

ELS ÉSSERS INTEL·LIGENTS

per Frank J. Tipler

14 (14/Volum 2/desembre 1981

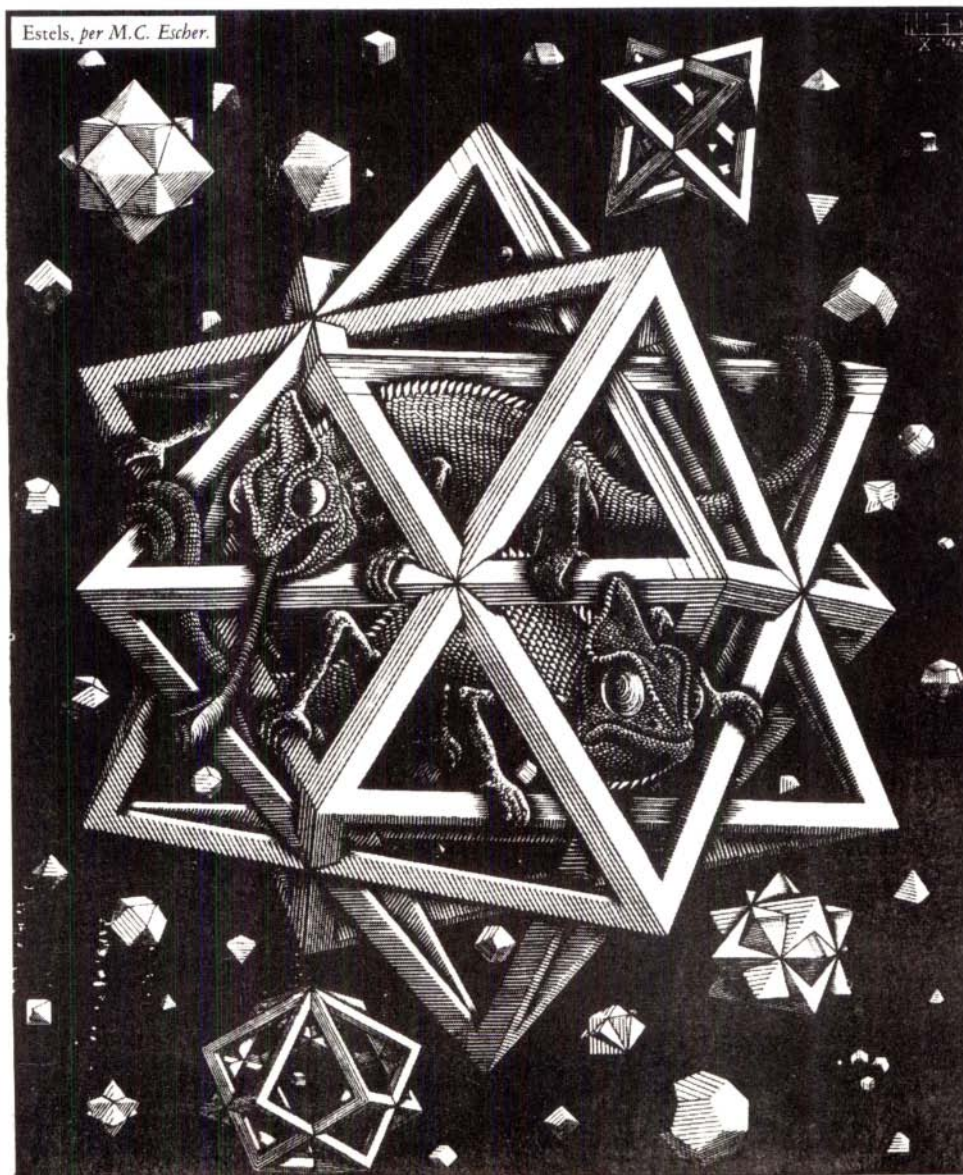
ciència 12)

Un dels centres d'atenció de l'opinió pública mundial és l'existència o no de vida extraterrestre a l'Univers. L'actitud respecte d'això ha estat sempre plural: des de la pura fe en la seva existència o inexistència fins a diversos intents d'abordar científicament el problema. L'article que reproduïm se situa en aquest darrer terreny. L'autor raona la inexistència de la vida intel·ligent fora de la Terra a partir de la manca d'evidència de naus extraterrestres al nostre planeta.

Frank J. Tipler pertany al departament de Matemàtiques de la Universitat de Califòrnia a Berkeley, Estats Units. Aquest article fou rebut el 15 de novembre del 1979 a la revista "Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society" i publicat al número 21, 1980. Traducció: Pere Serra.

INTRODUCCIÓ AL DEBAT

Una de les qüestions científiques més interessants és la de si existeixen els éssers intel·ligents extraterrestres o no. Aquesta qüestió no és nova; d'una manera o d'una altra, s'ha debatut durant milers d'anys¹. Els partidaris contemporanis de l'existència de tals éssers sembla que són bàsicament astrònoms i físics, tals com Sagan², Drake³ i Morrison⁴, mentre que la majoria dels experts més destacats en biologia evolutiva, tals com Dobzhansky⁵, Simpson⁶, François⁷, Ayala i d'altres⁸ i Mayr⁹ afirmen que la Terra és probablement l'únic planeta on hi ha vida intel·ligent, almenys entre els de la nostra galàxia. Els biòlegs diuen que el nombre de camins que menen dels organismes unicel·lulars als éssers intel·ligents és mínim quan es compara amb el nombre total de camins evolutius possibles; àdhuc si es pogués garantir l'existència de vida en 10^9 a 10^{10} planetes de la nostra galàxia, la probabilitat que la intel·ligència s'hagués produït en qualsevol altre planeta, exceptuant-ne el nostre, és molt petita. Joestic d'acord amb els biòlegs; en aquest informe mantindré que la probabilitat de l'evolució fins a criatures amb capacitat tecnològica



