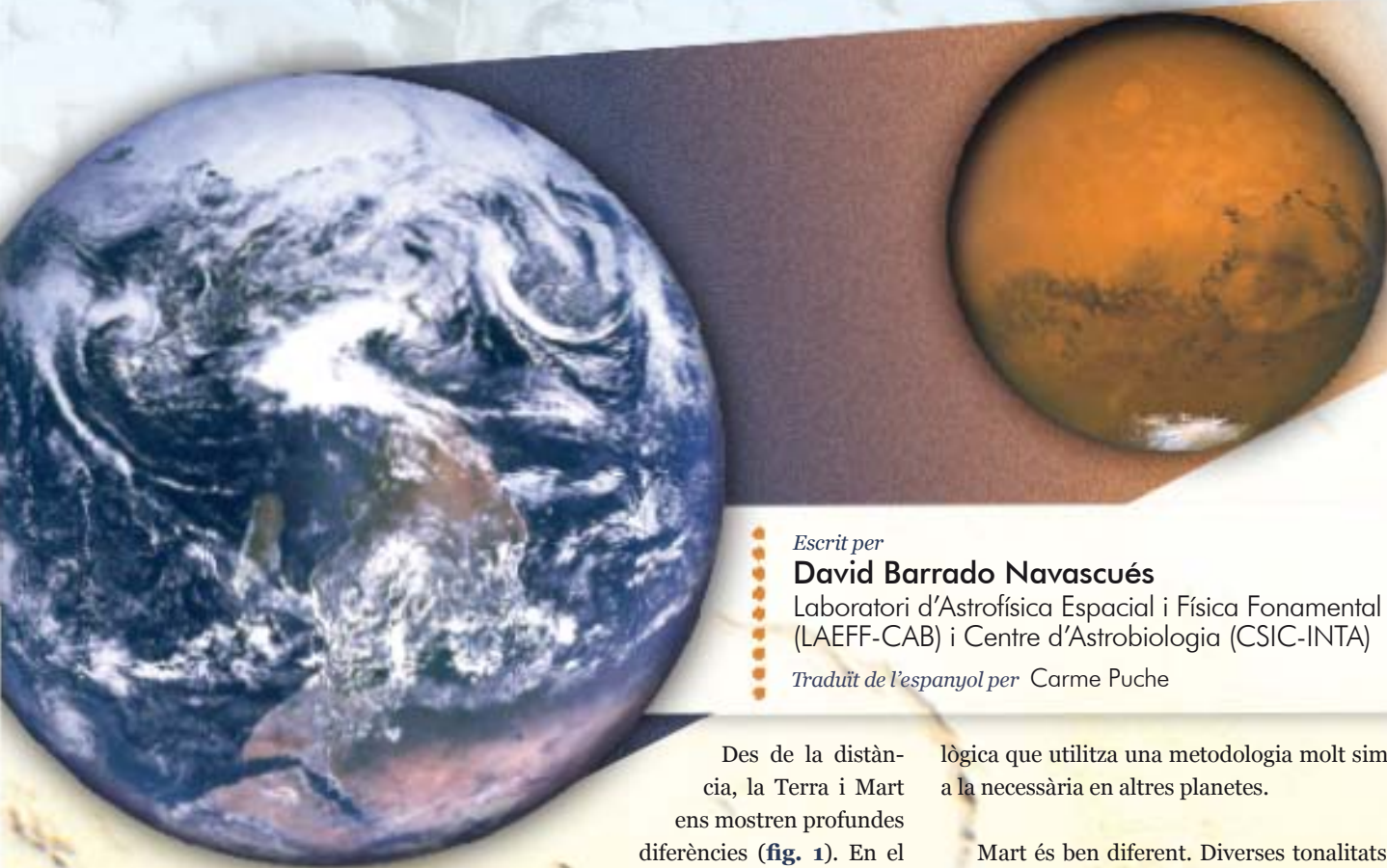


LA TERRA I MART

BESSONS O GERMANASTRES?

L'exploració intensiva a la qual s'està sotmetent el planeta Mart està revelant una gran quantitat de dades sobre les propietats actuals i del passat d'aquest planeta. Tot i això, hi ha dues grans incògnites per desvetllar:

quines van ser les diferències que van provocar que aquest planeta sigui tan diferent de la Terra?; hi ha o hi ha hagut activitat biològica al planeta roig? L'estudi comparatiu d'ambdós planetes és especialment revelador.



