

## UNA NOVA ECOPOESI: POSSIBILITATS DE TRANSMETRE VIDA A MART

ROBERT H. HAYNES, FRSC\*

*Department of Biology, York University, Toronto, Ontario, Canadà*

Text de la conferència que el Prof. Haynes pronuncià a la Facultat de Biologia de la Universitat de Barcelona el dia 6 de novembre de 1991, per invitació de la Societat Catalana de Biologia. Versió catalana a cura de M. Assumpció Peral i Mercè Piqueras.

### RESUM

La idea de construir una biosfera autosuficient en un planeta sense vida, procés anomenat «ecopoesi directa», era fins fa poc confinat al camp de la ciència-ficció. Mart és l'únic lloc conegut on una empresa tan audaç podria dur-se a terme. No obstant això, l'actual ambient marcià és extremament hostil, i seria altament destructiu per a qualsevol organisme que actualment hi arribés desprotegit: la temperatura superficial mitjana és de  $-60^{\circ}\text{C}$  i la seva atmosfera és prima i de baixa pressió (al voltant de 0,7 mil·libars), que conté un 95 % de diòxid de carboni, un 3 % de nitrogen i traces d'oxigen. Una seqüència general per a l'ecopoesi inclouria tres fases principals: 1) explotació generalitzada per determinar la disponibilitat de l'aigua necessària, diòxid de carboni, nitrogen i altres materials essencials per a la vida; 2) si es trobessin aquests materials, caldria desenvolupar tecnologies d'enginyeria planetària per aconseguir escalfar el planeta, i per tant, alliberar aigua i més diòxid de carboni a l'atmosfera; 3) si, un cop hi hagués aigua disponible, no sorgissin organismes autòctons, l'enginyeria biològica hauria de construir comunitats microbianes capaces de proliferar en el nou, però encara anaeròbic, ambient marcià. Òbviament, pensar a dur a la pràctica un programa d'enginyeria planetària com ara aquest originaria molts problemes filosòfics i ètics, els quals haurien d'ésser discutits per tots els estaments implicats. Ningú no sap si l'ecopoesi és científicament possible o tecnològicament factible. Un programa de recerca per valorar-ne la viabilitat proporcionaria un desafiant, encara que pacífic, objectiu per a l'activitat humana a l'espai durant el segle vinent. Els coneixements adquirits en aquest projecte, especialment els que tractessin de les interrelacions entre els planetes i la vida, serien aplicables a la resolució dels problemes ambientals de la Terra. Per exemple, hi ha un fort debat sobre les conseqüències a llarg termini de les pertorbacions ambientals a gran escala, com ara l'escalfament global, la degradació de l'ozó atmosfèric i l'hivern nuclear. La principal raó per això és que només tenim un escàs coneixement de com va originar-se la biosfera terrestre i com va mantenir-se a través de les interaccions amb l'atmosfera i els oceans. Hom ha argumentat que mai no comprendrem adequadament la biosfera terrestre fins que no haurem analitzat, si més no teòricament, com construir-ne una altra. Un estudi factible d'ecopoesi constituiria no només addicionals exploracions de Mart, sinó també estudis comparatius entre el clima i la història de la Terra i Mart, la naturalesa

\* Fellow of the Royal Society of Canada.

de la biosfera terrestre, l'anàlisi de l'origen i funcionament dels cicles biogeoquímics de la Terra, l'estudi dels factors que afavoreixen l'estabilitat dels ecosistemes i la recerca dels mecanismes ambientals. Resulta paradoxal pensar que podríem preservar la vida a la Terra mitjançant l'establiment de vida a Mart.

## SUMMARY

The idea of constructing a self-sustaining biosphere on a lifeless planet, a process called "directed ecopoiesis", is no longer confined to the realm of science fiction. Mars is the only known place where such an audacious enterprise might be carried out. However, the present Martian environment is extremely hostile, and would be actively destructive to any organisms which might arrive there unprotected today: Surface temperatures average  $-60^{\circ}\text{C}$  and it has only a thin, low pressure atmosphere (about 0.7 millibar) containing 95% carbon dioxide, 3% nitrogen and trace amounts of oxygen. A general scenario for ecopoiesis would include three main phases: 1) extensive exploration to determine the availability of adequate water, carbon dioxide, nitrogen and other materials essential for life; 2) if these materials are found, planetary engineering technologies would be developed to warm the planet and thereby release water and more carbon dioxide into the atmosphere; 3) if no indigenous organisms emerge as water becomes available, biological engineering would be necessary to construct microbial communities capable of proliferation in the new, but still anaerobic, Martian environment. Obviously, the actual implementation of any such program of planetary engineering raises many new, and serious, philosophical and ethical problems which must be addressed by all concerned people.

No one knows whether ecopoiesis is scientifically possible or technologically achievable. A research program to assess its feasibility would provide a challenging, yet peaceful, objective for human activities in space during the next century. Much of the knowledge gained, especially that on the interrelations between planets and life, would be relevant to environmental problems on Earth. For example, there is intense debate over the long-term consequences of large-scale environmental perturbations such as global warming, atmospheric ozone depletion and nuclear winter. The main reason for this is that we have only scant knowledge of how Earth's biosphere originated and how it is maintained through interactions with the atmosphere and oceans. It has been argued that we never will properly understand Earth's biosphere until we have at least analysed theoretically how to build another one. A feasibility study of ecopoiesis would entail not only further exploration of Mars but also studies of the comparative climate history of Earth and Mars, the nature of Earth's biosphere, analysis of the origin and operation of Earth's biogeochemical cycles, study of the factors which promote stability in ecosystems, and research on the mechanisms of environments. It is ironic to think we might preserve life on Earth by starting life on Mars.

## DEL QUIMÈRIC AL POSSIBLE

Cap a l'avorrit final d'una reunió de la NASA (US National Aeronautics and Space Administration) l'any 1967, vaig suggerir, una mica fent broma, que s'hauria d'examinar seriosament la possibilitat d'establir alguna forma de vida a Mart. Vaig indicar que actualment era poc probable que hi hagués quelcom vivent que habités el Planeta Vermell. Vaig fomentar aquesta conjectura en la semblança de la

superfície de Mart amb la de la Lluna, donada a conèixer per primera vegada l'any 1965 per la missió Mariner IV. Si, després de noves exploracions, es provava que Mart era un planeta estèril, no hi podia haver una objecció filosòfica a la meua proposta quixotesca. De tot això va resultar una alegre discussió. I, després dels pronosticables acudits sobre l'establiment d'una Societat Panspèrmica Celestial, vàrem concloure

una mica més raonadament que qualsevol iniciativa seria rebutjada dins el camp de l'ètica, fins i tot pels polítics: no seria pervers per part de tots jugar a Déu a escala còsmica? I, no tindria Mart els seus «drets», entre els quals s'hauria d'incloure necessàriament el «dret a la vida»?

