversos estados de degradación, distorsionando el aspecto circular. En los menos, pueden observarse tramos del borde externo que se asemejan a arcos de circunferencia. Como se ha dicho, la zona interior de estas cuencas se encuentra generalmente rellena por materiales de aspecto liso, pudiendo encontrarse en algunas montículos centrales (recordando picos centrales de cráteres), y en otras puede apreciarse que la zona central presenta cierta elevación dando un aspecto de domo, en cuya parte superior se observan rasgos que sugieren colapso de materiales.



*Figura 1. Imagen de la zona de estudio, centrada en la parte SW de Ruach Planitia, enmarcando la zona de transición entre el terreno cantalupo y los denominados materiales aterrazados. Las flechas señalan algunas de las estructuras identificadas.*

Muchas de estas estructuras se observan en las proximidades de *Ruach Planitia*, principalmente hacia el S-SW. En la zona al S de *Ruach* se encuentran según Croft et. al. (1995) los denominados materiales aterrazados, consistentes en diferentes áreas irregulares de materiales lisos a diferentes niveles de altura o profundidad separados por escarpes de varios cientos de metros de altura. Al SW de *Ruach Planitia*, la superficie presenta un aspecto mucho más caótico debido a que se trata de una zona de transición entre los materiales lisos aterrazados y el terreno cantalupo, el cual se caracteriza por una orografía bastante caótica, llena de colinas y depresiones denominadas *cavi*, que alcanzan hasta los 25-30Km de ancho; con las que se entrecruzan largas crestas semejantes a las observadas en otros satélites como Europa.

Muchas de las estructuras analizadas por nosotros presentan un alto grado de degradación tanto en sus límites externos, los cuales pueden llegar a ser borrados o eliminados en gran parte, como en los materiales lisos internos. Esta degradación hace que definir los procesos que las han generado resulte complicado, pudiendo barajarse tres posibles orígenes: 1) Dada la proximidad al terreno cantalupo, lleno de colinas y depresiones, podría tratarse de rasgos formados en vía similar, quizá por diapirismo, aunque variando en la forma exacta o la época de formación, dado el aspecto caótico de la zona de transición entre ambos tipos de terreno. 2) Podría tratarse de estructuras de colapso rellenas por materiales criomagmáticos procedentes del interior. 3) Debido a la nitidez que algunas de estas estructuras muestran en sus bordes exteriores, podrían tratarse de antiguas cuencas de impacto, posteriormente modificadas y rellenas por la actividad interna de Tritón.

#### Referencias

- Croft, S. K., Kargel, J. S., Kirk, R. L., Moore, J. M., Schenk, P. M., Strom, R. G., (1995). The Geology of Triton. Neptune & Triton, ed. D. Cruikshank (Tucson, Univ. of Arizona Press), pp.879-947.
- Smith, et.al. (1989), The satellites of Neptune. Science. 246, 1422-1449.



## The water regime of dwarf planet (1) Ceres

M. Küppers<sup>1</sup>, L. O'Rourke<sup>1</sup>, B. Carry<sup>1,2</sup>, D. Bockelée-Morvan<sup>3</sup>, D. Teyssier<sup>1</sup>,  
S. Lee<sup>4</sup>, P. van Allmen<sup>4</sup>, A. Marston<sup>1</sup>, K. Crovisier<sup>3</sup>, T. Müller<sup>5</sup>

e-mail: [michael.kueppers@sciops.esa.int](mailto:michael.kueppers@sciops.esa.int)