Escrit per

David Barrado Navascués

Laboratori d'Astrofísica Espacial i Física Fonamental (LAEFF-CAB) i Centre d'Astrobiologia (CSIC-INTA)

Traduït de l'espanyol per Carme Puche

Des de la distància, la Terra i Mart ens mostren profundes diferències (**fig. 1**). En el primer cas, dominen el color blanc i el blau, que corresponen als núvols i als oceans, i el marró dels continents. Per tant, és evident que hi ha aigua en els diversos estats (el sòlid als casquets polars, el líquid als mars i el gasós a l'atmosfera). I la presència d'aigua suggereix, de manera gairebé immediata, que hi ha vida. De fet, fins i tot des de satèl·lits en òrbita és possible apreciar l'activitat biològica intensa del planeta, com és el cas de les banquises antàrtiques o el canvi estacional de la superfície forestal. Fins i tot, en un experiment que va dur a terme la sonda *Galileo* camí de Júpiter, hem estat capaços de detectar evidències d'activitat bio-

lògica que utilitza una metodologia molt similar a la necessària en altres planetes.

Mart és ben diferent. Diverses tonalitats taronges, provocades per òxids de ferro, dominen la superfície. Depenent de l'estació i de la posició relativa amb la Terra, s'hi pot veure algun pol, encara que en aquest cas el blanc prové essencialment del gel sec (diòxid de carboni sòlid). No obstant això, durant els últims anys, diversos estudis han deixat clar que hi ha aigua a la superfície marciana en forma de gel, i que la dinàmica d'aquest compost és força complexa.

Mart té una atmosfera tènue, que es compon essencialment de diòxid de carboni (95,32 %), nitrogen (2,7 %), argó (1,4 %) i unes traces d'oxigen (0,13 %). La de la Terra, en canvi, es com-

Figura 1. La Terra (la primera fotografia completa del planeta, feta des de l'*Apollo 17*, amb l'Antàrtida a la part superior) i Mart (imatge del Hubble Space Telescope). Aproximadament, estan fetes a escala, ja que Mart és considerablement més petit que el nostre planeta (els eixos equatorials són, respectivament, de 12.756,28 km i 6.797,4 km).

pon essencialment de nitrogen (78,1 %), oxigen (20,94 %), argó (0,93 %) i una quantitat variable de diòxid de carboni (al voltant del 0,035 %). Les temperatures mitjanes varien considerablement: -55 °C en el cas de Mart, amb mínimes de -133 °C i màximes d'uns 27 °C; i d'uns 15 °C en el cas de la Terra, amb mínimes de -89 °C (a Vostok, l'Antàrtida) i màximes de 58 °C (al-Azizia, Líbia). Tot i això, la temperatura mitjana de la Terra és alterada per l'efecte hivernacle provocat pels gasos de l'atmosfera, principalment el diòxid de carboni (CO₂), el vapor d'aigua, l'ozó (molècules d'oxigen amb tres àtoms, en lloc dels dos que té l'oxigen que respirem) i el metà. Si no fos així, la temperatura mitjana seria uns 33 °C més baixa, al voltant dels -18 °C i, per tant, l'aigua estaria en estat sòlid en la major part del planeta. Tant el cicle de l'aigua com el del CO₂ són essencials per entendre tant l'evolució atmosfèrica com la geològica (en particular, l'orografia) i, per descomptat, l'activitat biològica.

En els casos de Mart i la Terra, l'estructura interna es divideix en tres regions ben diferenciades: l'escorça, el mantell i el nucli. Tot i això, contràriament al cas de la Terra, el nucli de Mart és sòlid i no crea un camp magnètic propi. Hi ha, això sí, camps magnètics locals, restes fòssils d'un camp global que hi va poder haver com a conseqüència d'un nucli parcialment líquid, com en el cas terrestre. El camp magnètic té un paper essencial en la interacció amb la nostra estrella, el Sol, ja que desvia les partícules energètiques (com a efecte secundari, creen les aurores polars) que podrien tenir unes conseqüències negatives per a l'activitat biològica. De fet, l'evolució del Sol i la interacció amb les atmosferes planetàries són crucials per entendre les propietats passades i presents d'aquestes. D'altra banda, la pràctica absència tectònica de plaques, tal com la coneixem a la Terra —que produeix un vulcanisme actiu—, comporta que els terrenys marcians siguin molt més vells que els llits oceànics o els continents terrestres. Per exemple, la gran depressió de l'hemisferi sud, *Hellas Planitia*, es va originar per l'impacte d'un gran cos celeste fa uns 3.900 milions d'anys. En el cas de la Terra, les evidències sobre l'escorça d'un esdeveniment així deuen haver desaparegut fa molt de temps.