Avui, la idea de construir un ecosistema a Mart és menys un caprici que no ho era l'any 1967. En els últims anys uns científics erudits han pensat seriosament en la darrera proposta que, per a molta gent, encara dorm al regne de la ciència-ficció. Així, no és totalment inútil preguntar-se si hi ha una dimensió ètica de l'ecopoesi que pogués interessar els filòsofs. Probablement, l'any 1967 una fantasia inofensiva va ésser inhibida per les acalorades actituds moralitzants del temps.

No podria ésser tan amoral la modificació de l'atmosfera, el clima i la superfície de Mart com el canvi d'estacions, la construcció de muntanyes per erupcions volcàniques o la deriva i col·lisió dels continents a la nostra Terra sempre mòbil i canviant (Wilson, 1963)? Observem, tanmateix, que la despreocupada discussió plantejada fa vint anys es basava en un element d'invenció i construcció humanes. Els canvis imaginats s'aconseguirien premeditadament, no sorgirien segons el curs natural de la història planetària, si Mart és un planeta biològicament mort amb una atmosfera propera a l'equilibri químic (Lovelock, 1975).

El terme *ecopoesi* és un neologisme meu. El terme fa referència a la construcció d'un ecosistema dins d'un planeta estèril i sense vida, i establir així una nova plataforma on pugui tenir lloc l'evolució biològica independentment del posterior control humà. *Terraformació* és una forma especialitzada d'ecopoesi i fa referència al desenvolupament de condicions específiques semblants a les de la Terra que culmina amb la transferència d'organismes adequats des de la Terra fins al planeta objectiu. En ambdós casos l'ecosistema s'ha de delimitar físicament dintre d'un oasi planetari, o es pot estendre globalment;

llavors s'anomenaria «ecosfera» o «biosfera». La paraula *ecopoesi* deriva de l'arrel grega *oikos*, 'habitable', 'casa', 'lloc-vivenda' (del qual deriven també *ecologia* i *economia*) i *poiesis*, 'fabricació' o 'producció' (del qual deriva *poesia* i una varietat de termes biològics com *biopoesi*, *hematopoesi*, etc.) i ja s'ha utilitzat força a les publicacions de Margulis i Sagan (1985) i Lovelock (1987).

En aquest article vull ressaltar, en primer lloc i en termes generals, el que podria i el que no podria implicar tècnicament l'ecopoesi. Després comentaré algunes qüestions filosòfiques bàsiques que en sorgeixen.

La primera estimació detallada de les perspectives per a la propagació de vida a Mart va ésser preparada a la NASA per Melvin A. Auerhanz i Robert MacElroy l'any 1976. El seu informe va ésser completat després del vol i les missions orbitals del Mariner, però just abans de l'aterratge de dues naus espacials Viking el juny i l'agost del 1976. Vàrem concloure que no semblava que hi hagués raons científiques que fessin impossible que Mart pogués suportar alguna forma de vida. Aquesta conclusió fonamental no ha canviat avui, fins i tot amb el coneixement de les dures condicions que varen ésser descobertes durant les afortunades missions Viking.

Recentment, el gener del 1988, va tenir lloc a la NASA Ames Research Center (Moffett Field, Califòrnia), una petita reunió «organitzadora» amb una dotzena de científics de la Universitat i de la NASA. Aquells assistents tenien dos propòsits: en primer lloc, avaluar les bases lògiques i practicabilitat de «terraformar» Mart, basades en la tecnologia i la informació disponible, i també en la tecnologia futura i la possibilitat de reunir informació específica de la composició i dinàmica del planeta. En segon lloc, avaluar la utilitat de desenvolupar un projecte especial dins d'aquesta àrea com un possible centre d'exploració científica, tripulada o no tripulada, a Mart durant el proper segle.

A la llum dels darrers avenços, sembla oportú despertar l'atenció dels filòsofs i del públic en

general respecte al fet que la idea de fabricar alguna classe de vida indígena a Mart no és del tot un disbarat i que dins de pocs anys podria iniciar-se un estudi factible d'ecopoesi. Respecte a això, cal recordar que no valorem prou el ritme d'avenç tecnològic. Per exemple, l'any 1933, Lord Rutherford, va afirmar públicament en una reunió de la British Association que «tothom que busqués una font d'energia en la transformació dels àtoms parlava de música celestial». D'una manera similar, el cèlebre genetista J. B. S. Haldane, l'any 1963, a l'International Congress of Genetics, declarava que la modificació genètica intencionada a l'*Homo sapiens* estava a mil·lenis de distància.

Els filòsofs tenen la característica de voler saber amb precisió allò a què s'aspira i el que implica abans de moralitzar sobre els nous projectes tècnics. En aquest cas, per desgràcia, només podem proporcionar-los-en un esbós general. Per això avui seria prematur intentar fer un judici sobre l'ètica de l'ecopoesi. Les raons són dobles. En primer lloc, el nostre coneixement de Mart és encara força limitat. No podem estar segurs que no hi hagi «barreres» a l'ecopoesi associades amb característiques geofísiques o geoquímiques desconegudes del planeta. Si existissin aquests obstacles, les tecnologies necessàries per superar-los serien inassequibles en un futur previsible o gens pràctiques en últim terme. En aquest cas, les qüestions d'ètica pràctica es tornarien discutibles. En segon lloc, no existeix un mètode per dur a terme aquest projecte, encara que se n'han suggerit guions diferents (Ober, 1981; Allaby i Lovelock, 1984). Així, no podem excloure la possibilitat que, encara que l'objectiu és desitjable, els mitjans necessaris per aconseguir-lo siguin inadmissibles. Naturalment, és essencial una exploració molt més detallada dels trets físics, químics, geològics i climatològics de Mart i, en efecte, s'està plantejant aquest fet als EUA i a l'URSS, en cooperació amb altres països (vegeu *Planetary Exploration Through Year 2000: An augmented program*, U S Government Printing Office, Washington, D C, 1986).

