

BUSCANT VIDA A L'UNIVERS

Escrit per:

Kenneth H. Nealson

Jet Propulsion Laboratory
N.A.S.A. (Califòrnia, E.U.A.)

L'astrobiologia és la ciència que estudia la possibilitat de trobar vida en altres indrets de l'Univers. Resulta de la interacció de moltes ciències: la física, la química, les matemàtiques... i, és clar, la biologia. És una tasca totalment interdisciplinària, un autèntic exemple d'unificació de la ciència. Un dels objectius de l'astrobiologia és el de determinar la manera de reconèixer la «petjada» de la vida en altres mons, de detectar-hi vida present o passada. En aquest article us parlaré sobre aquest objectiu, presentant algunes de les aproximacions que fem servir actualment per a la detecció de vida.

Vaig entrar a formar part d'un grup anomenat "Centre per a la Detecció de Vida" en el Jet Propulsion Laboratory ara fa uns quatre anys. Aquest grup forma part d'un enorme programa que la NASA ha dedicat a l'astrobiologia. El meu grup està format per unes 20 persones, entre les quals s'inclouen físics, químics, geòlegs, biòlegs, alguns enginyers i personal tècnic. Amb això vull remarcar que la detecció de vida no és un assumpte exclusiu de la biologia.

Mart

Un dels objectius del programa de la NASA és demostrar que existeix vida en algun altre indret de l'Univers. Podria haver-hi vida en altres planetes del sistema solar, en els satèl·lits d'aquests planetes o encara més enllà, en un altre

«Un segle rere un altre, els pobles han observat els estels amb ment curiosa i somiadora. Els mariners i els pagesos hi han trobat guia; els poetes i els amants, inspiració; els científics i els estudiants, respostes; però allò que tots ells i tots aquells que alguna vegada han contemplat el cel nocturn han trobat en el Cosmos són preguntes. Potser la pregunta que durant milers d'anys els pobles s'han fet més vegades és: estem sols?»

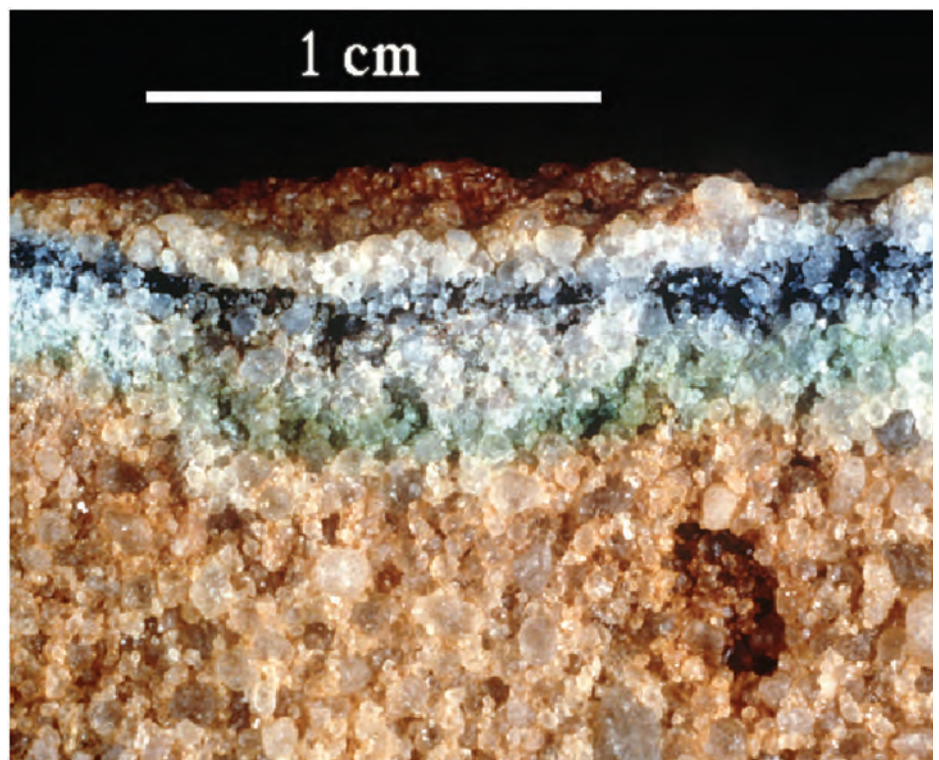
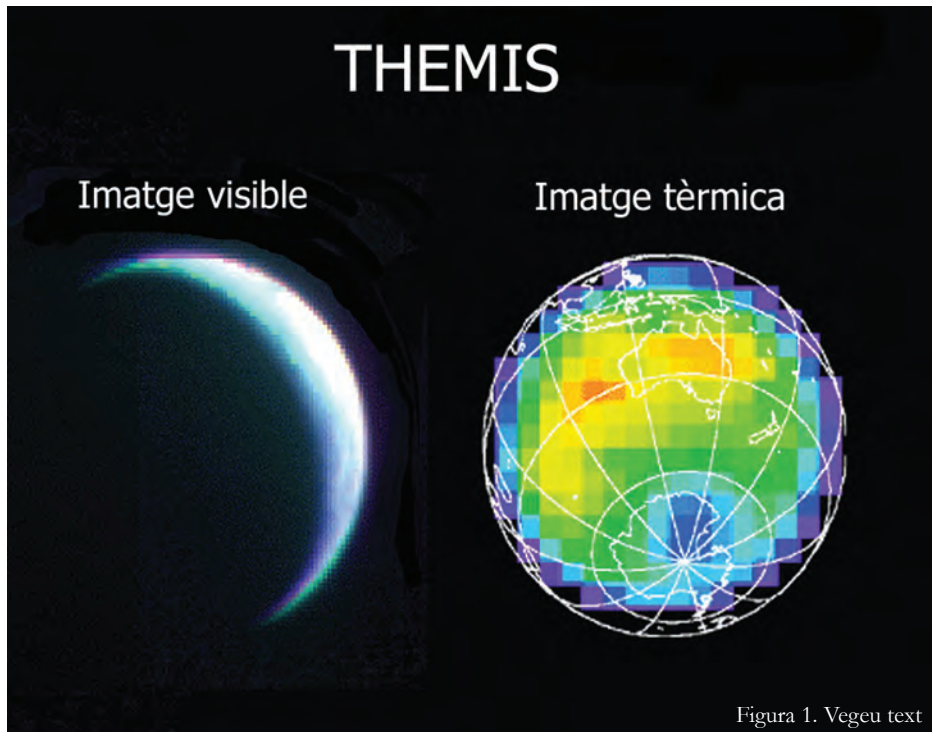
sistema planetari o fins i tot en una altra galàxia. Tenint en compte la meua edat i essent seriosos amb la nostra situació tecnològica, només hi ha un lloc on podria anar abans de retirar-me. I aquest és Mart. Heu de recordar que es triga més d'un any a arribar a Mart (un missatge de ràdio triga 20 minuts en arribar-hi!); per arribar a Júpiter necessitem 4 anys; 8 anys fins a Saturn, 20 anys fins a Plutó... I en la majoria dels casos no tenim prou diners o energia per tornar-ne. Per tant, l'únic indret on podem anar, d'on podem prendre mostres i portar-les a la Terra per analitzar-les és (de moment) Mart. És lògic, doncs, que el programa estigui enfocat cap aquest planeta.