EXTRATERRESTRES NO EXISTEIXEN

de comunicació interstel·lar al cap dels cinc mil milions d'anys després del desenvolupament de la vida en un planeta com la Terra és menys de 10^{-10} ; així doncs, som l'única espècie intel·ligent que existeix a la nostra galàxia. La idea bàsica de la meua argumentació és senzilla i a més ha portat autors com Fermi¹⁰, Dyson¹¹, Hart¹², Simpson⁶ i Kniper i Morris¹³ a la conclusió que els éssers intel·ligents extraterrestres no existeixen: si existissin i tinguessin la tecnologia necessària per a les comunicacions interstel·lars, haurien desenvolupat també el viatge interstel·lar, i així serien presents en el nostre sistema solar. Com que ells no són aquí^{14, 15} deduïm que no existeixen. Tot i que aquesta argumentació s'ha donat abans, la seva força sembla que no ha estat prou apreciada. Provaré d'esmenar aquesta situació mostrant com una espècie intel·ligent amb tecnologia per a les comunicacions interstel·lars hauria desenvolupat necessàriament la tecnologia per als viatges interstel·lars, i aquest fet portaria automàticament a l'exploració i/o a la colonització de la galàxia en menys de 300 milions d'anys.

Per començar, hem de tenir en compte que qualsevol espècie intel·ligent que desenvolupi una tecnologia per a comunicar-se interstel·larment, també ha de tenir (o bé tindrà en poques centúries) una tecnologia que sigui almenys comparable a la que nosaltres tenim actualment en altres terrenys, en especial a tot el que fa referència a la tècnica de coets. Això és una conseqüència del principi de mediocritat¹⁶ (pel qual la nostra evolució és la típica), principi que normalment hom invoca quan s'analitza la comunicació interstel·lar. Aquesta presumpció és una de les essencials per a poder anomenar comunicació la que es fa per mitjà de la ràdio. Si no assumim que una espècie avançada coneix almenys el que nosaltres coneixem, no tenim cap raó per a creure que una espècie avançada utilitzi les ones de ràdio, ja que podria ser que no les hagués descobertes mai. En el cas de la tecnologia de coets, cal tenir en compte

que l'espècie humana la va començar a desenvolupar uns 600 anys abans que ni tan sols arribés a sospitar de l'existència de les ones de ràdio, i els actuals coets químics es poden veure com un progrés lògic de la tecnologia primitiva de coets. A més d'una tecnologia de coets comparable a la nostra, és probable que una espècie embarcada en les comunicacions interstel·lars també disposés d'una tecnologia d'ordinadors més aviat sofisticada. De fet, com ha dit Sagan¹⁷, "la comunicació amb intel·ligències extraterrestres... demanarà... si podem prendre com a guia de referència la nostra experiència en radioastronomia, uns ordinadors amb una capacitat tal que s'acosti al que en podríem dir intel·ligència". A més, els projectes Cyclops¹⁸ i SETI¹⁹ per a uns radio-telescopis destinats a investigar senyals de ràdio artificials provinents de l'espai exterior, han necessitat uns equipaments per a processar dades avançadíssims. He de suposar també que qualsevol espècie que es comprometi en les comunicacions interstel·lars ha de tenir una tecnologia d'ordinadors no solament comparable a la que nosaltres tenim actualment, sinó que ha d'ésser comparable a la que nosaltres sabem actualment que és possible, en el desenvolupament de la qual esmercem milions de dòlars cada any, i la majoria dels experts en ordinadors confien de poder-ne disposar dins del segle. Això vol dir que suposaré que una espècie com aquesta ha de tenir desenvolupat un constructor universal capaç d'autoreplicar-se, amb una intel·ligència comparable a la humana (una màquina així és la que s'hauria de desenvolupar segons els entesos en els pròxims cent anys^{20, 21, 22}) i una màquina així, en combinació amb l'actual tecnologia de coets, és el que faria possible d'explorar i/o colonitzar la galàxia en menys de 300 milions d'anys, amb una inversió inicial inferior al cost de funcionament, durant uns quants centenars d'anys, d'un far de microones de 10 MW, tal com es proposa en el SETI¹⁹. És la manca de tecnologia d'ordinadors el que ens dificulta de començar l'explora-

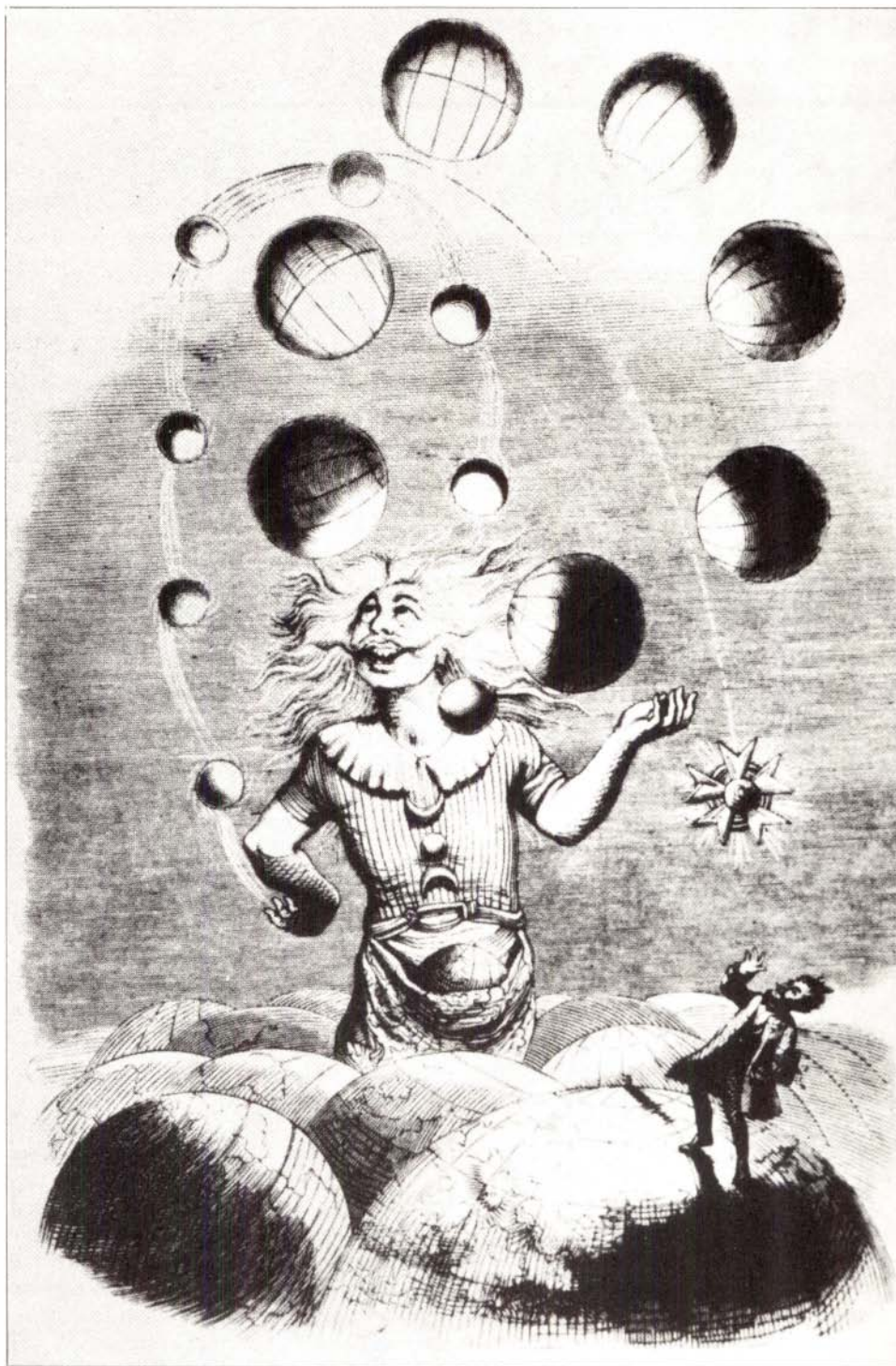
ció de la galàxia demà mateix, i no una deficiència en coets, com molts creuen.