En qualsevol cas, la comparació dels perfils en altura d'ambdós planetes mostra que són ben diferents: mentre que la major part de la massa continental terrestre es concentra a l'hemisferi nord (fig. 2), on, d'altra banda, no hi ha un continent polar, a Mart (fig. 3) l'hemis-

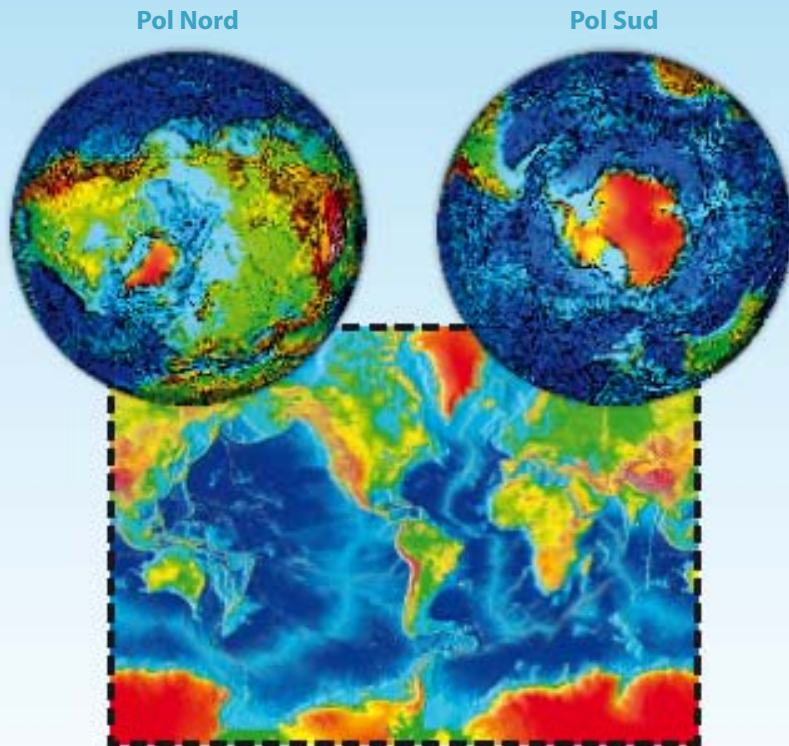


Figura 2. L'altura de la superfície de la Terra es codifica amb els colors següents: blau per als fons oceànics, i verd, groc i vermell per als continents. La profunditat més elevada, a les fosses marines, és d'uns 11 km sota el nivell del mar (blau més intens), mentre que el vermell més intens denota altures de 5 km sobre el nivell del mar. La diferència màxima d'altura al nostre planeta és d'uns 19 km.