## DE L'ECOPOESI A LA TERRAFORMACIÓ

La idea de «terraformació» és ben coneguda, i de fet va néixer en la ciència-ficció (Williamson, 1949 i 1951; Heinlein, 1950; Allaby i Lovelock, 1984). La paraula, d'arrel llatina *terra*, significa la invenció programada d'un ecosistema com la Terra dins d'un planeta suposadament sense vida (Ober, 1981). La finalitat de la terraformació seria dotar el planeta amb una atmosfera d'oxigen, una hidrosfera i una biosfera semblants a la rèplica terrenal. Un planeta terraformat seria proveït de microorganismes, plantes i animals terrestres. Els cicles biogeoquímics, que funcionarien amb l'energia del Sol com la gran «roda de molí» de la vida a la Terra, els permetrien la supervivència i el desenvolupament. Un planeta originàriament desert i estèril esdevindria una frontera a l'espai per a l'habitació i l'explotació humanes: *Terranova* és el millor nom per a aquesta nova terra al cel. La gent podria viure i treballar allà com ho fa a la Terra. Ni es necessitarien els voluminosos equips espacials dels astronautes ni dependrien dels proveïments d'aire, aliments i aigua. A la fi, la biota *Terranova*, amb els colo-nitzadors humans, podria evolucionar segons trajectòries diferents de les de la Terra. L'objectiu de l'ecopoesi no és necessàriament aconseguir unes condicions biològiques i climàtiques com les de la Terra. Si tan sols es pogués alterar el medi ambient de Mart de manera que permetés el creixement i la proliferació de qualsevol biota, ni que fos exòtica, llavors s'hauria aconseguit el més modest propòsit de l'ecopoesi: *Vitanova* seria un nom adient per aquest jardí insòlit dins del cel. En el cas de Mart, alguns models indiquen que l'atmosfera biocompatible que fàcilment es podria aconseguir tindria una gran concentració de diòxid de carboni i poc oxigen. Amb aquestes condicions i amb una mica d'humitat al sòl podria créixer una gran varietat de microorganismes. Si l'atmosfera fos suficientment càlida i espessa, els exploradors humans podrien

viure i treballar fora de les naus espacials. A més a més, una prolífica microbiota proporcionaria una font valuosa de biomassa per aliments, energia, etc. Els astronautes establerts dins d'hàbitats tancats podrien, si ho creguessin convenient, començar la transformació de *Vitanova* a *Terranova*...

És important distingir l'ecopoesi de la biopoesi. Aquest últim és un terme tècnic que significa la formació abiòtica de sistemes bioquímics i l'aparició de «protocèl·lules» dins de la primordial «sopa orgànica», formades fotoquímicament a la Terra primitiva. És el model bàsic per a la idea d'Oparin i Haldane de la generació espontània de la vida a la Terra a partir de molècules inorgàniques (Pirie, 1937; Oparin, 1957; Miller i Orgel, 1974). La idea d'ecopoesi és diferent també de la noció de *panspèrmia*. Al segle v dC. Anaxàgores deia que els organismes creixien de terres llimoses quan eren fertilitzats amb «gèrmens eteris» (*spermata*) que el cosmos escampava (Furley, 1987). Una versió moderna d'aquesta idea va ésser proposada l'any 1906 pel cèlebre químic suec Svante Arrhenius, poc després del descobriment de les espores bacterianes (Oparin, 1957). Ell va demostrar que les espores eren prou petites i fines per ésser escampades a l'atzar des dels seus planetes d'origen, i prou resistents per ésser viables a l'espai durant el trànsit interplanetari, propulsades per la pressió de radiació de la llum dels estels. Observeu, no obstant això, que la panspèrmia no explica l'origen de la vida, només ens dóna una explicació de com podria haver arribat per casualitat a l'estèril i receptiva Terra.

Recentment, l'any 1981, Francis Crick, un dels pares de la biologia molecular, va dedicar un llibre sencer a explicar de nou la panspèrmia. No obstant això, segons Crick, la colonització bacteriana a aquestes terres no va ésser un accident, més aviat va ésser dirigida per alguna intel·ligència extraterrestre (ETI) que intentava d'impregnar un bonic i càlid pot de sopa primordial: veritablement una versió de creació especial provocada per l'avatar d'ETI. Aquesta idea misteriosa és difícil de refutar, sobretot a la llum de l'interès en l'ecopoesi.

## DE LA TERRA A MART

Existeix una «zona contínua habitable» al voltant del Sol. És la regió de l'espai on un planeta prou gran i amb una atmosfera adequada pot mantenir un clima moderat que permeti el desenvolupament de la biosfera dins d'uns períodes de temps significatius.

Càlculs recents indiquen que aquest cinturó és més ample del que es pensava. Es considera que s'estén des de dintre de l'òrbita de la Terra fins més enllà de l'òrbita de Mart (Kasting *et al.*, 1988).

McKay (1982a) fa una distinció entre els planetes biocompatibles i els biogeneratius. Els darrers són cossos còsmics amb unes constants físiques i ambientals dins dels límits necessaris per a l'origen de la vida mitjançant la biopoesi, i llavors evolucionen cap a un nivell cel·lular molt complex. Els planetes biocompatibles són aquells amb paràmetres físics que permetrien una atmosfera estable i un clima adequat per a la vida. Segons la hipòtesi de Haldane-Oparin, la Terra no és només biocompatible, sinó també biogenerativa.

Els sensors biològics del Viking no varen trobar a Mart (Horowitz, 1986) condicions excessivament desfavorables per a qualsevol forma de vida basada en el carboni. A l'estiu i a les zones temperades, la temperatura mitjana és aproximadament de  $-60^{\circ}\text{C}$ . En els emplaçaments d'aterratge dels Viking es varen descobrir variacions diürnes extremes que fluctuaven des de  $-85^{\circ}\text{C}$  fins a  $30^{\circ}\text{C}$ . La pressió atmosfèrica és molt baixa, menys d'1/100 de la Terra. El poc «aire» existent és un 95 % de diòxid de carboni, un 3 % de nitrogen, una petita quantitat d'oxigen (0,13 %) i vapor d'aigua (0,03 %). Malgrat les substancials quantitats d'aigua que deuen haver quedat atrapades en diverses cubetes geològiques, la baixa pressió atmosfèrica i temperatura indiquen un sòl molt dessecat. La fina atmosfera i la manca d'una capa protectora d'ozó permeten la penetració de radiacions solars ultraviolades i ionitzants, molt perilloses des del punt de vista

biològic. El lector interessat pot trobar més informació de les propietats físiques i ambientals de Mart al llibre de Carr (1981) i en un còmode resum del Memorandum Tècnic de la NASA 82478.

Potser la descoberta més sorprenent dels Viking va ésser l'absència fins i tot de petites quantitats de compostos orgànics. Les mostres de la superfície en els dos llocs d'aterratge, Chryse Platínia i Utopia Platínia, eren molt oxidants i, per tant, destructives per a les molècules orgàniques (Biemann *et al.*, 1977).

S'esperava que, si no hi havia hagut evolució química o biopoesi, s'hi trobaria matèria orgànica d'impacte meteorític. S'havia suggerit que les substàncies orgàniques que arribaven a Mart eren destruïdes per radiacions fotoquímiques de la radiació solar (Chun *et al.*, 1978; Hunten, 1974 i 1979). Oró i Holzen (1979) havien demostrat amb experiments de laboratori que la vida d'un gran nombre de compostos orgànics irradiats amb llum ultraviolada en condicions semblants a les de Mart fluctuava des d'unes hores a uns dies. Així, qualsevol organisme, fins i tot les més resistents espores bacterianes, que fos escampat a Mart no només deixaria de reproduir-se per manca d'aigua i nutrients, sinó que seria degradat del tot fins a pols.