<sup>1</sup> ESAC, European Space Agency, Villanueva de la Cañada, Spain

<sup>2</sup> IMCCE, Paris Observatory, Paris, France

<sup>3</sup> LESIA, Paris Observatory, Paris, France

<sup>4</sup> JPL, Pasadena, USA

<sup>5</sup> MPE, Garching, Germany

The traditional view of minor bodies in the (inner) Solar System is that they are split into icy comets and rocky asteroids. However this has been challenged by recent results, such as the discovery of comets on asteroidal orbits in the outer asteroid belt (between Mars and Jupiter)<sup>1</sup> and the detection of water ice frost on the surface of asteroid (24) Themis<sup>2</sup>. The discovery of water ice on the surface of asteroids has profound implications for how the Solar System formed, and challenges our ideas about the stability of ice in the inner Solar System. The study of volatiles in the asteroid belt places strong constraints on the temperature and composition distribution in the proto-planetary disk, and on possible sources of terrestrial water, and strongly constrains formation models of the early Solar System.

Water may have played a significant role in the evolution of Ceres. Despite the mostly featureless spectrum of Ceres in the visible and near-infrared (NIR), the weak but mysterious absorption features in the 3-5  $\mu\text{m}$  region have been repeatedly interpreted as water ice frost or hydrated silicates<sup>3,4</sup>. Note that all those possible compositions require the existence of water for their origins. The thermal evolution model of Ceres<sup>5</sup> suggested liquid water in the mantle in the past and perhaps even today. The HST images<sup>6</sup> and NIR observations of Ceres<sup>7,8</sup> showed a remarkably homogeneous surface of Ceres, possibly a consequence of relatively recent or even current global scale resurfacing driven by liquid-phase activity and/or volatile sublimation and mass transport cannot be completely ruled out<sup>9</sup>.

While the results of surface spectra are ambiguous, detections of water vapour or its dissociation products around Ceres are a clear proof of a wet Ceres. Theoretical studies<sup>10,11</sup> suggested that water ice could remain stable at shallow depths over the age of the solar system on MBAs. Ref.<sup>12</sup> predicted continuous replenishing of water from the interior of Ceres and a possible water sublimation rate of  $10^{24}$  to  $10^{25}$  molecules/s. As the largest MBA and a dwarf planet, Ceres accounts for  $\sim 1/4$  of the total mass in the main belt, and has a much larger surface area than any single small main-belt comet. In 1992, a 3 sigma detection of OH was reported by <sup>13</sup> based on IUE observations. A second observation did not result in a discovery. Ref.<sup>14</sup> tried to confirm the detection by <sup>13</sup> with VLT/UVES, but they did not succeed, in spite of the higher sensitivity of their observation.

We will report on observation of Ceres we performed on Nov. 2011, Oct. 2012 and March 2013 with the ESA Herschel Space Observatory<sup>15</sup>. We used the Heterodyne Instrument for the Far Infrared (HIFI)<sup>16</sup> to search for the water ground state line at 557 GHz.

### References

1. N. Hsieh & D. Jewitt. *Science* 312, 561 (2006).
2. H. Campins et al. *Nature* 464, 1320 (2010).
3. L. A. Lebofsky et al. *Icarus* 48, 453 (1981).
4. R. E. Milliken & A. S. Rivkin. *Nature Geoscience* 2, 258 (2009).
5. J. C. Castillo-Rogez & T. B. McCord. *Icarus* 205, 443 (2010).
6. J.-Y. Li et al. *Icarus* 182, 143 (2006).
7. B. Carry et al. *A&A* 478, 235 (2008).
8. B. Carry et al. *Icarus* 217, 20 (2012).
9. A. S. Rivkin et al. *Space Sci. Rev.* 163, 95 (2011).
10. N. Schorghofer. *ApJ* 682, 697 (2008).
11. D. Prialnik & E. D. Rosenberg 2009. *MNRAS* 399, L79 (2009).
12. F. P. Fanale & J. R. Sauvail *Icarus* 82, 97 (1989).
13. M. F. A'Hearn & P. D. Feldman. *Icarus* 98, 54 (1992).
14. P. Rousselot et al. *Astron. J.* 142, 125 (2011).
15. G. Pilbratt et al. *A&A* 518, L1 (2010).
16. T. De Graauw et al. *A&A* 518, L6 (2010).