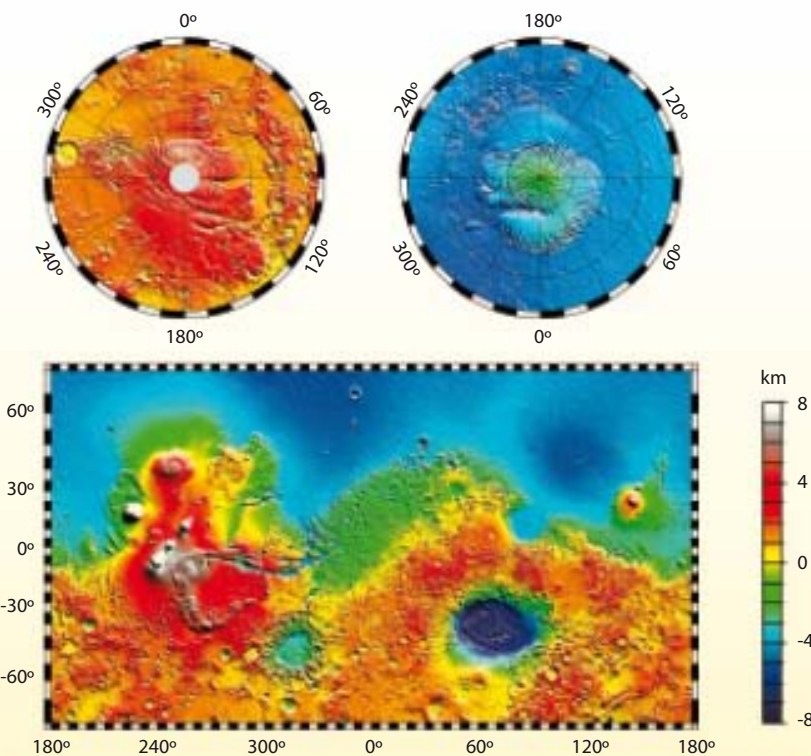


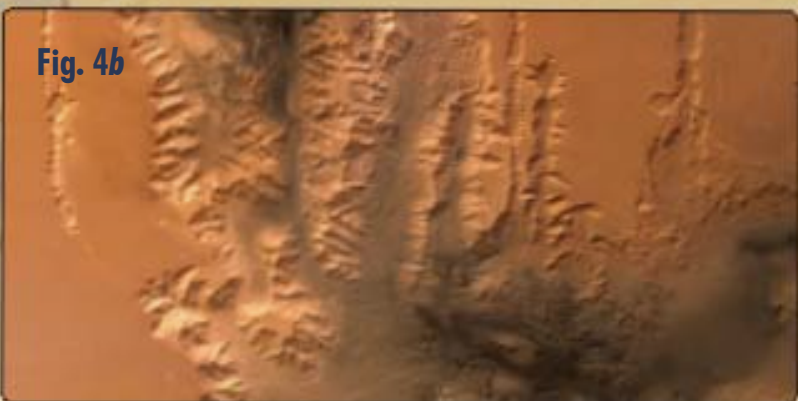
Figura 3. Diagrama amb la topografia de Mart. Les altures mínimes (blau intens) i màximes (vermell i blanc) es troben en un rang de 16 km. Es pot observar que l'Olimp, la muntanya més alta del sistema solar, s'eleva 21 km sobre el nivell en el qual la pressió de l'atmosfera és de 6,1 mil·libars (la pressió a la qual es localitza el punt triple de l'aigua), i que es denomina *Mars datum* (l'equivalent al nivell del mar a la Terra). Atès que el punt més baix es troba a *Hellas Planitia* (un antic cràter d'impacte), a uns 7 km per sota del datum marcian, la diferència és d'uns 28 km, força superior als 19 km que separen les profunditats de la fossa de les Marianes del mont Everest, que corresponen al punt més baix i al més alt del nostre planeta, respectivament.

Fig. 4



© Nacional Science Foundation

Fig. 4b



© ESA

Figura 4. Les Dry Valleys ('valls seques'), a prop de McMurdo, a l'Antàrtida, properes a la costa. En aquest sistema de valls normalment no hi ha neu, i és extraordinàriament sec. Per tant, es podria assemblar a determinades àrees marcianes, molt fredes i seques. **Figura 4b.** Imatge que va fer la sonda europea *Mars Express* de la regió al voltant del Tithonium Chasma.

feri septentrional està dominat per la depressió *Vastitas Borealis*, que té una profunditat de milers de metres per sota del datum marcí. En aquest punt la pressió de l'atmosfera és de 6,1 mil·libars i s'hi localitza el punt triple de l'aigua, definit com el punt en el diagrama de masses (pressió davant de temperatura) en el qual conviu una substància en estat sòlid, líquid i gasós de manera simultània. En el cas de l'aigua, els valors exactes són 273,16 K (0,01 °C) i una pressió de 6,1173 mil·libars. Per tant, per sota del datum marcí (com a les profunditats d'*Hellas Planitia*) seria possible trobar aigua líquida si la temperatura fos prou alta. A diferència del que succeeix a Mart, l'hemisferi sud terrestre està dominat per oceans i mars, encara que diverses masses continentals, que s'alcen sobre el nivell del mar a altures considerables (com és el cas de l'altiplà antàrtic), destaquen sobre el perfil topogràfic. En canvi, la situació marciana és més uniforme. La diferència més notable és la gran quantitat d'aigua en estat sòlid que es concentra al pol sud terrestre, que té una superfície d'uns 14.000.000 km² a l'estiu, però que es pot dilatar, quan s'inclouen les banquises, fins als 30.000.000 km². En contraposició, la mida de l'Antàrtida marciana és molt més petita, d'uns 140.000 km², i la composició és molt diferent, ja que domina, com s'ha dit anteriorment, el gel sec (o CO₂ en estat sòlid). Tot i això, al pol Sud es van trobar les primeres evidències que hi havia grans quantitats d'aigua sòlida mitjançant diverses missions espacials que es van dur a terme al començament d'aquesta dècada.