Mart és un planeta extremament fred, sec i fins i tot tòxic. Tanmateix, no tot està perdut per a l'ecopoesi. Hi ha bones raons per creure que les capes pròximes a la superfície del planeta tenen quantitats importants de les matèries bàsiques necessàries per a la vida, especialment aigua i diòxid de carboni, volàtils. Per desgràcia, la disponibilitat de nitrogen és problemàtica, i la major part del CO<sub>2</sub> es troba formant part dels dipòsits de carbonats, dels quals es pot obtenir amb dificultat.

Si futures exploracions revelen l'existència de quantitats suficients de gasos i d'altres matèries bàsiques disponibles, llavors l'escenari per l'ecopoesi tindria dues fases principals. En primer lloc, una enginyeria planetària dedicada a produir una atmosfera càlida i espessa; i, en segon lloc, una enginyeria biològica per

dissenyar, construir i implantar espècies simbiòtiques capaces de proliferar i funcionar com un primitiu ecosistema dins del nou i saludable ambient de Mart (McKay, 1982b). Si l'estructura, la funció i la història evolutiva de la biosfera terrestre poden subministrar algun precedent, és clar que els primers residents de Mart haurien d'ésser els microorganismes (Krumbein, 1983; Margulis i Sagan, 1986; Schopf, 1978). La gran versatilitat química i bioquímica dels microbis en la utilització de nutrients estranys i fonts d'energia els fa bons candidats com a colonitzadors de Mart. Així, l'ecopoesi es podria definir més específicament com l'establiment d'un ecosistema microbià en un planeta estèril.

## DE L'ESTERILITAT A LA VITALITAT

Segons els càlculs preliminars de McKay (1987), Mart pot suportar una atmosfera, en gran part de CO<sub>2</sub>, càlida i estable a una pressió que sigui dues vegades la de la Terra; la temperatura ambient estaria per sobre del punt de congelació, probablement fent una mitjana de 15 °C i es produiria una petita quantitat d'oxigen per dissociació del CO<sub>2</sub> per la llum del sol.

Per produir aquesta atmosfera, s'haurien de planejar tècniques d'enginyeria per escalfar el planeta. Un petit augment de temperatura estimularia l'emissió del CO<sub>2</sub> absorbit dins del sòl i augmentaria la seva concentració a l'atmosfera. Com que el CO<sub>2</sub> és un gas que provoca l'efecte hivernacle, s'iniciaria un *feedback* positiu: com més CO<sub>2</sub> s'alliberés a l'atmosfera, més càlida es tornaria aquesta per l'efecte hivernacle. I així continuant, s'estimularien més emissions fins que tot el CO<sub>2</sub> disponible s'aniria reciclant dins de l'atmosfera. L'alliberament de vapor d'aigua també contribuiria a l'efecte d'escalfament. Quan la temperatura i la pressió de vapor de l'aigua a l'atmosfera arribessin als nivells adients, llavors plouria de nou sobre la superfície de Mart. No

obstant això, segons els coneixements actuals, l'atmosfera conté solament molt petites quantitats de nitrogen. McKay estima que si aquest procés utilitzés un 1 % de l'energia incident a Mart, llavors es necessitarien uns dos-cents anys per aconseguir l'atmosfera descrita abans. Durant aquest temps, s'haurien controlat els canvis ambientals per determinar amb precisió les condicions planetàries al començament de la segona fase de l'ecopoesi (biològica).

Els mètodes proposats per aconseguir escalfar Mart varien des d'enfocar energia solar a les regions polars mitjançant miralls espacials gegants, o disminuir la reflexió de les capes de glaç escampant-hi material absorbent pel seu cim, fins a introduir dins de l'atmosfera gasos d'efecte hivernacle com els fluorocarburs (Oberg, 1981; Allaby i Lovelock, 1984; McKay, 1982a i 1987). Malgrat l'atractiva simplicitat del sistema de *feedback* positiu per l'emissió de CO<sub>2</sub> que hem descrit abans, hem de manifestar que depèn fonamentalment de la quantitat de CO<sub>2</sub> disponible per alliberar escalfant. Si és massa petita no s'aconseguiria una temperatura suficient per produir aigua líquida amb aquest procés. A més a més, la temperatura dels casquets polars s'hauria d'augmentar per evitar la condensació del CO<sub>2</sub> alliberat en gel dins d'aquestes «trampes fredes»; si això no es pogués aconseguir la pressió atmosfèrica no creixeria fins a nivells significatius (Murray *et al.*, 1981).

Evidentment, els problemes tècnics, les despeses i els compromisos polítics per iniciar i dur a terme un projecte d'enginyeria planetària de dos-cents anys serien molt grans. No obstant, pel que fa als recursos de la nostra societat, aquest megaprojecte no seria més costós que les grans proeses del passat, per exemple la construcció de les piràmides a Gizeh o la gran muralla xinesa. De fet, no seria més costós que la perillosa «guerra de les galàxies».

El component biològic de l'ecopoesi és molt més difícil de delinear actualment. Coneixem molt poc el funcionament de la nostra pròpia biosfera, i encara menys com construir, *ab initio*, un ecosistema estable dins d'un medi

estraný. Aquí el problema és la manca de coneixement bàsic, o fins i tot una bona teoria sobre l'estructura i la funció de la biosfera.

Quan es tingui un coneixement detallat de les condicions ambientals de Mart, es necessitarà dirigir una constel·lació de microorganismes capaços de proliferar i interactuar simbiòticament com un ecosistema estable. No seria suficient portar-hi espècies senzilles i «deixar-les créixer». S'hauria de tenir en compte la naturalesa òptima, el nombre, la grandària de les poblacions, la seqüència d'arribada, la distribució geogràfica i molts altres factors. Alguns organismes podrien ser d'espècies exòtiques que viuen en ambients extrems a la Terra, per exemple, els quimiolitoautòtrofs (Clark, 1979). Si les espècies exòtiques de la Terra no fossin adequades, existeix un gran repertori d'adaptacions bioquímiques poc freqüents que es podrien fer per l'ecopoesi (Hochachka i Somero, 1984). Els gens responsables de les característiques necessàries es podrien combinar, utilitzant tècniques d'enginyeria genètica, per produir organismes artificials adients al nou ambient de Mart. Malauradament, l'especulació actual de les propietats biogeoquímiques dels possibles ecosistemes a Mart no té una base sòlida. Probablement es construirà una varietat de diferents ecosistemes microbians que utilitzaran diferents vies metabòliques per obtenir energia. Això variarà no només segons la producció de biomassa, sinó més aviat segons l'habilitat de produir oxigen per a l'atmosfera. Si l'últim objectiu és la terraformació, llavors seria essencial una primitiva biota productora d'oxigen. Tanmateix, és important adonar-se que aquest ecosistema pot no ésser òptim si tenim en compte els recursos i les condicions de Mart (Clark, 1979), especialment si el primer objectiu fos la producció local de biomassa. McKay (1987 i comunicació personal) va demostrar que Mart pot suportar una atmosfera d'oxigen i nitrogen com la Terra. Amb els coneixements actuals es podria produir amb un projecte de biota a Mart capaç de transformar el CO<sub>2</sub> de l'atmosfera i els nitrats del sòl en els