Amb una massa d'un terç de la terrestre, amb una òrbita de dos anys i amb els dies de la mateixa durada que a la Terra, és l'indret on és més fàcil i més barat d'anar. I encara és quasi totalment desconegut. La major part del nostre coneixement del planeta vermell prové dels 15 o 16 meteorits marcians que tenim. En aquests meteorits principalment hi hem trobat informació sobre la superfície del planeta. A més, en el meteorit anomenat ALH10084 s'han trobat algunes possibles biosignatures de bacteris magnetotàctics marcians (vegeu Friedmann et al.).

Hi ha moltes missions a Mart planejades per als anys vinents. La darrera, d'aquesta primera fase, es durà a terme -així ho esperem- el 2011, i serà una missió de recollida de mostres. Fins aleshores, tots els esforços es centraran en dos aspectes fonamentals: determinar en quins llocs s'han d'agafar aquestes mostres (per tal

que presentin unes característiques físico-químiques que ofereixin més probabilitats de contenir allò que busquem, és a dir, vida) i, un cop fet això, aconseguir la manera d'aterrar a prop d'aquests indrets. Nosaltres ens ocuparem de la primera qüestió i deixarem la segona als enginyers. Així que tots els nostres esforços estan dedicats a aconseguir sistemes que ens permetin detectar vida o alguna cosa que s'hi assembli raonablement, i que estiguin a l'abast d'un robot astronauta que informi de les seves troballes als que esperem impacients a la Terra. Quan n'haguem obtingut resultats, podrem decidir on enviar el robot recollidor de mostres perquè ens les porti a la Terra i les puguem analitzar degudament.

L'octubre de l'any passat, el Mars Odissey va arribar a l'òrbita de Mart. Porta amb ell l'instrument Themis, un espectròmetre d'emissió tèrmica, és a dir, un aparell que pot mesurar les temperatures de la superfície de Mart. Al final de la seva missió, obtindrem un mapa complet de les temperatures de la superfície marciana. Els seus registres també ens permetran conèixer la mineralogia de la superfície del planeta. Si hi ha algun mineral dels que a la Terra trobem associats a la vida, el podrem veure. He de confessar que ho vaig passar força bé quan, després del llançament, vam girar la càmera del Themis cap a la Terra i vam fer una fotografia d'infraroigs del planeta (Figura 1). Aquesta fotografia ens va permetre estimar que la temperatura als pols era de -59°C , quan en realitat era de -58°C . Per a una zona d'Austràlia vam estimar 9°C , i només ens vam equivocar de mig grau. I les mesures es feien a més de 3 milions de quilòmetres de distància! Una vegada està en posició i calibrada, podem creure que ens ofereix dades molt acurades. La primera imatge obtinguda amb el Themis de la superfície de Mart (Figura 2) ens mostra el pol nord, on la temperatura és de 0°C . Això és molta calor per a un planeta com aquest. I en realitat és la màxima temperatura a què s'arriba



Comunitat microbiana criptoendolítica. De dalt a baix, cada capa correspon a líquens, algues, fongs i bacteris, respectivament.