## Constantes ópticas de hielos de $\text{NH}_3$ y $\text{NH}_3:\text{N}_2$ en el infrarrojo medio y cercano

B. Maté, Y. Rodríguez-Lazcano, A. Zanchet, V. J. Herrero, O. Gálvez and R. Escribano

e-mail: [belen.mate@csic.es](mailto:belen.mate@csic.es)

Departamento de Física Molecular, Instituto de Estructura de la Materia IEM-CSIC, Madrid.

El nitrógeno es el cuarto elemento más abundante en el universo, después del hidrógeno, el oxígeno y el carbono, y se encuentra principalmente en forma de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ). En nuestro Sistema Solar el amoníaco ha sido detectado, por ejemplo, en las atmósferas de los gigantes gaseosos. A través de observaciones de una banda a  $2.2\ \mu\text{m}$  en el infrarrojo cercano (NIR), asignada a hielo de amoníaco, éste ha sido identificado en la superficie de algunos objetos helados de nuestro Sistema Solar como Enceladus, Miranda, o Charon, o incluso en objetos de cinturón de Kuiper como Quaoar<sup>(1)</sup>. La presencia de amoníaco en la superficie de estos cuerpos lejanos, que están sometidos al bombardeo constante de partículas energéticas y rayos cósmicos, sólo puede ser entendida si la superficie se renueva de algún modo. Se ha propuesto que esta renovación superficial puede deberse a criovulcanismo, o a la liberación hacia la superficie de especies procedentes de capas internas.

La mayor parte de nuestro conocimiento sobre la composición de los hielos astrofísicos proviene de observaciones en el IR medio y cercano. La interpretación de estas observaciones está basada en estudios de laboratorio de las distintas especies heladas. Nuestro grupo en el Instituto de Estructura de la Materia se dedica a la investigación de estos sistemas, y hemos estudiado tanto especies puras como mezclas, o especies iónicas<sup>(2,3)</sup>. Del espectro IR es posible extraer la dependencia con la longitud de onda de parte real ( $n(\nu)$ ) e imaginaria ( $k(\nu)$ ) del índice de refracción de la sustancia estudiada. Estas magnitudes, también conocidas como constantes ópticas, son una característica intrínseca del hielo y resultan muy útiles a la comunidad astrofísica porque permiten simular el espectro de la sustancia en cualquier configuración.

Entre las diversas publicaciones dedicadas al estudio de las constantes ópticas de hielo de amoníaco, el conjunto más completo referido a amoníaco amorfo es el de Wood y Roux<sup>(4)</sup>, que miden  $n$  y  $k$  entre  $2.7$  y  $20\ \mu\text{m}$  para  $\text{NH}_3$  a  $20\ \text{K}$ . En este trabajo hemos estudiado el espectro infrarrojo medio y cercano de hielo de amoníaco puro a  $15\ \text{K}$  y de sus modificaciones en mezclas con nitrógeno (ver Figura 1). Estos datos pueden ser útiles para inferir la presencia de  $\text{N}_2$  (inactivo en infrarrojo) indirectamente a través del espectro de  $\text{NH}_3$ , en los objetos donde ambos coexistan.

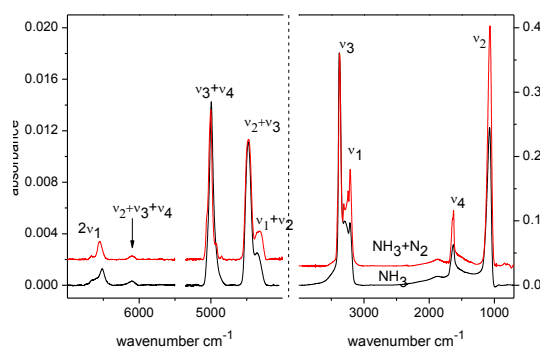


Figura 1. Espectros NIR y MIR de  $\text{NH}_3$  a  $15\ \text{K}$  (negro) y de una mezcla  $\text{NH}_3:\text{N}_2$  (1:1.7) a  $15\ \text{K}$  (rojo).