desitjats oxigen i nitrogen. Per bé que seria una atmosfera on els animals podrien respirar, seria molt freda, al voltant dels  $-40^{\circ}\text{C}$ . Tanmateix, la temperatura es podria augmentar per addició de petites quantitats de clorofluorocarboni amb «efecte hivernacle». Segons McKay, el temps necessari per aconseguir aquesta atmosfera seria d'uns centmil anys, molt llarg per a nosaltres, però no tant dins de l'escala geològica o l'evolutiva. Aquests períodes de temps tampoc no són llargs si es comparen amb els que es consideren necessaris per a la seguretat dels dipòsits de residus provinents dels reactors nuclears existents (Dormuth i Nuttall, 1987).

## DE «RÍNIXOLS D'OR» FINS A GAIA

A les faules d'infància, Goldilocks («Rínxols d'Or») és una nena que troba les farinetes del pare ós massa calentes, les de la mare óssa massa fredes, però les del fill ós són al punt. A la mitologia grega, Gaia és la reina de la Terra, mare de tot, que alimenta els seus fills i els dona béns exquisits. Les dues donzelles es perfilen a la imaginació d'alguns climatòlegs i estudiants de la biosfera de la Terra. Per als climatòlegs, el problema de Goldilocks és entendre per què, a partir de punts de partida semblants, fa  $4,5 \cdot 10^9$  anys Venus es va escalfar massa per a la vida ( $\sim 460^{\circ}\text{C}$ ) i Mart es va refredar massa ( $\sim -60^{\circ}\text{C}$ ), mentre que la Terra va romandre just al punt ( $\sim 15^{\circ}\text{C}$ ); això malgrat la baixa producció d'energia inicial quan es varen formar els planetes ( $\sim 30\%$  menys que avui dia), i l'augment gradual de la lluminositat des de llavors. Una resposta podria ésser que els tres planetes tenen climes molt diferents a causa de la seva diferent habilitat per reciclar el  $\text{CO}_2$  entre l'escorça i l'atmosfera (Haberle, 1986; Kasting *et al.*, 1988). A la Terra, el  $\text{CO}_2$  fa un circuit termostàtic de *feedback* negatiu i impedeix la pèrdua de l'efecte hivernacle, tal com va passar a Venus i a la congelació global de Mart. L'efecte del cicle és augmentar o disminuir el  $\text{CO}_2$  atmosfèric quan la

temperatura de la superfície disminueix o augmenta, respectivament. Segons això, Mart es va refredar perquè la seva mida reduïda i la gran proporció superfície-volum indiquen que va perdre la seva calor interna inicial molt de pressa. Després d'un període càlid, que va durar uns mil milions d'anys, es va refredar tant que no podia alliberar  $\text{CO}_2$  dels sediments interiors de carbonat per substituir el que s'havia perdut a l'atmosfera en forma de pluja d'àcid carbònic. Així, el cicle del  $\text{CO}_2$  entre l'escorça i l'atmosfera va ésser tallat i el planeta es va refredar i va perdre l'efecte hivernacle del  $\text{CO}_2$ . Si el nivell de  $\text{CO}_2$  atmosfèric es manté solament mitjançant un mecanisme geoquímic d'aquest tipus, aleshores qualsevol atmosfera establerta a Mart tindria una vida curta. Goldilocks consumiria les farinetes del fill ós i la història s'acabaria una altra vegada.

La hipòtesi de Gaia suggereix que la presència de vida proporciona un sistema regulador cibernètic addicional que actua homeostàticament mantenint les condicions climàtiques i geoquímiques de la Terra dins la línia necessària per a la supervivència dels organismes (Lovelock i Margulis, 1974; Lovelock, 1979; Lovelock i Watson, 1982; Kerr, 1988). Segons aquesta teoria, la vida *per se* juga un important paper mantenint la composició química de l'atmosfera ben apartada de l'estat d'equilibri abiològic. Els éssers vius no són actors solitaris dins un escenari físic i químic de la Terra. Al contrari, la biosfera, l'atmosfera, la litosfera i la hidrosfera són considerats com les parts integrants d'un sistema dinàmic de regulació i evolució planetària. Si aquesta teoria és vàlida, llavors és possible que l'ecopoesi a Mart produeixi un Gaia «nascut de nou» en el nostre planeta germà.

Dins la ciència planetària hi ha més preguntes i opinions contradictòries que respostes i teories confirmades. No obstant això, és evident que aquesta important investigació és estimulada fins i tot per un estudi viable de l'ecopoesi, independentment de si un projecte com aquest es posava en marxa o no. Els coneixements obtinguts serien d'una gran vàlua per a futures



generacions per conservar la biosfera que coneixem, i així potser es podria evitar a la Terra la mort calenta de Venus o la mort freda de Mart.

## DE LES ESPECULACIONS A LES ASSUMPCIONS

Els elements bàsics científics i d'enginyeria de l'ecopoesi i la terraformació, tal com es conceben actualment, es poden resumir en una sèrie d'assumpcions generals per a objectius d'anàlisi i discussió filosòfiques. La llista no pretén ésser exhaustiva, i totes les afirmacions poden canviar a la llum dels futurs avenços científics o tecnològics. Tanmateix, ens proporcionen un sistema d'hipòtesis per poder fixar idees i plantejar qüestions filosòfiques. Per això exposaré les assumpcions de la manera més senzilla:

1) Mart és l'únic planeta biocompatible dins del Sistema Solar, després de la Terra.

2) No hi ha vida de cap mena a Mart; és un planeta estèril.

3) Les condicions ambientals de la superfície de Mart són hostils, no solament per a totes les formes de vida de la Terra, sinó fins i tot per a l'existència de molècules orgàniques, que són les unitats bàsiques de les cèl·lules.

4) No hi ha raons científiques perquè sigui impossible l'ecopoesi a Mart.

5) S'han d'enviar nombroses missions d'exploració a Mart, tripulades o no, per obtenir nous coneixements del planeta necessaris per prendre decisions respecte al projecte.

6) Si no hi ha barreres tècniques, la primera fase de l'ecopoesi necessita un programa d'enginyeria planetària a llarg termini dissenyat per augmentar la temperatura de Mart, i produir una atmosfera rica en  $\text{CO}_2$  i quantitats importants d'aigua líquida a la seva superfície. Si, per qualsevol raó, el projecte fos avortat en aquesta fase, les condicions físiques del planeta evolucionarien cap alguna cosa similar, sinó idèntica, a l'estat actual.