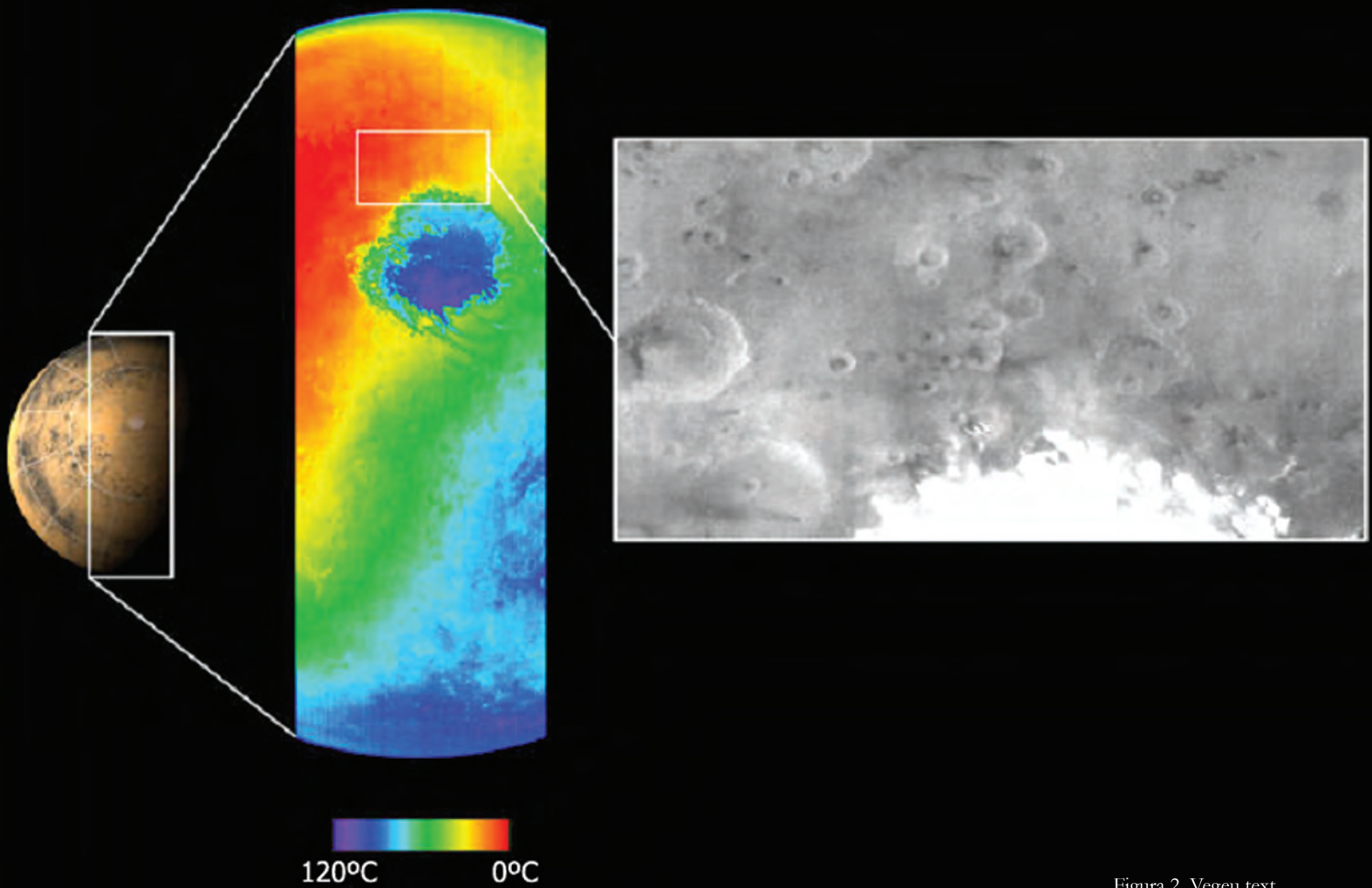


Figura 2. Vegeu text

durant l'any marcià. Hem de destacar que és molt semblant a la temperatura de l'Antàrtida durant l'estiu antàrtic, quan es produeix una gran activitat microbiana a l'interior de les roques d'aquest continent glaçat.

Característiques de la vida

Què hem après a partir de l'estudi de la vida de la Terra, que ens resulti valuós a l'hora d'esbrinar si hi ha vida a Mart? Aquesta és la pregunta que ens hem de fer com a biòlegs. Sabem algunes coses. Sabem que la vida és més resistent del que pensàvem en un principi i això queda demostrat en aquells organismes que ara anomenem extremòfils. Sabem que la vida és tenaç. Trobem uns temps

de supervivència molt llargs, més llargs dels que molts de nosaltres creïem fa 20 anys. Sabem que la vida és molt diversa metabòlicament. A mi m'agrada dir que pot menjar-ho tot i pot respirar-ho tot (vegeu la Taula 1). I quan les condicions es tornen realment adverses, sabem que la vida només es troba a l'interior de les roques. Certament, aquesta és una informació que hem de tenir molt en compte si volem trobar vida a Mart o a qualsevol altre lloc.