El robot d'exploració *Spirit*, pertanyent a la missió Mars Exploration Rover (MER) va aterrar amb èxit a la superfície de Mart el 4 de gener de 2004.



© NASA - JPL-Caltech, University of Arizona

Fig. 5b



© (Figura) NASA/JPL-Caltech/Universitat d'Arizona (Fig5b) Daniel Cam Ott

Curiosament, a la nostra Antàrtida trobem alguns dels millors anàlegs marcians per les temperatures baixes i la humitat reduïda que té. Aquest és el cas del sistema de valls McMurdo (fig. 4), localitzat molt a prop de la costa, que geològicament podria tenir semblances amb Mart (fig. 4b). Si hi ha vida o no, o si hi ha hagut activitat biològica, és una qüestió que encara és oberta. Hi ha estudis que indiquen que els terrenys marcians són massa salats per haver pogut desenvolupar-hi vida. Malgrat això, al nostre planeta hi ha nombrosos exemples d'éssers vius que es desenvolupen en ambients aparentment hostils, emmarcats amb el nom d'*organismes extremòfils*.

Hi ha diverses naus que han aterrat amb èxit a la superfície de Mart. La més recent, i la que ho ha fet més al nord, ha estat la *Phoenix Mars Lander* (el 25 de maig d'aquest any). Les imatges ens revelen una plana coberta de formes poligonals que s'assemblen a les de regions de la Terra (fig. 5a i 5b). És pergelisòl que se solidifica i es fon de manera estacional, evidència clara de la presència d'aigua al planeta. La sonda *Phoenix* disposa de la instrumentació adequada per perforar i analitzar aquestes estructures, incloent-hi la composició química, amb l'objectiu de verificar si algun compost orgànic (encara que no necessàriament biològic) és present a les planes àrtiques de Mart. Tanmateix, recordem que, si més no a la Terra, hi ha éssers vius —els extremòfils— que poden créixer en ambients veritablement sorprenents: des de medis àcids

Aurora boreal

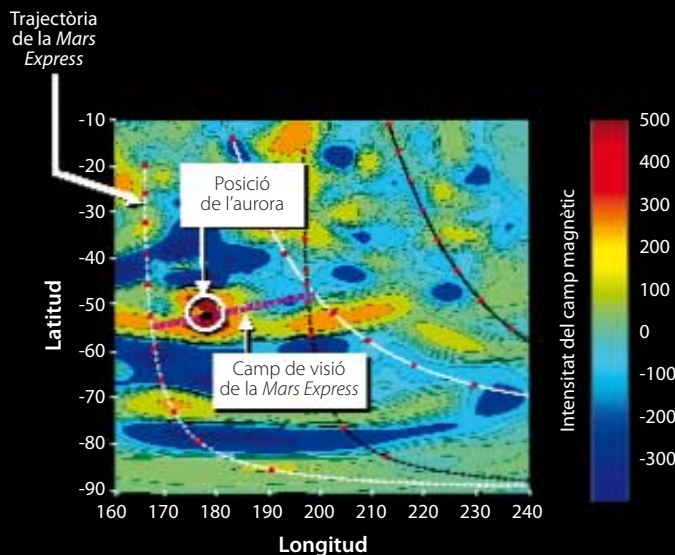
Una aurora boreal (del llatí *borealis*, 'nord') o austral (de *australis*, 'sud'), és un fenomen natural que ocorre molt sovint a prop de les regions polars de la Terra i que consisteix en estructures en forma de núvols, cortines o raigs de llum verds, grocs, vermells i blaus de formes molt diverses que sembla que dansin al cel obscur.

Les aurores, al nostre planeta, passen normalment entre els 95 i els 1.000 km d'altura quan algunes partícules carregades (amb protons i electrons) procedents del Sol, que són guiades pel camp magnètic de la Terra, incideixen en l'atmosfera a prop dels pols. Quan aquestes partícules xoquen amb els àtoms i les molècules d'oxigen i nitrogen, que constitueixen els components més abundants de l'aire, part de l'energia de

la col·lisió excita tant aquests àtoms que quan recuperen l'equilibri tornen aquesta energia en forma de llum visible.