7) La segona fase d'ecopoesi comportaria «semar» Mart amb un grup d'espècies microbianes capaç de formar un primitiu ecosistema. Alguns d'aquests organismes podrien ésser productes artificials d'enginyeria genètica. Aquest seria «l'ecosistema primari microbià», per distingir-lo dels posteriors ecosistemes evolucionats o enginyats.

8) Per aconseguir la terraformació s'introduiria una biota productora d'oxigen/nitrogen.

9) Fins a aquest punt tots els aspectes del projecte s'assajarien en primer lloc a la Terra utilitzant computadors i «plantes pilot» de prova dins d'un laboratori «ambient de Mart», dissenyats especialment.

10) El projecte seria molt costós, però no pel damunt de la capacitat econòmica del món industrialitzat.

11) Un programa a gran escala de missions tripulades a Mart que conduirien al desenvolupament d'hàbitats humans en «estacions de camp» seria llançat ben aviat pels EUA i l'URSS el segle que ve (Wilford, 1988).

A més d'aquestes assumpcions, hi ha qüestions tàctiques i estratègiques que s'haurien de tenir en compte si es confirmés la viabilitat del projecte com a resultat d'exploracions planetàries i proves de laboratori, per exemple:

a) ¿L'ecopoesi s'hauria de dur a terme globalment, o més bé s'hauria de confinar dins d'un «oasi», per exemple, dins de fondes valls enginyades especialment amb aquesta finalitat?

b) ¿S'hauria de conservar l'ecosistema mitjançant control regular i intervenció posterior, si fos necessària, o s'hauria de deixar evolucionar per ell mateix?

c) ¿La terraformació seria l'últim objectiu de l'ecopoesi?

De fet, hi ha d'altres aspectes importants a tenir en compte, especialment dins del camp econòmic, sòcio-polític i legal. Tanmateix, ens podem plantejar algunes qüestions filosòfiques bàsiques a la llum de les afirmacions i les qüestions esmentades.

## DE LA FILOSOFIA NATURAL A LA FILOSOFIA MORAL

Almenys hi ha dues qüestions que mereixen especial atenció. En primer lloc, té una dimensió ètica, l'ecopoesi? Si la resposta és afirmativa, llavors ve la segona: ¿l'ecopoesi tindria conseqüències insòlites que obririen conseqüències fins ara desconegudes de l'ètica pràctica i l'axiologia? La resposta a la primera pregunta és afirmativa i la resposta a la segona és un definitiu «potser».

Baso la meua resposta positiva a la primera qüestió en el fet que hi ha molta gent que afirma que les qüestions ètiques afecten no només la terraformació, sinó tot el programa de l'espai (crec que hem discutit prou l'ecopoesi en el sentit que el seu objectiu últim és la terraformació). Recentment, tot un simposi que reunia científics espacials, científics socials, filòsofs, teòlegs i advocats, va dedicar-se a moltes discussions d'ètica ambiental dins del context d'exploració i explotació del Sistema Solar (Hargrove, 1986). Les reflexions de la gent assabentada mereixen el meu respecte, sigui quina sigui la seva visió, tant si s'adhereixen a teories emotives, personals o relatives de judicis ètics. Segons això, el problema l'han de resoldre junts filòsofs i científics. Si es pot provar que l'ecopoesi *per se* és èticament neutral, la solució política de com procedir pot plantejar qüestions ètiques pel que fa als seus costos: i aquesta aventura no gastaria inevitablement el nivell de fons públic que, d'altra banda, s'hauria pogut dedicar a prioritats de la Terra que per a nosaltres tenen un sentit imperatiu i categòric, per exemple, l'alleujament de la malaltia, la pobresa i la fam? La permissió moral no implica l'obligació moral. Tanmateix, aquestes darreres qüestions no són de cap manera noves. Malauradament, no tenen gaire força per commoure l'opinió pública, tal com ho demostren les grans quantitats de diners que fins i tot els països pobres utilitzen per a despeses militars.

La resposta a la segona qüestió és menys clara, i per això la considero com un aspecte molt interessant de l'ecopoesi per als filòsofs. La idea que l'ecopoesi planteja noves qüestions fonamentals a la filosofia sorgeix de dues presuposicions: l'homocentrisme i el geocentrisme. Els principis ètics i les teories de valors, es considera que només tenen aplicació a les relacions humanes d'aquest planeta. No obstant això, és interessant conèixer que Michael Ruse (1985) ha proposat, seguint la línia de Kant, que hi ha principis ètics universals que nosaltres seguim i poden ésser seguits per extraterrestres sensibles, si són el resultat d'una evolució biològica com la que coneixem. Segons la seva opinió, la violació és un error fins i tot a Andròmeda.

Alguns filòsofs judeocristians han adoptat una visió molt personal dels valors. Per exemple, Emil Brunner (1947) afirmava rotundament que no existien valors intrínsecs i que els valors existien solament respecte a les persones. Martin Buber va sostenir que el valor és sempre el valor per a una persona, més aviat que no pas alguna cosa amb existència absoluta i independent (Friedman, 1955). Si s'adopta la posició homocèntrica, llavors, *a fortiori*, també s'ha d'ésser geocentrista perquè no tenim coneixements d'altres éssers vius a l'Univers (*pace Deo*).

Albert Schweitzer (1933) era un important crític de la posició homocèntrica. Ell argumentava que «l'home és ètic solament quan la vida és sagrada per a ell, la de les plantes i els animals tant com la dels propis homes... L'ètica de la relació d'un home amb un altre no és un fet exclusiu de l'espècie humana: és solament una relació particular que resulta d'una relació universal.»

El desenvolupament de l'ètica ambiental i el moviment d'«alliberació animal» és una manifestació de la visió bàsica de Schweitzer. El raonament de Tom Regan (1982), que els ecosistemes han d'ésser de «significació moral» per a nosaltres, és especialment adequat a

l'ecopoesi. Holmes Rolston (1986) ha seguit aquesta línia de pensament fins a la seva conclusió lògica, i donaria vàlua i consideració moral a tots els objectes d'«integritat establerta» dins el cosmos; per exemple, paisatges, marines, roques, llunes, naturalment tot el que tingui nom propi. Una ètica d'aquest tipus ni és homocèntrica ni geocèntrica. Tanmateix, la seva aplicació estricta prohibiria no sols la fase d'enginyeria planetària de l'ecopoesi, sinó molta enginyeria civil aquí a la Terra. Això també incrementa l'espectre d'una possible obligació moral per tal d'evitar a l'espai col·lisions catastròfiques de planetes i asteroides; hauríem d'aconseguir la capacitat tècnica de realitzar aquestes proeses.