Parlem de formes de vida inusuals. La meua preferida és un organisme anomenat *Shewanella oneidensis*, descobert el 1988. Menja hidrogen o àcid fòrmic, a vegades àcid làctic, i respira roques, en concret respira òxids de ferro i manganès. Això no és res d'especial en el món

bacterià: observem que els bacteris poden menjar gairebé qualsevol cosa (com, per exemple, metanol, hidrogen o fins i tot monòxid de carboni), i que també poden respirar-ho quasi tot. I és això el que s'ha d'entendre quan es busca vida a l'Univers. És a dir, que abans d'anar a un planeta, cal conèixer què hi ha: és millor fer primer la química i esbrinar què s'hi pot respirar i què s'hi pot menjar. Això és precisament el que nosaltres fem en el planeta Mart: mesurem la química, i després n'investiguem la biologia. Perquè la química ens diu què hem de buscar.

La primera cosa que hem de fer abans de buscar vida és definir què és. Potser us pot semblar una feina senzilla, però si no la definim correctament podem no trobar-ne mai. I si l'hem de definir, ho

Diversitat metabòlica*

OXIDANTS (RESPIRABLES !!)	Combustibles (MENJABLES!!)	
ORGANICS	LLUM SOLAR	
Dioxid de carboni	ORGANICS	Glucosa
		Etanol
		Formaldehid
		Metanol
Sofre	Hidrogen	
Sulfat	Amoni	
Sofre	Sulfur d'hidrogen	
Ferro	Sofre	
Manganès	Ferro	
Nitrat	Manganès	
Oxigen	Monoxid de carboni	

*La mida de la lletra és aproximadament proporcional a la disponibilitat de l'element a la Terra.

hem de fer en uns termes que puguem mesurar, perquè en algun moment haurem d'enviar una nau espacial robotitzada que, a tot estirar, només podrà prendre mesures d'unes quantes variables. Tenim l'avantatge de conèixer com és la vida a la Terra. Per tant, més o menys la qüestió és: podem desenvolupar mètodes generals que sempre detectin la vida a la Terra, i aleshores enviar-los a Mart (o allà on sigui) i esperar que funcionin igual de bé? Podem desenvolupar mètodes de detecció de vida que siguin independents de les característiques de la vida terrestre? És a dir, vida sense DNA, sense RNA, sense ATP, sense proteïnes, sense lípids, sense carbohidrats... sense res. Ho podem fer? Jo crec que aquest és el repte més gran que afrontem, especialment nosaltres, els biòlegs, que sabem com és la vida, vull dir, la vida terrestre. I és un repte que hem de superar, perquè una vegada ens arribin les mostres de Mart i les obrim per analitzar-les, no n'hi haurà prou amb dir "per aquí no hi ha cap *E. coli*". Hem de ser capaços de dir que no hi ha vida sense por d'equivocar-nos. De manera que buscar vida de tipus terrestre no és suficient. I això centra la recerca de vida en les variables físiques i químiques, i no tant en les que jo anomenaria variables biològiques.

Amb la intenció d'aconseguir aquesta fita, seiem i ens preguntem: quins són els trets fonamentals que hem de poder mesurar per trobar evidències de vida? Tothom estaria d'acord en el fet que l'energia flueix a través de la vida i que la vida la fa servir per produir més còpies de si mateixa i així perpetuar-se. Si hi ha energia que canvia d'un tipus a un altre és que existeix un sistema transductor d'energia. Per tant, tindrà forma i composició, i totes dues seran complexes en comparació amb la resta de l'ambient. Sabem per l'astrofísica que podem mesurar la complexitat. De fet, la complexitat és molt fàcil de mesurar a partir d'una imatge. I una vegada coneixem la complexitat estructural, podem mesurar la complexitat química. Els nostres instruments per mesurar

la composició química només poden apuntar una zona micromètrica; per tant, només són útils si apuntem cap al punt correcte. Per això hem de trobar primer les formes i després determinar la química.

D'altra banda, existeix una aproximació energètica a la detecció de vida que consisteix a buscar taxes de consum energètic que siguin més elevades del que haurien de ser; i aleshores buscar l'aparició de productes a taxes també més altes de les esperades en processos abiòtics.

Tot això ens porta a les que jo anomeno les nostres aproximacions generals per a la detecció de vida. La primera és l'estructura i la química (trobar les estructures, determinar la química). Una cop hem trobat les estructures, aleshores estem molt ben equipats per determinar la composició elemental, fer mesures de quiralitat, fraccionament isotòpic, etc. Però el més difícil és trobar les estructures. La segona aproximació és la que anomeno termodinàmica i cinètica: podem definir el sistema en termes de quines són les seves fonts energètiques, els seus donadors d'electrons, els seus acceptors... i aleshores determinar el seu equilibri espacial i temporal? Si trobem disruptions temporals en l'equilibri, ens diran que hi ha vida. Això es detecta molt fàcilment en sistemes que formen capes com els tapets microbians. Aquestes comunitats estratificades són la millor biosignatura que tenim al planeta.

Naturalment, hi ha una cosa (probablement l'única) que, si poguéssim observar-la, ens asseguraria al 100% que hem trobat vida: el moviment no a l'atzar. No coneixem aquest tipus de moviment sense la presència de vida.