LA TEORIA GENERAL DE L'EXPLORACIÓ I COLONITZACIÓ DE L'ESPAI

En l'exploració (o colonització) de l'espai, es tria una estratègia que faci màxima la proporció probable d'informació a obtenir (o regions a colonitzar) i faci mínims els costs de la informació, tot això sotmès als límits imposats pel nivell tecnològic. Els costs es poden fer mínims de dues maneres: primera, fent servir tant com sigui possible la tecnologia "no específica" de la investigació de l'espai, per tal de reduir la investigació i els costs de desenvolupament i investigació; segona, emprant tant com sigui possible els recursos que no es poden fer servir per a cap altra finalitat. Els recursos disponibles en qualsevol sistema estel·lar no habitat no es poden fer servir per a cap objectiu humà si no s'hi envia primer un vehicle espacial; a més, qualsevol estratègia d'exploració perquè sigui òptima ha d'emprar al màxim el material de què es disposi en un altre sistema estel·lar. Amb la tecnologia actual, aquest aprofitament no es podria pas fer de manera gaire intensiva, però amb el nivell de tecnologia d'ordinadors acceptat en l'apartat anterior, es podrien fer servir aquests recursos, d'una altra manera inútils, i es podrien utilitzar per a pagar, en part, els costs totals del programa d'exploració. El que es necessita és un constructor universal autoreproductor, és a dir, una màquina capaç de construir qualsevol giny, una vegada se li han donat els materials de construcció i el programa per a construir. Especialment, que sigui capaç de fer-se una còpia d'ella mateixa. Von Neumann ha demostrat^{23, 24} que una màquina així és teòricament possible, i de fet l'ésser humà és un constructor univer-

sal especialitzat a actuar en la superfície de la Terra. (D'aquesta manera, el programa d'exploració (i colonització) humana de l'espai, descrit en^{11, 12, 13}, és només una estratègia especial d'exploració que comentarem més endavant).

La càrrega útil d'una sonda enviada a un altre sistema estel·lar seria una màquina que s'autoreproduís amb un nivell d'intel·ligència humana (aquestes màquines, d'ara endavant en direm màquines de Von Neumann), juntament amb un dispositiu que desaccelerés la sonda una vegada arribés a un altre sistema solar, i amb un altre giny per a viatjar d'un lloc a l'altre del sistema solar que s'hagués pres com a objectiu. Aquest darrer podria ser un sistema elèctric de propulsió²⁵ o bé una vela solar²⁶. Aquesta màquina hauria de ser capaç de buscar els materials de construcció necessaris per a reproduir-se ella mateixa i reproduir els motors originals del coet de la sonda. A partir de les observacions del nostre propi sistema solar²⁷, de les dades que tenim d'altres sistemes solars²⁸ i de la gran majoria de les teories contemporànies sobre la formació del nostre sistema solar²⁹, aquests materials estarien disponibles en qualsevol sistema solar —incloent-hi els sistemes d'estrelles binàries— en forma de meteorits, asteroides, cometes i altres deixalles provinents de la formació de cada sistema solar. Siguin els que siguin, els elements necessaris per a reproduir una màquina de Von Neumann estarien a l'abast, provinents d'una font o d'una altra. Per exemple, el material constitutiu dels asteroides és molt diferent; hi ha molts asteroides que són formats bàsicament per ferro i níquel, mentre que n'hi ha d'altres que porten grans quantitats d'hidrocarburs²⁷. A mesura que les sondes espacials s'anessin fent, serien enviades als estels més propers a l'estel objectiu. Quan aquestes sondes arribessin a aquest estel, el procés es repetiria, i així fins a haver explorat tots els estels de la galàxia. Un cop hagués fet el nombre necessari de còpies, la màquina de Von Neumann es programaria per explorar el sistema solar en el qual es trobés i trans-