El fenomen de les aurores es pot trobar també als planetes gasosos gegants del sistema solar. Encara que els mecanismes de formació són diferents, el fonament físic és molt similar. Es necessita un camp magnètic, que en el cas de Saturn i Júpiter és molt intens, i partícules carregades proporcionades pel vent solar i una atmosfera contra la qual puguin col·lidir aquestes partícules carregades d'alta energia. La sonda *Mars Express* també ha recollit aurores al planeta Mart. En aquest cas, el fenomen no es produeix per un intens camp magnètic anàleg al terrestre, perquè Mart no en té, sinó per camps magnètics locals associats a l'escorça marciana.

Figura 5. Una comparació entre les planes àrtiques de Mart (a), en una imatge que va fer fa poc la sonda americana *Phoenix Mars Lander* i la terrestre (b), feta a Groenlàndia, al peu de la inlandsis (capa de glaç), a Kangerlussuaq.



Mapa de la superfície de Mart reconstruït a partir de les dades extretes amb l'instrument SPICAM, un dels que té la *Mars Express* i que mostra per primera vegada la presència d'una aurora a Mart causada per un camp magnètic residual. Fotografia superior: Una aurora vista des de l'espai. Fotografia feta des de l'Estació Espacial Internacional (ISS).

Fig. 5a



© ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

© ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

Cràter sense nom a la regió de *Vastitas Borealis*, a 70,5° N i 103° E aproximadament, en una imatge feta per la *Mars Express*, que mostra un residu de gel sobre el fons. La resolució espacial és d'uns 15 m/píxel. El cràter té uns 5 km d'ample, amb una profunditat d'uns 2 km. El perfil vertical s'ha multiplicat per un factor tres per destacar-lo.

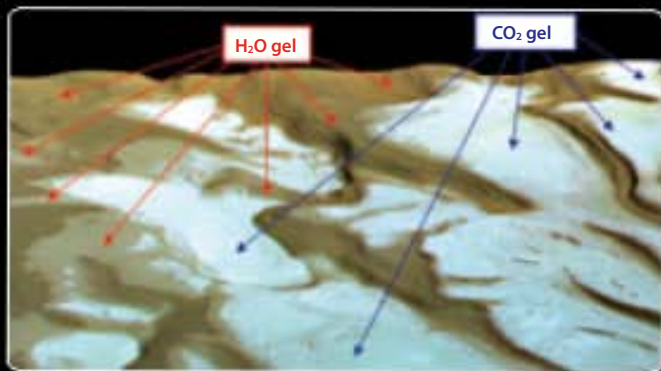
Visió parcial del pol Sud de Mart, des d'una altura de 269 km, en una imatge de la sonda *Mars Express* i l'instrument HRSC. Són regions formades per pergelisòl que es localitzen a desenes de quilòmetres de la capa de gel.



© ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

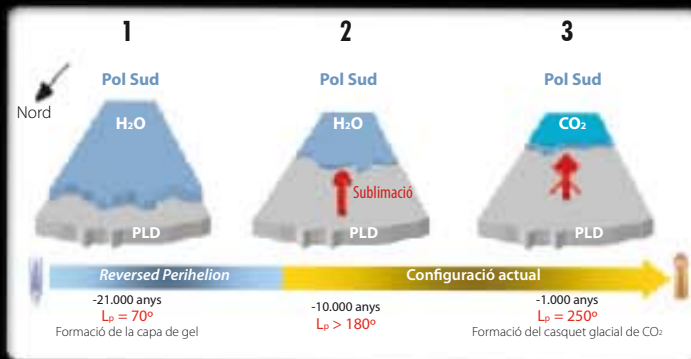
Una perspectiva de casquet polar boreal de Mart, segons la *Mars Express*, on s'aprecien capes d'aigua gelada i pols. El cingle té uns 2 km d'altura. Tant l'estructura de material obscur com el camp de dunes del primer pla podrien estar formades per cendres volcàniques.