Además, hemos determinado las constantes ópticas del hielo de amoníaco a 15 K y a 30 K, para el intervalo espectral entre 7000-500  $\text{cm}^{-1}$  (1.4- 20  $\mu\text{m}$ ), más amplio que en publicaciones previas. También hemos determinado los índices ópticos para una mezcla ( $\text{NH}_3:\text{N}_2$ ) (1:1.7) a 15 K. En la Figura 2 se han representado a modo de ejemplo los índices  $n$  y  $k$  obtenidos en el infrarrojo cercano, en las regiones con  $k$  distinta de cero. Finalmente hemos realizado un procesado térmico de mezclas de  $\text{NH}_3:\text{N}_2$  crecidas a 15 K y 30 K, calentándolas a 5 K/min hasta 85 K, por encima de la temperatura de cristalización del amoníaco. Se observa que el nitrógeno afecta al grado de cristalinidad final de la muestra a 85 K (ver Figura 3).

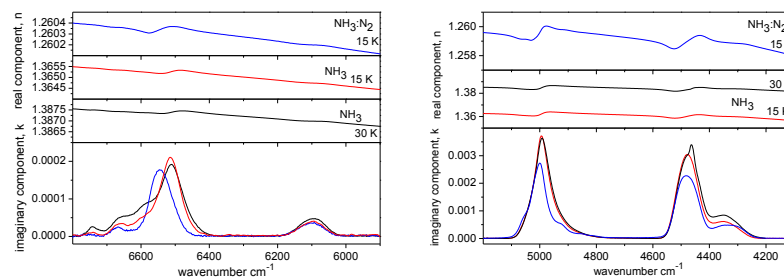


Figura 2. Índices ópticos en el NIR de hielo de  $\text{NH}_3$  a 15 K (negro), 30 K (rojo) y de una mezcla  $\text{NH}_3:\text{N}_2$  (1:1.7) a 15 K (azul). En el caso de la mezcla la constante  $k$  ha sido referida a la fracción de amoníaco en la muestra.

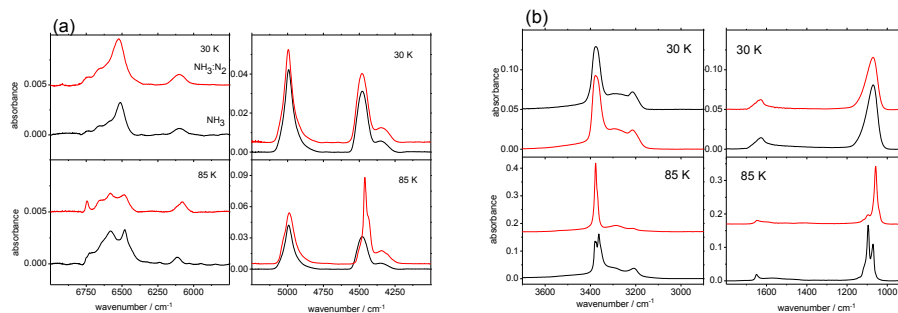


Figura 3. (a) Espectros NIR y (b) MIR de hielos de  $\text{NH}_3$  (negro) y  $\text{NH}_3:\text{N}_2$  (rojo) generados a 30 K (paneles superiores) y calentados a 85 K (paneles inferiores)

## Referencias

1. D. C. Jewitt and J. Luu, Nature 432, 731-733 (2004).
2. O. Gálvez, B. Maté, V.J. Herrero, and R. Escribano, Astrophys. J. 703, 2101-2107 (2009).
3. B. Maté, V. Herrero, Y. Rodríguez-Lazcano, et al. Astrophys. J. 759:90 (7pp) (2012).
4. B. E. Wood and J. A. Roux, J. Opt. Soc. Am. 72, 720-728 (1982).