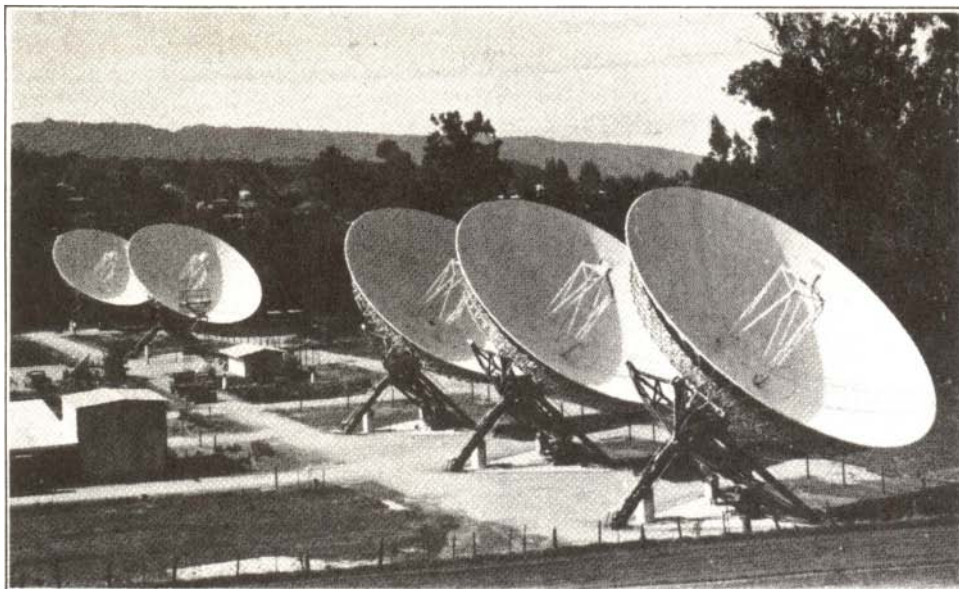


metria la informació recollida al sistema solar a partir del qual va començar l'exploració. A més, les màquines de Von Neumann es podrien programar per realitzar, en el sistema solar en el qual es trobessin, les investigacions científiques que no poguessin ser dutes a terme en el sistema solar original.

Les màquines de Von Neumann es podrien fer servir per a colonitzar el sistema estel·lar. Fins i tot si no hi hagués planetes en el sistema solar en el qual es trobés (aquest sistema podria ésser en dels formats per estrelles binàries amb algunes restes semblants als asteroides), la màquina de Von Neumann es podria programar per transformar part d'aquest material en una colònia d'O'Neill³⁰. Per tal de tenir habitants per a una colònia d'aquestes, cal remarcar que tota la informació necessària per a manufacturar un ésser humà es troba en els gens d'una cèl·lula humana simple. Així, si una espècie intel·ligent extraterrestre disposés dels coneixements necessaris per a sinte-

titzar una cèl·lula viva (i alguns experts diuen^{31, 32} que la raça humana podria tenir aquests coneixements en uns trenta anys), podria programar la màquina de Von Neumann per sintetitzar un òvul fertilitzat. Si tingués també una tecnologia de matrius artificials (aquesta tecnologia, en els seus estadis més primitius ja ha començat a ser desenvolupada a la Terra³³), aleshores podria programar la màquina de Von Neumann per sintetitzar membres de la seva pròpia espècie, fora del seu sistema solar. Com suggereix Eiseley³⁴, aquests éssers podrien ser educats fins a l'edat adulta per robots en una colònia O'Neill, i després serien lliures per a desenvolupar la seva pròpia civilització en un altre sistema estel·lar.

Alguna vegada s'ha suggerit³⁵ que d'altres sistemes solars podrien ser colonitzats enviant-hi sondes amb cèl·lules congelades. Tot i això, encara no s'ha demostrat^{36, 39} que aquestes cèl·lules romanguessin vives durant les llargues temporades necessàries per a recórrer les distàncies



Radiotelescopi de la Universitat de Stamford (EUA): a l'escolta dels estels.

que hi ha entre les estrelles. Aquesta dificultat no existeix en el sistema de què hem parlat abans; la memòria de l'ordinador de la màquina de Von Neumann pot ser construïda de tal manera que sigui estable en períodes de temps molt llargs. Si semblés que la informació necessària per a sintetitzar un òvul hipotequès la capacitat d'emmagatzemar dades de l'ordinador de la màquina de Von Neumann, aquesta informació es podria enviar a la màquina mitjançant microones en el moment que hagués de començar a sintetitzar, o bé, quan hagués pogut construir-se una capacitat d'emmagatzemar suficient en l'altre sistema solar. El punt clau és que una vegada s'ha enviat una màquina de Von Neumann a un altre sistema solar, la totalitat dels recursos d'aquest sistema estan a l'abast de l'espècie intel·ligent que controla la màquina de Von Neumann; tot tipus de projectes que d'una altra manera serien massa cars esdevenen possibles. Fins i tot seria possible programar la màquina de Von Neumann per a construir un poderosíssim radiofar amb el qual enviar senyals a d'altres espècies intel·ligents!

D'aquesta manera el problema del viatge interestel·lar s'ha reduït al problema d'enviar una màquina de Von Neumann a un altre sistema estel·lar. I això es podria fer, fins i tot, amb l'actual tecnologia de coets. Per exemple, Hunter ha assenyalat^{40, 41} que, fent servir un coet oscil·lant Júpiter per a acostar-se al Sol i donant-li un impuls quan es trobés al periheli, hom podria aconseguir una velocitat d'escapament del sistema solar (v_{es}) d'uns 90 km s^{-1} ($\sim 3 \times 10^{-4} c$), comptant amb els coets químics actuals, en el supòsit que el llançament es fes des de la Terra. Com s'ha comentat en les referències^{28 i 29}, la majoria de les altres estrelles han de tenir planetes (o bé estrelles companyants) amb unes característiques prou semblants a les del sistema Sol-Júpiter per tal de poder emprar aquesta estratègia de llançament, i el coet s'ha de poder desaccelerar en arribar a un altre sistema solar. La raó de massa μ (relació entre la massa de la càrrega útil i la massa del llançament

inicial), per a l'acceleració inicial, seria 10^3 , i així la totalitat del viatge requeriria $\mu < 10^6$ o menys, ja que el número que es dona per suposat per a un llançament des de la Terra és de 10^3 , més aviat alt, però a l'abast. Solament amb un coet oscil·lant Júpiter la velocitat de sortida podria ser $\sim 1,5 \times 10^{-4} c$, amb $\mu = 10^3$. La càpsula Voyager tindrà⁴² una velocitat de sortida solar de més o menys $0,6 \times 10^{-4} c$, amb $\mu = 850$.