Primera aproximació: complexitat i anàlisi química

Aquí la idea general és: trobem una forma complexa i aleshores mesurem la seva química. És com buscar una agulla en un paller. I el problema important és que primer hem de trobar el paller. Aquesta és la qüestió. Com la podem resoldre?

Sabem que les roques de l'Antàrtida molt sovint estan habitades per comunitats bacterianes endolítiques. Malgrat això, detectar aquestes comunitats a Mart a través d'un petit robot motoritzat, amb una autonomia d'uns 90 dies, és força complicat. El robot pot agafar una roca, pot obrir-la i analitzar-la, la qual cosa resulta una autèntica obra d'art. Però si la roca no és l'adequada haurem perdut un preuat dia dels pocs que tenim. Així que vam buscar una solució i vam començar a fer experiments. Vam portar ous de dinosaure (fossilitzats, òbviament) a un hospital de Los Angeles i ens vam fer una pregunta molt senzilla: podríem visualitzar-ne l'interior fent servir la tecnologia de tomografia per ordinador (TO)?¹ Si mireu la fotografia de la dreta de la Figura 3, podreu veure-hi el cap d'un

¹ El tomògraf és un aparell que als hospitals es fa servir especialment per obtenir radiografies del cervell dels pacients (Figura 3, esquerra).

dinosaure, l'ull, les potes del davant, les costelles, l'esquena i les potes del darrere. Amb aquest aparell podem examinar tots els ous i, en cadascun d'ells, observar l'embrió complet en tres dimensions.

El següent pas va ser iniciar una sessió de TO per examinar petites roques. Si examinem una roca d'aproximadament un centímetre de gruix, podem arribar a observar bacteris individuals. Si mireu la imatge de la Figura 4, presa d'una roca antàrtica fent servir la TO, el que observareu és una àrea de densitat completament diferent (per això brilla com una bombeta en la imatge) a uns 2 mil·límetres per sota de la superfície de la roca. Es tracta d'una densitat d'aigua, perquè és d'aigua que està feta la vida terrestre. Això és el que volem fer quan busquem vida: buscar quelcom que sembli fonamentalment diferent. Res d'això ens demostra que hi hagi vida, però ens diu que ens hem d'aturar, obrir aquesta roca i fer-hi uns quants estudis més. És a dir, que la troballa de la complexitat no ens indica la presència de vida, però ens diu que no ho deixem

córrer fins haver fet anàlisis químiques. Els enginyers del nostre grup treballen per aconseguir que aquest aparell de TO sigui cada vegada més petit, per tal de poder-lo enviar d'aquí a un any en una nau espacial.

Quines altres coses podem fer? Un dels membres del nostre grup inventa làsers i n'ha dissenyat un de 224 nm (UV). Aquests làsers ja existeixen, i si en compreu un (no els venen a la botiga de la cantonada...), veureu que són aproximadament de la mida d'una taula d'escriptori. Però el làser que ell ha inventat és de la mida d'un bolígraf. Així que ara tenim un microscopi amb làser que podem fer servir per apuntar a una àrea microscòpica, analitzar-ne la superfície, i el que veurem gràcies a aquest feix de llum UV profund serà tot allò que estigui compost de qualsevol cosa que contingui dobles enllaços, és a dir, tot allò que tingui la capacitat de fer química redox (recordeu que no es pot fer química redox sense dobles enllaços), cosa que és una bona indicació de la presència d'organismes vius.

Com podem mesurar la complexitat? Vam aprendre dels astrofísics que hi ha molts algorismes desenvolupats que extreuen la informació d'una imatge i l'analitzen per detectar-hi les complexitats que hi pugui haver. Aquest truc el fan servir els astrofísics per classificar les galàxies. Crec que el mateix mètode, si fa no fa, pot utilitzar-se per buscar complexitats en qualsevol mostra. Pot un ordinador dir-nos on hi ha o bé on hi havia vida en una mostra? De fet, pot dir-nos si una mostra té alguna probabilitat d'albergar-hi vida, mostrant si hi ha alguna estructura complexa a l'interior.

De manera que ara tenim un robot que pot moure's per Mart, agafar una roca, realitzar una fotografia i dir-nos on troba la complexitat d'aquesta mostra. Això, de nou, no prova que hi hagi vida; però si el robot té una autonomia limitada a la superfície de Mart (i penseu en els diners que costa enviar-l'hi), és lògic que ens agradi saber cap a on hem d'apuntar els aparells que mesuren la composició química. I aquests llocs són els que presenten una certa complexitat





Figura 3. Vegeu text



estructural. Tot això només és part d'una estratègia i el més interessant fins aquí és el fet que la complexitat resulta una característica pròpia de la vida que podem detectar i mesurar fàcilment.

Com ja he indicat abans, les formes per si soles no són suficient. Una vegada tenim les formes, hem de determinar-ne la química. Podem trobar-nos moltes coses que semblin bacteris; observeu la Figura 5: la primera imatge no correspon a res més que a òxids de ferro que obtenim al laboratori, en una sola nit, a partir d'oxigen i ferro. La segona imatge ens mostra cristalls que es troben molt sovint en ambients vaporífics i que es componen de fluorur de calci. Així,

pot succeir que en un principi creguem tenir un bacteri, i aleshores, en mesurar la química, comprovem que no hi ha res més que fluorur de calci.