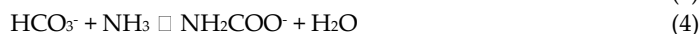
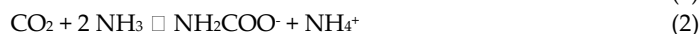
## Estudio de laboratorio sobre la formación del ión carbamato en hielos del Sistema Solar

O. Gálvez, Y. Rodríguez-Lazcano, B. Maté, V. Herrero, and R. Escribano

e-mail: [oscar.galvez@csic.es](mailto:oscar.galvez@csic.es)

<sup>1</sup> Departamento de Física Molecular, Instituto de Estructura de la Materia IEM-CSIC, Madrid.

Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y amoníaco (NH<sub>3</sub>) son dos de los componentes más abundantes de los hielos que encontramos tanto en los diferentes cuerpos del Sistema Solar<sup>(1)</sup>, como en los granos interestelares<sup>(2)</sup>, siendo el agua normalmente el componente predominante. En estos ambientes, estos hielos pueden estar sujetos tanto a un procesamiento térmico, como al incesante bombardeo de rayos cósmicos, electrones, radiación UV, etc., lo que da lugar a la formación de nuevas especies. En el caso de hielos constituidos por NH<sub>3</sub> y CO<sub>2</sub>, este procesamiento puede dar lugar a las siguientes reacciones<sup>(3)</sup>:



En recientes estudios de laboratorio, se ha comprobado<sup>(4)</sup> que a baja temperatura (a unos 80 K) CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> pueden reaccionar para formar carbamato amónico (NH<sub>2</sub>COO<sup>-</sup>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), según la reacción (2). Sin embargo, y en base a los espectros infrarrojos obtenidos en nuestro laboratorio, esta interacción podría dar lugar también a la formación de ácido carbámico (NH<sub>2</sub>COOH), ver Figura 1.

Carbamato amónico es un compuesto relativamente estable en las condiciones de temperatura y presión de la Tierra, pero en cambio el ácido carbámico no lo es, disociando espontáneamente en NH<sub>3</sub> y CO<sub>2</sub>. Por ello, no existe actualmente ninguna prueba espectroscópica en fase gas de la existencia del ácido carbámico. Sin embargo, en las condiciones dadas en determinados cuerpos del sistema solar, donde tanto el CO<sub>2</sub> como el NH<sub>3</sub> son abundantes, el ácido carbámico podría ser formado y preservado en su fase sólida.

En este trabajo, presentamos un estudio de laboratorio sobre la reactividad de estas especies en fase sólida y a bajas temperaturas. Además, y dado que el hielo de agua es a menudo el componente mayoritario en estos cuerpos, hemos realizado también este estudio en presencia de una matriz de hielo de agua (Figura 2). Nuestro grupo en el Instituto de Estructura de la Materia viene desde hace tiempo dedicándose a la investigación de este tipo de sistemas de interés astrofísico, usando la espectroscopía infrarroja como herramienta principal en estos análisis. Además, y como presentaremos también en esta comunicación, el empleo combinado de experimentos de laboratorio y simulaciones teóricas (a través de cálculos *ab initio*) nos permite una mejor asignación de los espectros observados y un mayor entendimiento de los procesos que tienen lugar en este tipo de hielos.