Sembla raonable suposar que qualsevol espècie intel·ligent desenvoluparia una tecnologia de coets capaç de fer un viatge almenys d'anada i amb desacceleració en l'altre sistema estel·lar, i amb una velocitat de creuer de $3 \times 10^{-4} c$.

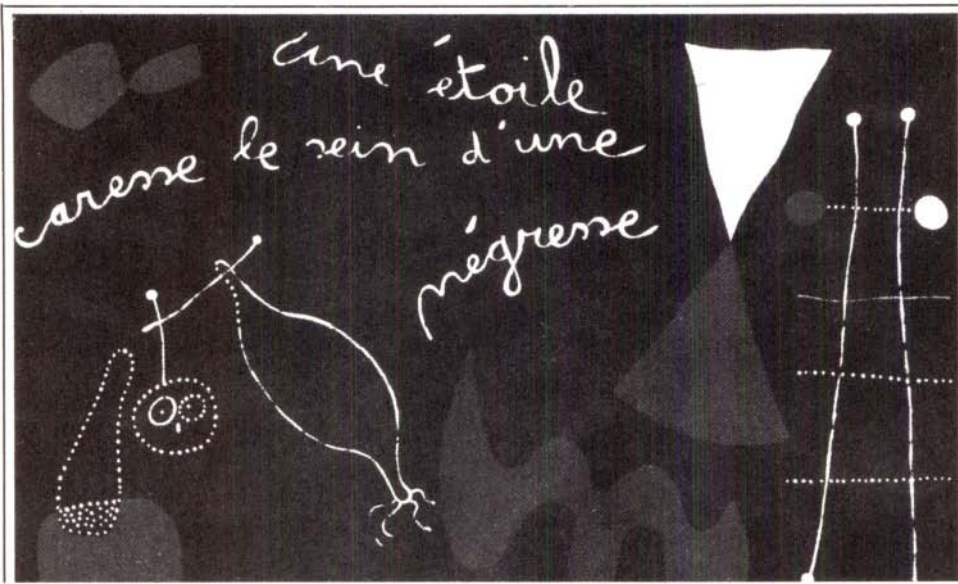
A aquesta velocitat el temps de durada del viatge a les estrelles més properes seria de 10^4 a 10^5 anys. Un viatge de tan llarga durada necessitaria un sistema d'autoreparació altament desenvolupat, i aquest hauria d'ésser possible amb el nivell tecnològic dels ordinadors que es poguessin portar amb la càrrega⁴³. És podrien desenvolupar fonts d'energia nuclear que subministressin energia per a un viatge tan llarg. Tot i això l'energia nuclear no es veu necessària. Si s'utilitzés molt poca energia durant la durada de la caiguda lliure, aquesta es podria subministrar sobrerament mitjançant reaccions químiques. Tenint en compte que v_{es} és del mateix ordre que la velocitat de moviment de les estrelles fortuïtes, seria necessari un sistema de guiatge altament precís, però això no sembla un problema insuperable amb l'actual nivell de tecnologia d'ordinadors.

Per raó de la llarga durada dels viatges, es diu sovint⁴⁴ que les sondes interestel·lars serien obsoletes abans de la seva arribada. Tot i això en el seu sentit fonamental una màquina de Von Neumann no pot ésser mai obsoleta. La màquina de Von Neumann es podria programar per tal que construís els darrers ginys a la seva arribada a l'estrella objectiu.

És massa restrictiu tenir en compte només l'actual tecnologia de coets. És com si una espècie intel·ligent avançada desenvolupés una tecnologia de coets fins

al nivell que avui mirem com a tècnica-ment possible. Per exemple, el coet amb impulsió nuclear del projecte Orion⁴⁵ dissenyat amb una velocitat de sortida del sistema solar v_{es} de $3 \times 10^{-2} c$, amb $\mu = 36$ només per al viatge d'anada i amb desacceleració a l'arribada a l'estrella objectiu. El cost de la sonda seria de 3×10^{12} (preus del 1979), gairebé tots els diners serien per al combustible de deuteri. Això és més o menys l'actual Producte Nacional Brut dels Estats Units. El projecte Daedalus⁴⁶, l'estudi d'una sonda interestel·lar fet per la Societat Interplanetària Britànica, pensat per a un viatge a les estrelles per mitjà d'un coet nuclear (sense desacceleració a l'arribada a l'estrella objectiu), amb $v_{es} = 1,6 \times 10^{-1} c$, $\mu = 150$, i un cost de 9×10^{11} dòlars. Com abans, gairebé la totalitat del cost és per al combustible heli-3 (preus del 1960). Amb desacceleració a l'arribada a l'estrella objectiu, $\mu = 2 \times 10^4$, el cost seria d' $1,4 \times 10^{14}$ dòlars, o unes cent vegades el PNB dels Estats Units. Caldrien cents d'anys per a extreure la quantitat necessària d'heli-3 de la font d'heli que es va pensar en el projecte Daedalus l'atmosfera joviana.