Aquestes consideracions suggereixen que necessitem els filòsofs per a una nova ètica cosmocèntrica i potser una teoria revisada del valor intrínsec, si hem d'avaluar els pros i els contres morals dels projectes de l'ecopoesi d'una manera intel·ligent i sensible. Com hem vist, el primer objectiu d'aquesta ètica seria resoldre la contradicció dialèctica entre les opinions superficials del «progrés evolutiu» i l'«harmonia ecològica». Si es portessin a l'extrem, ens portarien, per un costat, a l'imperialisme humà del medi ambient, i per l'altre, a l'eliminació de tota la tecnologia, la medicina moderna i l'agricultura. Per mi, una ètica cosmocèntrica permetria un camp d'aplicació per a la creativitat a la ciència i enginyeria al Sistema Solar, i reconeixeria també que actualment nosaltres depenem de la vitalitat de la biosfera de la Terra per a la nostra existència. A més a més, reconeixeria que els productes físics de la humanitat són una part de l'Univers com les estrelles, els planetes, les plantes i els animals. Relacionat amb tot això, voldria recordar als ecologistes i devots al culte natural, l'observació de Thomas Browne al *Religio Medici*, quan va dir «totes les coses són artificials perquè la natura és l'art de Déu».

Westermarck (1932) va indicar, des de la seva posició de relativisme ètic, que els judicis morals d'observadors desinteressats consisteixen a classificar els actes en «bons» o «dolents»

segons algunes característiques comunes amb altres actes que pertanyen al mateix grup. Si l'anàlisi és exhaustiva i persuasiva, llavors sembla que hi hagi una altra raó per pensar que l'ecopoesi planteja problemes que van més enllà de l'abast de les teories ètiques tradicionals. Amb quins actes d'un «grup de referència» es podria comparar l'ecopoesi? Se m'acut la irrigació dels deserts amb fins agrícoles, però l'analogia no és bona perquè les espècies indígenes de l'àrea cultivada són normalment desplaçades o eliminades.

Recordem que la segona assumpció és que Mart és un planeta estèril. Partint de la base de l'ètica ambiental, McKay conclou que si, i solament si, no hi ha formes de vida a Mart, es pot intentar canviar-ne l'ambient global amb espècies immigrants de la Terra. No obstant això, aquest requisit pot representar un obstacle si són necessàries proves absolutes de l'esterilitat inicial del planeta. A la Terra s'han trobat organismes ben adaptats a micronínxols estranys dins de microambients que es creia que eren estèrils; els més coneguts són els líquens criptendolítics, que viuen uns mil·límetres per sota de la superfície dels gresos de les àrides valls de l'Antàrtida (Friedman 1982). A causa de la impossibilitat de poder escorcollar el planeta per trobar-hi una biota indígena, és difícil veure com podríem convèncer els crítics que el planeta és totalment estèril. Així, és possible que una total acceptació de la segona suposició impediria el projecte. El fet que les activitats de l'home hagin conduït a la quasi total extinció de les espècies a la Terra, i que al llarg de la història de l'evolució moltes espècies hagin estat eliminades per selecció natural, no creiem que siguin raons de gaire pes per als ecologistes extremistes.

Un problema semblant s'origina de la cinquena assumpció. És raonable suposar que la comunitat científica es dediqui a l'exploració i estudi de les característiques geofísiques, geoquímiques, climatològiques i paleontològiques en el seu estat primitiu, abans d'estar

d'acord amb el programa a gran escala d'enginyeria planetària per modificar-lo. Aquests estudis són costosos i requereixen molt de temps. Una altra vegada, si es porta a l'extrem, aquesta investigació pot retardar indefinidament qualsevol programa d'enginyeria planetària.

Permeteu-nos suposar que alguns resultats exclouen qualsevol possibilitat de vida a Mart, almenys per a la satisfacció d'unes persones raonables i ben informades. Permeteu-nos suposar que tenim èxit a la fase d'enginyeria planetària de l'ecopoesi i establim un primitiu ecosistema microbià. Aquesta microbiota seria indígena dins el planeta i, seguint la posició adoptada per Regan (1982, tindria algun dret a la seva pròpia trajectòria natural evolutiva. Llavors, diversos processos a nivell de mutació, selecció i deriva genètica tindrien una funció molt important per determinar les direccions i la velocitat de canvi evolutiu natural (Haynes, 1987). La teoria de l'evolució no ens permet fer prediccions d'especiacions i extincions futures. I, especialment, no podem assegurar que no s'extingissin alguns microorganismes «productors d'oxigen» (si els havíem inclòs a l'ecosistema primitiu). Així, si la terraformació fos l'últim objectiu del projecte d'ecopoesi, és probable que la biota marciana s'haurà d'atendre per assegurar el desenvolupament de la desitjada atmosfera d'oxigen. Això compromet la «llibertat» de l'ecosistema microbià primari per evolucionar d'una manera natural. Segons les bases de l'ètica ambiental de Regan (1982) sembla que la terraformació és objectable moralment encara que l'ecopoesi no ho fos. No vull repetir els arguments filosòfics i sociopolítics que s'han presentat a favor de la terraformació i que es poden trobar als escrits d'Oberg, McKay i altres. És interessant, tanmateix, que Frank Golley (1986) hagi indicat que els programes espacials de les superpotències, incloent-hi el desenvolupament dels ecosistemes terrestres, si és viable, anirà a passes de gegant pel fet que els esforços concorden amb els mites i les metàfores de la civilització occidental. Ell no veu que es pugui abandonar aquesta

gran aventura de la humanitat perquè fer-ho significaria una reorientació fonamental de la nostra cultura.

Sospito que no podrem entendre el funcionament de la nostra biosfera fins que no haurem aconseguit dissenyar-ne o generar-ne una altra. La ciència que pot néixer d'un estudi viable de l'ecopoesi potser no s'utilitzarà per a Mart, però ens proporcionarà els coneixements necessaris per mantenir el nostre hàbitat terrenal.

Immanuel Kant va concloure la seva *Crítica de la raó pràctica* amb la famosa línia «Dues coses omplen la meva ment amb creixent encant i respecte: el cel il·luminat d'estrelles sobre meu i la llei moral dins meu». Si la moralitat té arrels a la natura de les coses, llavors no és probable que l'ecopoesi s'aconsegueixi, si viola algun principi moral de l'Univers. De tota manera, si Crick té raó en la panspèrmia dirigida, és clar que el seu Prometeu extraterrestre no hi va trobar prohibicions ètiques profundes per sembrar llavors de vida a la Terra.