Si mireu ara la tercera imatge, us diré que es compon de carboni, hidrogen, fòsfor, sofre, potassi, calci... I això ens porta a l'altre punt important per a la detecció de vida no centrada en les característiques terrestres. Si fóssiu uns marcians que vinguéssiu a la Terra i estiguéssiu fent aquest tipus d'anàlisi, cada cop que trobéssiu alguna estructura amb aquesta composició, immediatament enviaríeu un missatge a Mart dient: "Hem trobat vida i està feta d'això". Perquè aquests elements químics no apareixen junts enlloc més

que on hi ha vida. Això seria un tipus de vida no centrada en les característiques de la vida marciana. I és exactament el mateix que hem de fer nosaltres quan anem a Mart; no demanem de trobar aquests elements, simplement busquem combinacions d'elements que no haurien de ser-hi, alguna cosa que sigui diferent dels minerals estàndard. Volem enviar un ordinador que no sàpiga què és la vida (tal com nosaltres la coneixem), perquè si ho sap, buscarà aquesta vida i podria passar-se per alt un tipus de vida que tingui una altra composició.

Segona aproximació: termodinàmica i cinètica

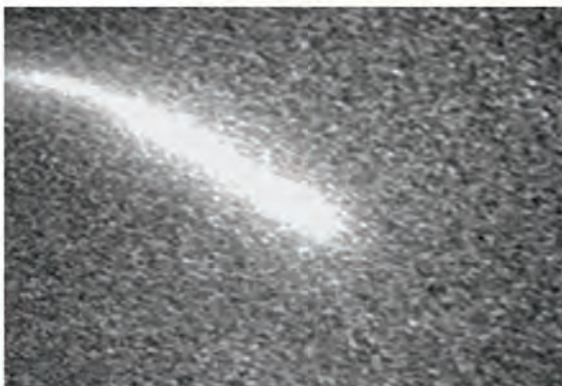
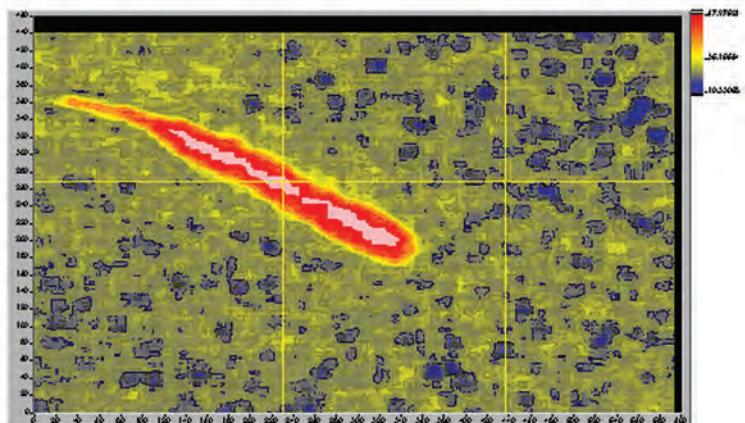