Capas de gel a Mart



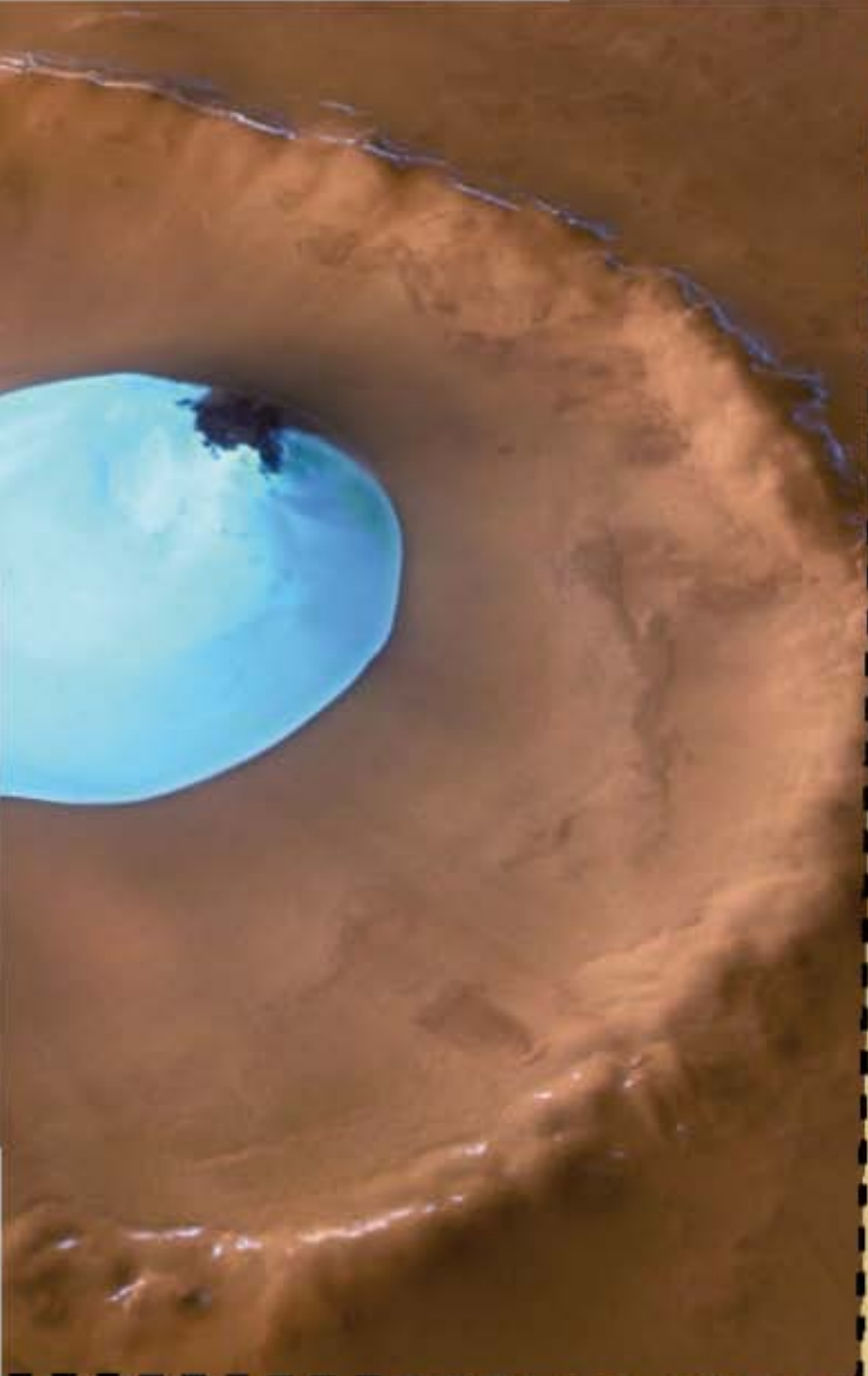
© ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)

L'instrument OMEGA, a la sonda *Mars Express*, ha permès caracteritzar els diferents tipus de gel al pol sud marcià. Es va extreure la imatge amb un altre instrument de la mateixa nau, l'HRSC.



© OMEGA team - F. Monniot - Service d'Aéronomie du CNRS - IPSL

L'evolució de l'aigua i el diòxid de carboni (CO₂) sòlids al pol Sud marcià: 1) L'aigua es transporta en forma de vapor des del nord fins al pol Sud, on es diposita en forma de gel. 2) La inversió provocada per la precessió causa que el casquet disminueixi quan es transfereix l'aigua de sud a nord. 3) El flux net es redueix per l'acció del gel sec (CO₂), que actua com a trampa de gel d'aigua i n'impedeix la sublimació a vapor d'aigua i el transport subsegüent al nord.



fins a calderes volcàniques submarines a grans temperatures. Un cas típic n'és l'ecosistema del riu Tinto, que, juntament amb l'Antàrtida, constitueix un dels millors camps de proves per a possibles missions al planeta roig.