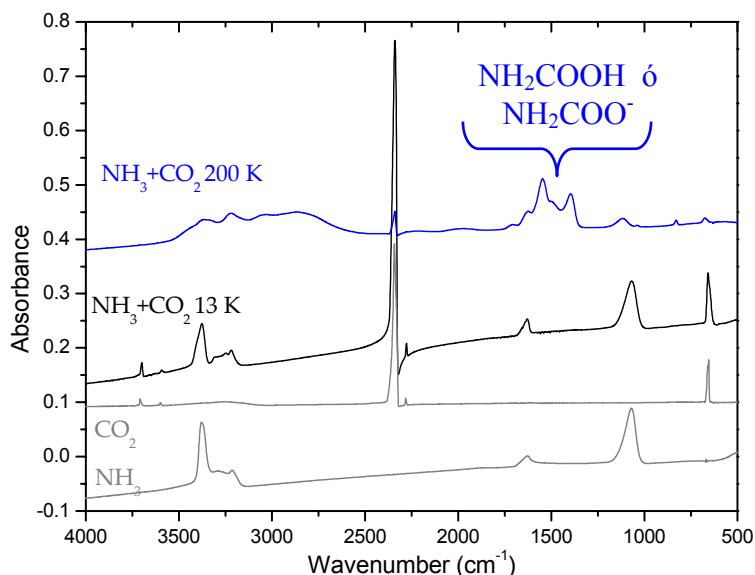


Figura 1. Espectro IR de una mezcla 2:1 de  $\text{NH}_3/\text{CO}_2$  co-depositados a 13 K y calentados hasta 200 K. Se incluye el espectro del  $\text{NH}_3$  y el  $\text{CO}_2$  a 13 K puros.

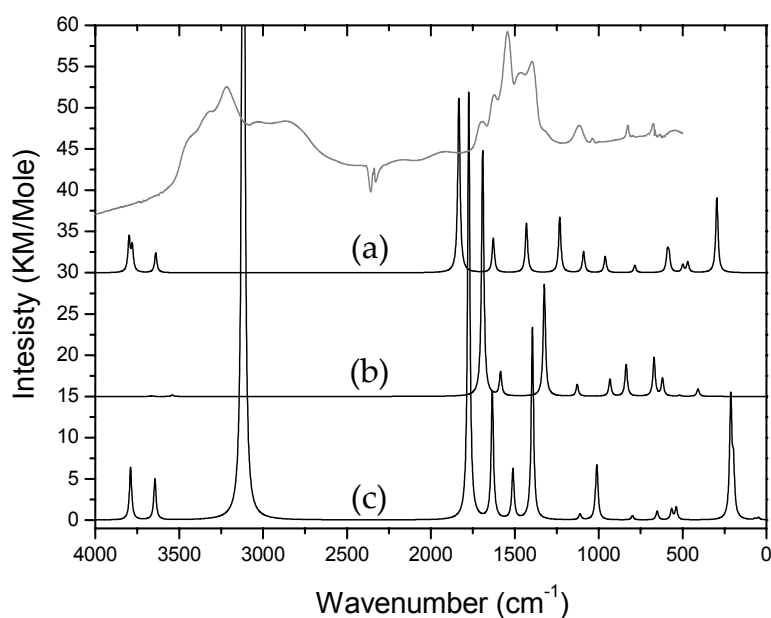


Figura 2. Espectro IR calculado en fase gas para el (a) ácido carbámico, (b) anión carbamato, y (c) dímero del ácido carbámico. En gris presentamos el espectro IR observado de una mezcla 2:1 de  $\text{NH}_3/\text{CO}_2$  en fase sólida a 220 K.

## Referencias

1. B. Hapke, E. Wells, J. Wagner, *Icarus* 47 (3) (1981) 361.
2. D. H. Wooden, S. B. Charnley, P. Ehrenfreund (2004) "Composition and Evolution of Molecular Clouds", COMETS II, eds. M. Festou, H.U.Keller, H. Weaver, Univ. Arizona Press, Edited by Michel Festou, H. Uwe Keller, and Harold A. Weaver.
3. Park H, Jung YM, You JK, Hong WH, Kim JN, *J Phys Chem A*. 2008 Jul 24;112(29):6558-62.
4. J.B. Bossa, P. Theule, F. Duvernay, F. Borge, et al., *Astron. Astrophys.* 492 (3) (2008) 719.