Figura 4. Vegeu text



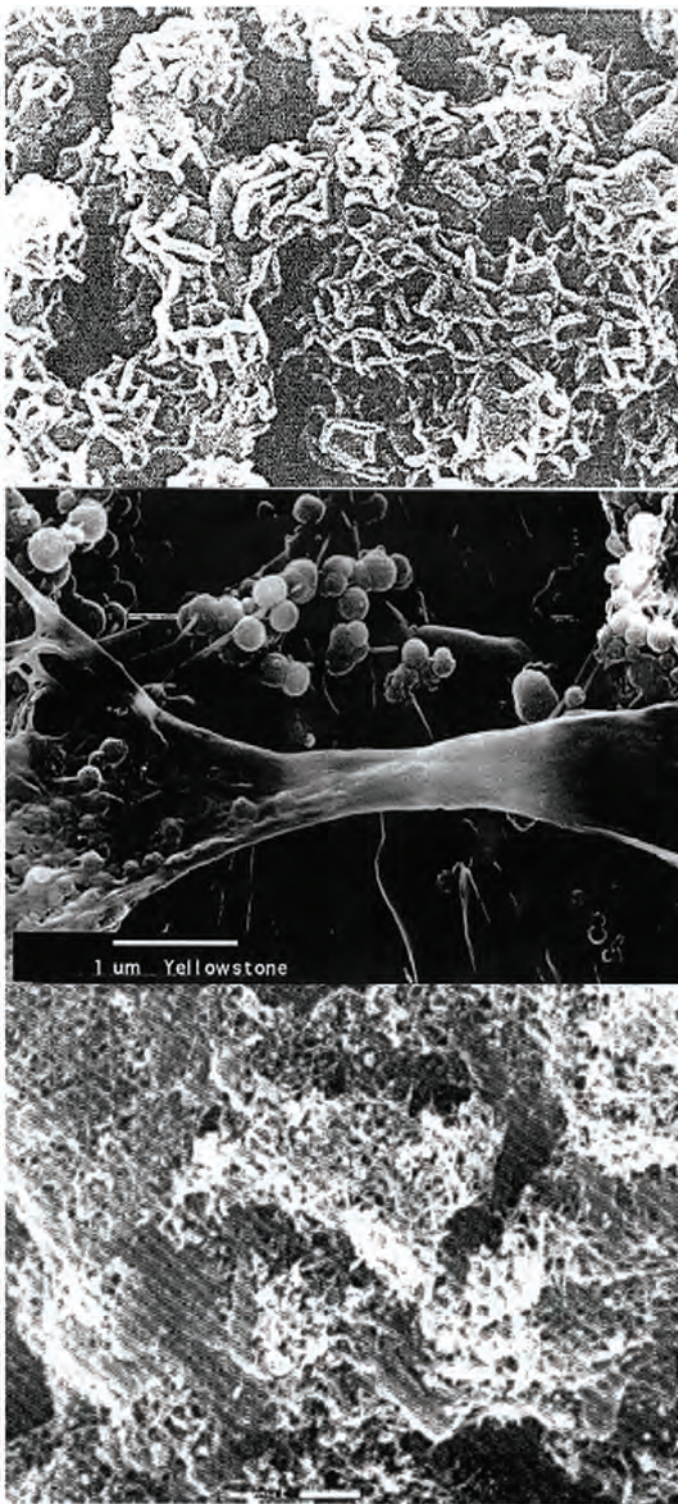


Figura 5. Vegeu text

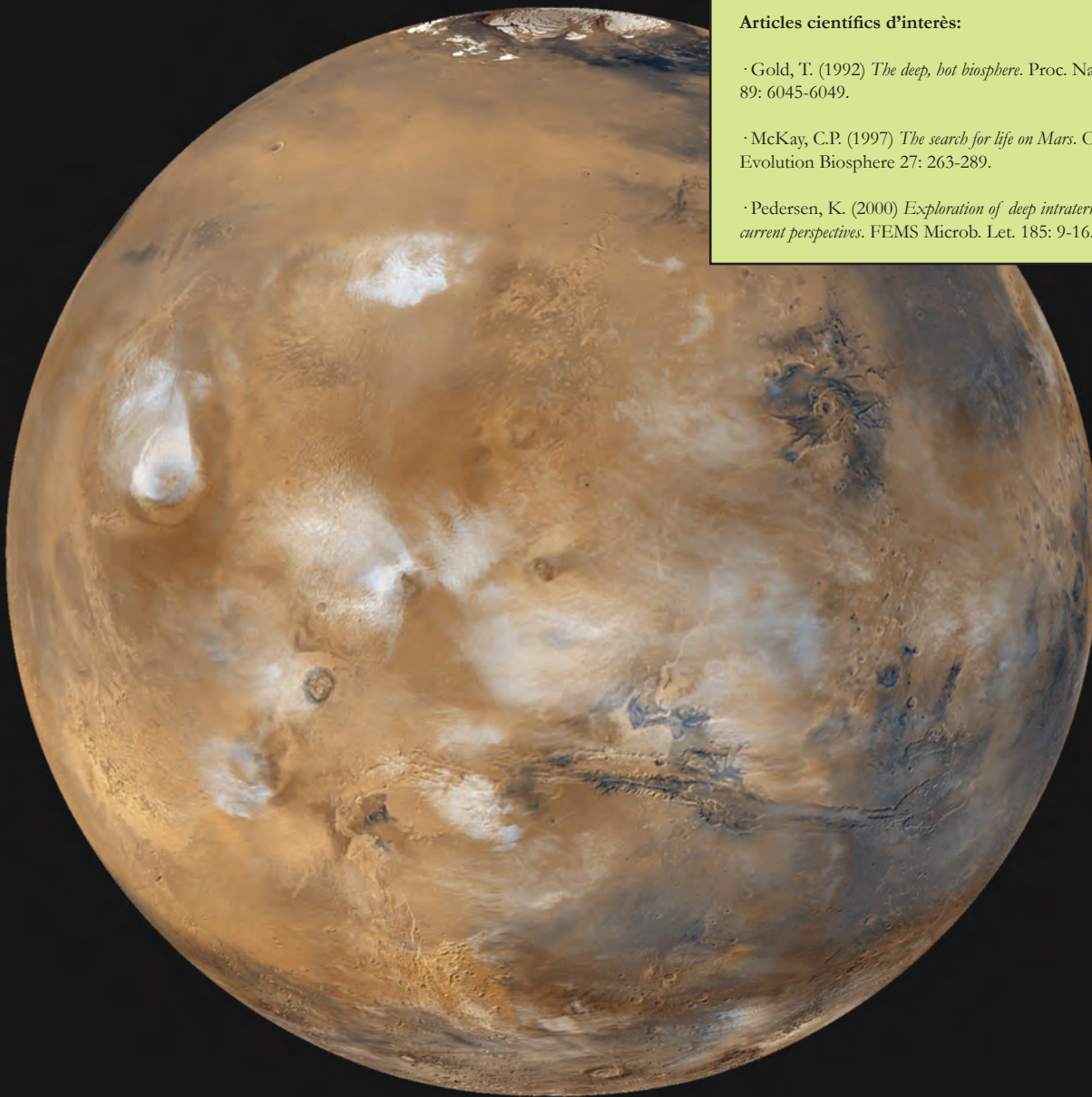
La Terra és un planeta dominat per la llum. Cada any arriben uns 178.000 TW d'energia en aquesta forma (contra els 30 TW fruit de l'activitat volcànica del planeta sencer). Tot i això, hem de recordar que els bacteris poden menjar de tot i respirar de tot. Per tant, la llum no és una font d'energia essencial per a la vida i l'evolució. Si posem en una llista tots els combustibles que un organisme pot