El cost d'unes sondes d'aquest tipus està bastant més enllà de les possibilitats de la civilització actual. Tot i això cal veure que la major part del cost és per al combustible. Construir la sonda i provar-la seria relativament poc car. Una estratègia possible d'investigació interestel·lar seria dissenyar una sonda capaç de $v_{es} = 0,1 c$, gravar els detalls de la construcció en una màquina Von Neumann, llançar aquesta màquina mitjançant un coet químic a $3 \times 10^{-4} c$ fins al sistema estel·lar més proper, i programar la màquina per construir i alimentar diverses sondes d'alta velocitat ($0,1 c$) amb una càrrega de màquines de Von Neumann en l'altre sistema. Quan aquestes sondes arribessin a les seves estrelles objectius, serien programades per a construir sondes d'alta velocitat i així anar fent. D'aquesta manera la inversió feta en la investigació interestel·lar per espècies intel·ligents és mínima, mentre que fa màxima la velocitat a la qual s'ex-



plora la galàxia. (Les màquines de Von Neumann es podrien programar per al desenvolupament de la tecnologia necessària en l'altre sistema. Això reduiria encara més la inversió inicial). El desavantatge és, sens dubte, que durant 10^4 anys, no arribaria cap informació al sistema solar provinent d'un altre sistema. Hi ha com un "desavantatge comercial" entre el cost de la primera sonda i el llarg interval de temps que l'espècie intel·ligent hauria d'esperar abans de rebre qualsevol informació d'un altre sistema estel·lar. Però amb la segona generació de sondes $v_{es} = 0,1 c$, podrien ésser explorats sistemes solars nous a una mitjana d'uns quants per any, al cap de 10^3 anys del llançament original. L'espècie intel·ligent només necessita tenir paciència i llançar la quantitat suficient de sondes inicials a $v_{es} = 3 \times 10^{-4}$ de manera que almenys una reeixís a reproduir-se ella mateixa diverses vegades (o a construir una sonda d'alta velocitat). Aquest nombre dependrà de la mitjana de fracassos. El projecte Daedalus⁴³ fou pensat amb una raó de fracàs en la seva missió de 10^{-3} , i els dissenyadors consideren factible aquesta raó de fracàs, tenint en compte un sistema de reparació en la sonda. Si adoptem aquesta raó de fracàs i suposem que els fracassos són estadísticament independents, es necessitaria llançar solament tres sondes per tal de reduir les possibilitats de fracàs a 10^{-12} . Basant-nos en l'actual tecnologia de coets, el cost d'una sonda inicial de baixa velocitat seria menys d' 1×10^9 dòlars, ja que les sondes Von Neumann es farien elles mateixes i els costos d'investigació i desenvolupament serien molt baixos. (Les màquines de Von Neumann serien útils per a uns altres objectius⁴⁶). Així l'exploració de la galàxia ens costaria uns tres mil milions de dòlars, una dècima part del programa Apollo.

Per tal de fer màxima la velocitat d'exploració i/o colonització, s'ha de minimitzar $[(d_{av}/v_{es}) + t_{const.}]$, on d_{av} és la distància mitjana entre les estrelles i $t_{const.}$ és el temps que necessita una màquina de Von Neumann per a reproduir-

se ella mateixa i reproduir la sonda espacial. El temps $t_{const.}$ serà més llarg per a les sondes $v_{es} = 0,1c$ que per a les sondes $10^{-4} c$. Suposaré el mínim que es podria fer per $v_{es} = 5 \times 10^{-2} c$ i $t_{const.} = 100$ anys. Amb $d_{av} = 5$ anys llum, ens dona una velocitat d'expansió de $2,5 \times 10^{-2}$ anys llum/any, i així la galàxia es podria explorar en 4 milions d'anys. Per als objectius d'aquest article he de tenir només en compte l'actual tecnologia de coets, la qual donaria una velocitat d'expansió de 3×10^{-4} anys llum/any, explorant així la galàxia en 3×10^8 anys (amb $t_{const.} < 10^3$ anys).

Una vegada ha començat l'exploració i/o colonització de la galàxia, aquesta pot ser portada a terme de manera semblant a la teoria matemàtica de la colonització de les illes, una teoria desenvolupada molt extensivament per MacArthur i Wilson^{47, 48}, ja que les illes en l'oceà s'assemblen bastant a les estrelles en el cel, i les màquines de Von Neumann són bastant similars a l'espècie biològica. Hi ha diverses conclusions generals que poden ésser aplicades a l'exploració i/o colonització interstel·lar partint d'aquesta teoria. Primer, hi ha dues estratègies bàsiques de comportament, l'estratègia r i l'estratègia K , les quals s'adoptarien en les diferents fases de la colonització. r és la raó neta de reproducció i K és la capacitat de resistència del medi. L'estratègia r és la de la reproducció ràpida a expenses de tota la resta, i és la que se seguiria als primers estadis de la colonització, mentre que l'estratègia K és menys dura que r i dona més importància a conservar l'entorn ecològic en el sistema estel·lar que sigui l'objectiu. L'estratègia K es faria servir quan el sistema solar hagués estat colonitzat durant un cert temps, i el resultat seria enviar unes quantes sondes a d'altres estrelles. Durant els darrers segles la societat occidental ha estat una societat que ha seguit l'estratègia r , però a mesura que es va arribant al límit de la capacitat de l'ambient, es comença a adoptar l'estratègia K . Segonament, la teoria de MacArthur-Wilson suggereix⁴⁹ que la fracció de sondes que arriben a una dis-

tància d del sistema de llançament és $\sqrt{2}/\pi [\exp(-d^2/2)]/d$, que donaria una velocitat d'exploració del doble del valor $2,5 \times 10^{-2}$ anys llum/any amb sondes a $v_{es} = 5 \times 10^{-2} c$.

CONDICIONAMENTS ASTROFÍSICS EN L'EVOLUCIÓ D'ESPÈCIES INTEL·LIGENTS

La probabilitat que una vida intel·ligent, que provi d'assolir comunicació interstel·lar, es desenvolupi en un sistema estel·lar s'expressa per l'equació de Drake:

$$p = f_p n_e f_i f_l f_c$$

on f_p és la probabilitat que el sistema solar del qual parlem tingui planetes, n_e és el nombre de planetes habitables del sistema solar (que en tingui), f_i és la probabilitat que la vida evolucioni fins a vida intel·ligent en un planeta que en tingui i f_c és la probabilitat que un planeta amb vida intel·ligent provi d'establir comunicació interstel·lar al cap d'uns cinc mil milions d'anys d'haver-se donat la vida en aquest planeta. El límit del temps f_c és una dada tàcita en totes les discussions sobre l'existència de vida extraterrestre. S'ha de considerar un temps d'uns cinc mil milions d'anys, més o menys, per tal de poder establir el nombre de civilitzacions existents tot emprant l'equació de Drake. Per exemple, si f_c fos una distribució gaussiana amb un màxim de $t = 30.000$ milions d'anys i $\sigma = 1.000$ milions d'anys, aleshores seriem l'única civilització a la galàxia. La probabilitat que acabem de descriure és certa si suposem que, o bé f_c té el seu màxim en 5 mil milions d'anys després de la formació del sistema planetari, o bé tenim una distribució gaussiana amb un $t_{màxim} < 6$ mil milions i $\sigma > 1$ miler de milions d'anys.