Sí, ambdós planetes tenen similituds interessants i grans diferències. Es podria considerar Mart el germà pobre de la Terra. Malgrat això, tot just hem començat a escorcollar mostres en algunes parts de la superfície, però la major part dels secrets ens estan esperant. I

Referències bibliogràfiques

- AMILS, R. [et al.] (2007). «Extreme environments as Mars terrestrial analogs: The Rio Tinto case». *Planetary and Space Science*, vol. 55, núm. 3, p. 370-381.
- ANGUITA, F. (2002). *Biografía de la Tierra. Historia de un planeta singular*. Aguilar, SA i Ediciones Grupo Santillana. ISBN: 8403092776.
- BIBRING, J.-P. [et al.] (2006). «Global Mineralogical and Aqueous Mars History Derived from OMEGA/Mars Express Data». *Science*, vol. 312, núm. 5772, p. 400-404.
- BIBRING, J.-P. [et al.] (2004). «Perennial water ice identified in the south polar cap of Mars». *Nature*, vol. 428, núm. 6983, p. 627-630.
- BILLINGS, L. [et al.] (2006). «The Astrobiology Primer: An Outline of General Knowledge-Version 1». *Astrobiology*, vol. 6, núm. 5, p. 735-813.
- BOYNTON, W. V. [et al.] (2002). «Distribution of Hydrogen in the Near Surface of Mars: Evidence for Subsurface Ice Deposits». *Science*, vol. 297, núm. 5578, p. 81-85.
- CARR, M. H. (2006). *The Surface of Mars*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN-10 0-521-87201-4; ISBN-13 978-0-521-87201-0.
- GÜDEL, M. (2007). «The Sun in Time: Activity and Environment». *Living Reviews in Solar Physics*, vol. 4, núm. 3.
- HEAD, J. W. [et al.] (2005). «Tropical to mid-latitude snow and ice accumulation, flow and glaciation on Mars». *Nature*, vol. 434, núm. 7031, p. 346-351.
- KARGER, J. S. (2004). *Mars - A Warmer, Wetter Planet, Springer Praxis Books / Space Exploration*. ISBN-10: 1852335688; ISBN-13: 978-1852335687.
- LUNINE, J. I. (2008). *Earth: Evolution of a Habitable World*. Cambridge: Cambridge Atmospheric and Space Science Series, Cambridge University Press. ISBN: 978-0521644235.
- MONTMESSIN, F. [et al.] (2007). «On the origin of perennial water ice at the south pole of Mars: A precession-controlled mechanism?». *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, núm. E8, CiteID E08S17.
- MURRAY, J. B. [et al.] (2005). «Evidence from the Mars Express High Resolution Stereo Camera for a frozen sea close to Mars' equator». *Nature*, vol. 434, núm. 7031, p. 352-356.
- SAGAN, C. [et al.] (1993). «A Search for Life on Earth from the Galileo Spacecraft». *Nature*, vol. 365, núm. 6448 (21 d'octubre), p. 715.
- WESTALL, F. [et al.] (2002). *Early Earth and early life: an extreme environment and extremophiles - application to the search for life on Mars, Proceedings of the First European Workshop on Exo-Astrobiology*. 16-19 September 2002, Graz, Àustria. Ed.: Huguetta Lacoste. ESA SP-518, Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Division, p. 131-136. ISBN 92-9092-828-X, 2002.

David Barrado Navascués

(Madrid, 1968)



Ha treballat en nombrosos centres de recerca, com la Universitat de Harvard —on va acabar el doctorat, que va començar a la Universitat Complutense de Madrid— o l'Institut Max-Planck d'Astronomia, a Alemanya. També ha fet estades més curtes a la Universitat de Cambridge (Regne Unit) o a l'Observatori de Grenoble (França), entre d'altres. Ha estat becari del programa Fulbright i l'han contractat per al programa Ramón y Cajal. Actualment és investigador del Centre d'Astrobiologia (INTA) i del Consell Superior d'Investigacions Científiques (CSIC), on lidera diversos projectes científicotècnics, com la participació d'INTA en el nou telescopi espacial James Webb Space Telescope. Els seus camps de treball inclouen la formació estel·lar, la recerca i la caracterització d'objectes subestel·lars, i l'estudi de les propietats d'estrelles que pertanyen a associacions estel·lars. És autor de més de vuitanta treballs d'investigació en astrofísica i desenvolupa una activitat divulgadora intensa. Entre les obres publicades destaca un quadern de bitàcola acadèmic en línia en espanyol, que és un dels més visitats, el *Cuaderno de bitàcola estelar* (<http://weblogs.madrimasd.org/astrofisica>).