menjar en ordre del més energètic al menys energètic, i al seu costat, una altra llista de tot allò que un organisme pot respirar, del millor oxidant al pitjor, aleshores els podem col·locar en la mateixa escala energètica. Si a continuació connecteu qualsevol combustible amb qualsevol oxidant i observeu que aquesta determinada parella disminueix en quantitat, aleshores és molt probable que hi hagi una bacteria en aquest planeta que creixi amb aquesta energia. Tota font d'energia en el planeta és utilitzada per aquesta química redox.

Això em permet desenvolupar una nova taxonomia, segons la qual existeixen tres regnes: els físics, que fan servir energia física; els químics, que utilitzen compostos orgànics i/o inorgànics; i els biòlegs, que són predadors dels organismes dels altres regnes (entengui's la ironia). Els físics van aparèixer en aquest planeta amb la llum, però hi ha molts planetes on la llum no és la font d'energia dominant. No hem de pensar que no poden existir uns altres tipus de físics; el que succeeix és que en el nostre planeta no han tingut cap possibilitat, perquè la llum hi predomina. Els químics obtenen la seva energia transformant una substància en una altra a través d'una reacció química. Per exemple, si tenim glucosa i *E. coli* barrejats, la glucosa desapareix; si no tenim *E. coli*, aleshores la glucosa s'hi manté. Aquesta és una biosignatura de primer ordre, perquè aquest fenomen tan simple no tindria lloc sense vida. La reacció es produeix sis vegades més ràpid del que ho seria sense bacteris. A vegades, 8 o 9 vegades més ràpid, segons el substrat. Per tant, si anem a un altre planeta a buscar-hi vida, hem de preguntar-nos què hi ha i com de ràpid en desapareix. Quan trobem que una reacció química es produeix a una velocitat superior a l'habitual, podem pensar que hem fet bingo, ja que no podríem trobar res de semblant sense la vida catalitzant-hi la reacció i fent-la més ràpida.

Conclusions

Si anem a buscar vida en altres indrets de l'Univers necessitarem noves aproximacions, atès que la vida tal i com la coneixem (terrícola) no és necessàriament l'únic model de vida possible. Per definició, la recerca ha de ser interdisciplinària. També ens caldran noves tècniques i molt probablement, a menys que alguna cosa passi nedant per davant del nostre microscopi, cap resultat individual provarà mai que hem trobat vida. No hem d'oblidar mai d'estudiar primer la física, la química i la geologia de l'indret abans de buscar-hi vida, perquè aquestes anàlisis ens diran com pot ser aquesta vida. Si no hi ha vida, també ens interessa saber-ho, i també en volem saber el perquè. Molt probablement, la resposta també es trobarà en el conjunt de mesures que haurem pres. Si de fet hi ha vida, no volem que passi desaparcebuda. I finalment, i potser el més important de tot (especialment per als joves): manteniu una ment oberta; la vida podria estar davant dels vostres nassos i podríeu estar ignorant-la.



Referència:

·Friedmann, E.I. (2001) *Chains of magnetite crystals in the meteorite ALH84001: Evidence of biological origin*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 98: 2176-2

Articles científics d'interès:

·Gold, T. (1992) *The deep, hot biosphere*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 89: 6045-6049.

·McKay, C.P. (1997) *The search for life on Mars*. Origins Life Evolution Biosphere 27: 263-289.

·Pedersen, K. (2000) *Exploration of deep intraterrestrial microbial life: current perspectives*. FEMS Microb. Let. 185: 9-16.



Després de llicenciar-se en bioquímica (1965) i doctorar-se en microbiologia (1969) per la Universitat de Chicago, **Kenneth H. Nealson** va fer el postdoctorat a la prestigiosa Universitat de Harvard. Fou durant dotze anys professor d'Oceanografia a The Scripps Institution of Oceanography (Universitat de Califòrnia a San Diego). En aquest temps estudià aspectes de bioluminiscència marina, particularment fisiologia i ecologia de bacteris luminescents i organismes simbiòtics. En 1985 fou professor de Biologia a la Universitat de Wisconsin on continuà amb els seus estudis de metalls i microbis.

És membre de la junta directiva internacional dels Instituts de Biotecnologia Marina japonesos i membre del subcomitè d'Exploracions científiques espacials. Ha publicat més de 180 articles i dos llibres sobre microbiologia ambiental. Ha rebut diversos premis i reconeixements a la seva tasca científica.

Nealson és actualment catedràtic de Geobiologia a la University of Southern California, càrrec que compagina amb el de cap del Group for Life Detection, al Jet Propulsion Laboratory de la N.A.S.A. La seva recerca es centra en l'estudi d'organismes d'ambients extrems així com en l'anàlisi i possible detecció de vida en mostres procedents de Mart en futures missions.