El problema de l'equació de Drake és que solament f_p i, en un grau més petit, n_e es

poden comprovar experimentalment. Per a poder trobar la probabilitat amb un grau molt alt de fiabilitat, cal tenir una mostra molt àmplia; per f_1 , f_i , i per f_c només tenim un cas obvi, que és la Terra. Tot i això, si acceptem la premissa ja mencionada que qualsevol espècie intel·ligent, que provi d'establir comunicació interstel·lar, començaria el seu programa d'exploració al cap de cent anys d'haver desenvolupat la tecnologia necessària per a la comunicació interstel·lar, aleshores, el que hem dit abans es pot ampliar a tots els sistemes estel·lars que tenen més de $t_{\text{edat}} = 5$ mil milions d'anys sumat a t_{ex} , on $t_{\text{ex}} \leq 300$ mil milions d'anys, que és el temps necessari per a estendre's a tota la galàxia. És a dir, la probabilitat de Drake, p és menor o igual que $1/N$, on N és el nombre de sistemes més vells que t_{edat} , ja que totes aquestes estrelles, partint dels pressupòsits de l'equació de Drake, eren candidats potencials per a permetre l'evolució fins a espècies intel·ligents, però no han arribat a fer-ho, car si aquestes espècies haguessin evolucionat dins dels primers 5 mil milions d'anys a partir de la formació dels estels, llurs sondes ja estarien presents en el nostre sistema solar, i, per ara, llurs sondes no són aquí^{14, 15}. Com que f_D i n_e es poden determinar mitjançant mesuraments astrofísics, el fet que éssers intel·ligents extraterrestres no hagin fet acte de presència en el nostre sistema solar ens permet de fer una mesura astrofísica directa del límit superior del producte $f_1 f_i f_c$, que només depèn de factors biològics o bé sociològics.

Aquest argument dona per suposat que els cinc elements de l'equació de Drake no varien molt ràpidament amb l'evolució de l'edat de la galàxia. L'evidència de les dades astrofísiques de què disposem i la majoria de les teories de la formació del sistema solar indiquen que aquesta suposició és vàlida. La formació de sistemes solars necessita que el gas interstel·lar sigui suficientment enriquit per "metalls" (els elements més pesants que l'heli). La majoria dels experts estan d'acord^{29, 31-33} que una part molt impor-

tant dels metalls existents es van formar en estels molt massius en els primers anys de la història de les galàxies, o sigui durant els 100 primers milions d'anys, i que l'abundància dels metalls gairebé s'ha doblat des d'aleshores. L'evidència^{34, 35} ens dona una edat per a la galàxia d'11 a 18 mil milions d'anys, i se suposa que la velocitat de formació d'estrelles ha anat disminuint exponencialment des del principi de la formació dels elements pesants. La teoria existent de la formació dels estels és incapaç de decidir definitivament si la dita funció de massa inicial, és a dir, el nombre d'estels que es formen per unitat de temps amb masses entre m i $m + \Delta m$ varia amb el temps després de la formació dels estels³¹. A més, no és clar del tot fins a quin punt la velocitat de formació dels planetes com la Terra depèn de l'abundància de metalls^{36, 37}. Tot i això, l'evidència de l'observació³¹ no ens indica una variació molt gran de la funció de la massa inicial o de la velocitat de formació dels planetes com la Terra amb el temps. He de suposar que aquestes són més o menys constants, i la majoria de les discussions sobre l'existència d'éssers intel·ligents parteixen de la mateixa suposició^{38, 39}. Els factors f_a , f_i , f_c no depenen gaire de l'evolució de la galàxia en conjunt, (tot i això vegeu⁶⁰⁻⁶²), per tant els podem fer servir com a constants. Ja que la galàxia té d'11 a 18 mil milions d'anys, el nombre N d'estels més vells de 5,3 mil milions d'anys és més o menys el doble del nombre d'estels que s'han format després del Sol, i aquest és més o menys igual al nombre d'estels a la galàxia, 10^{11} . Així $p \leq 10^{-11}$. Si acceptem els valors usuals de $f_D = 0,1$ a 1 i $n_e = 1$, valors que es troben en la majoria de les discussions sobre comunicació interstel·lar^{2, 18}, aleshores $f_1 f_i f_c \leq 10^{-10}$. El nombre de civilitzacions capaces d'una comunicació existents en la nostra galàxia és menys o igual que p multiplicat pel nombre d'estels en la galàxia = 1; és a dir, nosaltres.

Aquesta conclusió que som l'única civilització tècnica que ara existeix en la nostra galàxia no depèn de cap argument

biològic o sociològic, excepte si suposem que les civilitzacions que poden comunicar comencessin ara un viatge interstel·lar; tampoc no depèn de f_D o n_e . Això es pot deduir de la hipòtesi del viatge interstel·lar, de la suposició que el medi galàctic no hagi canviat en més d'un factor 5 al llarg de tota la seva història, i del fet (?) que les sondes extraterrestres no estan presents en el nostre sistema solar.