## BIBLIOGRAFIA

- ALLABY, M. i J. E. LOVELOCK. (1984). **The Greening of Mars**, Andre Deutsch. London.
- AVERNER, M. M. i R. D. MACELROY. (1976). **On the Habitability of Mars**. NASA Report SP-414, National Technical Information Service, U S Department of Commerce. Springfield, VA.
- BIEMANN, K. *et al.* (1977). The Search for Organic Substances and Organic Volatile Compounds on the Surface of Mars. **J. Geophys. Res.** **82**: 4641-4662.
- BRUNNER, E. (1947). **The Divine Imperative**. Westminster Press. Philadelphia, PA.
- CARR, M. H. (1981). **The Surface of Mars**. Yale University Press. New Haven and London.
- CHUN, S., K. PANG., J. A. CUTTS i J. M. AJELLO. (1978). Protocatalytic Oxidation of Organic Compounds on Mars. **Nature**. **274**: 875-876.
- CLARK, B. C. (1979). Solar-Driven Chemical Energy Source for a Martian Biota. **Origins of Life**. **9**: 241-249.
- CRICK, F. H. C. (1981). **Life Itself**. Simon and Schuster. New York, NY.
- DORMUTH, K. W. i K. NUTTALL. (1987). The Canadian Nuclear Fuel Waste Management Program. **Radioact. Nucl. Fuel Waste Manage. and Nucl. Cycle**. **8**: 93-104.

- FRIEDMAN, M. B. (1955). **Martin Buber: The Life of Dialogue**. University of Chicago Press. Chicago, IL.
- FRIEDMANN, E. I. (1982). Endolithic Microorganisms in The Antarctic Cold Desert. **Science**, 215: 1045-1053.
- FURLEY, D. (1987). **The Greek Cosmologists. Vol.II**. Cambridge University Press. Cambridge.
- GOLLEY, F. B. (1986). Environmental Ethics and Extraterrestrial Ecosystems. **E. C. Hargrove**. loc cit.
- HABERLE, R. M. (1986). The Climate of Mars. **Scientific American**, 254: 54-62.
- HARGROVE, E. C. ed. (1986). **Beyond Spaceship Earth: Environmental Ethics and the Solar Systems**. Sierra Club Books. San Francisco, CA.
- HAYNES, R. H. (1987). The "Purpose" on Chance in Light of the Physical Basis of Evolution. **Origin and Evolution of the Universe: Evidence for Design?** (J. M. Robson, Ed.). McGill-Queens University Press, Kingston ad Montreal.
- HEINLEIN, R. (1950). **Farmer in the Sky**. Ballantine Books. New York, NY.
- HOCHACHKA, P. W. i G. N. SOMERO. (1984). **Biochemical Adaptation**. Princeton University Press. Princeton, NJ.
- KASTING, J. F., O. B. TOON i J. B. POLLACK. (1987). How Climate Evolved on the Terrestrial Planets. **Scientific American**, 258: 90-97.
- KERR, R. A. (1988). No Longer Willfull. Gaia Becomes Respectable. **Science**, 240: 393-395.
- KRUMBEIN, W. E. ed. (1983). **Microbial Geochemistry**. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- LOVELOCK, J. E. (1975). Thermodynamics and the Recognition of Alien Biospheres. **Proc. Roy. Soc. Lond. B**, 189: 167-181.
- LOVELOCK, J. E. (1979). **Gaia**. Oxford University Press. Oxford.
- LOVELOCK, J. E. (1987). The Ecoipoiesis of Daisy World. **Origin and Evolution of the Universe: Evidence for Design?** (J. M. Robson, Ed.). McGill-Queens University Press. Kingston and Montreal.
- LOVELOCK, J. E. i L. MARGULIS. (1974). Atmospheric Homeostasis by and for the Biosphere. **Tellus**, 26: 1-6.
- LOVELOCK, J. E. i A. J. WATSON. (1982). The Regulation of Carbon Dioxide and Climate: Gaia or Geochemistry. **Planet. Space Sci.** 30: 795-802.
- MARGULIS, L. i D. SAGAN (1985). Biposheric Concepts. **The Biosphere Catalogue**. Synergistic Press. London
- MARGULIS, L. i D. SAGAN (1986). **Micro-cosmos: Four Billion Years of Microbial Evolution**. Simon and Shuster, Inc. New York, NY.
- Mc.KAY, C. P. (1982a) Terraforming Mars. **J. Brit. Interplanetary Soc.** 35: 427-433
- Mc.KAY, C. P. (1982b). On Terraforming Mars. **Extrapolation**, 23: 309-314.
- Mc.KAY, C. P. (1987). Making an Earth of Mars. **Planetary Report**, 7: 26-27.
- MILLER, S. L. i L. E. ORGEL. (1974). **The Origins of Life on Earth**, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, NJ.
- NASA. **Technical Memorandum 82478 (1983)**. Mars (by C. P. McKay), reprinted from **Space and Planetary Environmental Criteria Guidelines for Use in Space Vehicle Development** 1982. Revision. (Vol.I), compiled by R. E. Smith and G. S. West, NASA Scientific and Technical Information Branch. Washington, DC.
- OBERG, J. E. (1981). **New Earths**. Stackpole Books. Harrisburg, PA.
- OPARIN, A. I. (1957). **The Origin of Life on Earth**. Oliver and Boyd. London
- ORO, J. i G. HOLZER. (1979). The Effects of Ultraviolet Light on the Degradation of Organic Compounds: A Possible Explanation for the Absence of Organic Matter on Mars. **COSPAR, Life Sciences and Space Research**. (R. Holmquist and A. C. Strickland, eds.). Pergamon Press. New York, NY. 17: 77-86.
- PIRIE, N. W. (1937). The Meaninglessness of the Terms Life and Living. **Perspectives in Biochemistry**. (J. Needham and F. Green, Ed.). Cambridge University Press. Cambridge.
- REGIS, E. ed. (1985). **Extraterrestrials: Science and Alien Intelligence**. Cambridge University Press. Cambridge.
- ROLSTON, H. (1986). The Preservation of Natural Value in the Solar System. in. E. C. Hargrove. loc. cit.
- RUSE, M. (1985). Is Rape Wrong on Andromeda? An Introduction to Extraterrestrial Evolution. Science and Morality. In E. Regis. loc. cit.
- SCHOPF, J. W. (1978). The Evolution of the Earliest Cells. **Scientific American**, 239: 110-138.
- SCHWEITZER, A. (1933). **My Life and Thought, An Autobiography**, Traducció anglesa de C. T. Campion, George Allen and Unwin, Ltd., German Original, Aus Meinen Leben und Denken (1931). Felix Meiner Verlag, Leipzig
- WESTERMARCK, E. (1932). **Ethical Relativity**. Harcourt, Brace and Company, New York, NY.
- WILFORD, J. N. (1988). **Destination: Mars**, NY Times Magazine. March 20, 1988.
- WILLIAMSON, J. (1949). **Seetee Shock** (publicat originalment sota el seudònim Will Stewart), reimpressió de Mayflower Books, London. (1969).
- WILLIAMSON, J. (1951). **Seetee Ship** (publicat originalment sota el seudònim Will Stewart). reimpressió de Lancer Books, New York (1968).
- WILSON, J. T. (1963). Continental Drift. **Scientific American**, 206: 86-100.