MOTIVACIONS PER A LA COMUNICACIÓ I EXPLORACIÓ INTERSTEL·LARS

Es fa molt difícil de construir un escenari plausible en el qual una espècie intel·ligent desenvolupi i mantingui durant segles l'interès per la comunicació interstel·lar juntament amb la tecnologia que això pressuposa i que encara no hagi començat els viatges interstel·lars. Fins i tot si adoptem el punt de vista, pessimista per cert, que totes les espècies intel·ligents parin de cop els seus esforços per establir comunicacions interstel·lars, abans d'haver desenvolupat una màquina de Von Neumann, ja sigui perquè han perdut interès o perquè es destrueixin entre elles mitjançant una guerra nuclear, la conclusió que nosaltres som l'única espècie intel·ligent en la galàxia que té interès en les comunicacions interstel·lars no varia. En aquest cas, la durada L d'una civilització que tingui interès en la comunicació interstel·lar és menor o igual que 100 anys (fent servir les opinions dels nostres experts en ordinadors segons les quals és el temps que es necessita per a fer una màquina de Von Neumann); com que l'equació de Drake dona una $n = R_* p L$, essent n el nombre de civilitzacions que podrien comunicar existents en la galàxia, obtenim $n = 10$, fins i tot si fem servir les estimacions optimistes de Sagan que considera $R_* p = 1/10$. (El nombre R_* és la velocitat mit-



jana de la formació dels estels). Aquest valor de n és essencialment el mateix que $n \sim 1$, que havíem assolit en les conclusions d'abans; en qualsevol cas, aquestes civilitzacions de vida tan breu, en general estarien massa allunyades i viurien poc de temps per a embarcar-se en les comunicacions interstel·lars. Si $L \geq 100$ anys, de manera que l'espècie tingués temps de desenvolupar una certa tecnologia de sondes, el valor de L és irrellevant per a calcular p . Una vegada s'haguessin llançat, les sondes explorarien la galàxia automàticament; la mort de la civilització que les hagués llançat no les pararia. Aleshores ens quedem amb la possibilitat que, per alguna raó, éssers intel·ligents amb la tecnologia i el desig necessaris per a establir comunicacions via ràdio, no fessin servir aquesta estratègia per la senzilla raó que fos el que han *escollit*, no pel fet que no fossin capaços tecnològicament de fer-ho.

No hi ha cap bona raó per a creure això. Virtualment, qualsevol raó per iniciar una comunicació via ràdio és a la vegada un fort argument per a l'exploració de la galàxia. Per exemple, si la motivació per a la comunicació és l'intercanvi d'informació amb una altra espècie intel·ligent, aleshores, com ha assenyalat Bracewell^{63, 64}, el contacte per mitjà d'una sonda té certs avantatges sobre el contacte mitjançant la ràdio. D'aquesta manera no s'ha d'endevinar la freqüència que fan servir altres espècies. De fet, si la sonda té una màquina de Von Neumann, aleshores la màquina podria construir un artefacte en el sistema solar de l'espècie a contactar, de manera que fos tan vistós que no pogués ésser passat per alt. Si no es tingués res més a mà, la màquina podria construir un "Beveu Coca-Cola" d'un miler de milles i posar-lo en òrbita al voltant del planeta de l'altra espècie. Una vegada s'haguessin adonat de l'existència de la sonda, es podria començar a intercanviar algun altre tipus d'informació i de les més diverses maneres. Emprant una màquina de Von Neumann com a càrrega d'una sonda, es fa òbvia la principal objecció⁶⁵ per a fer servir les sondes per a

connectar amb d'altres estels, principalment el problema de posar en òrbita una sonda al voltant de la gran quantitat d'estels que hi ha. Només s'hauria de construir unes quantes sondes, les suficients per a assegurar-se que almenys una reeixís a reproduir-se ella mateixa en un altre sistema solar. Aleshores les sondes anirien soles i automàticament cap a d'altres estels de la galàxia, sense que costés més diners a l'espècie originària.

Morrison ha opinat que: "...una vegada hi hagués una verdadera comunicació interstel·lar, hom podria continuar-la amb una espècie de viatge estel·lar inaugural, el qual no es faria per tal d'anar a buscar la informació obtinguda, o per provar les possibilitats d'intercanvis, sinó per la senzilla raó de veure que seria possible portar-lo a terme, si ens trobem en el cas de tenir un lloc on anar. Això es pot imaginar d'aquesta manera, però realment no és un procediment d'investigació gaire adequat". De totes maneres, si es pogués assegurar que hom pogués llançar *tan sols* una sonda amb una màquina de Von Neumann per càrrega, sigui per la raó que sigui, aleshores la mateixa sonda es podria emprar per a començar l'exploració galàctica exposada en la segona secció. Mentre anés fent camí cap a un sistema solar que fos habitat, la sonda podria fer alguna parada en el camí, fer unes quantes còpies d'ella mateixa, "fer benzina" i continuar el seu camí (o bé enviar una de les còpies al sistema solar de destí). Si el sistema solar habitat fos més lluny de 100 anys llum, i si $v_{es} \leq 0,1 c$ i $t_{const} \leq 100$ anys, aleshores el temps necessari per a arribar al sistema solar habitat seria augmentat com a màxim del 10 per cent, i a la vegada es podria explorar i/o colonitzar la totalitat de la galàxia com a torna. A més, ja que el sistema habitat estaria tan llunyà, *qualsevol* sonda que s'hi enviés hauria d'ésser autònoma, el que vol dir un ordinador amb un nivell d'intel·ligència gairebé humà, i capaç d'autoreparar-se, que és el mateix que dir que seria una màquina de Von Neumann. Atès que la instrumentació que portaria fa que *qualsevol* sonda

pugui explorar la galàxia, per què no emprar-la amb aquesta finalitat?

Considerem l'estratègia d'exploració emprada per la primera espècie que arribés a la nostra galàxia. Probablement passaríem milers i fins i tot milions d'anys abans no se'n presentés qualsevol altra. Fins i tot suposant que les dues s'haguessin desenvolupat simultàniament, la probabilitat que estiguessin separades 100 anys llum de les altres espècies és de 10^{-6} . A més, quan la primera espècie comencés a enviar senyals, estaria milers i probablement milions d'anys sense que rebés cap resposta. Durant aquest temps no rebria cap informació de cap altre sistema solar per al seu estudi. Si queda encara molt d'interès en la comunicació interstel·lar, per què no enviar unes quantes sondes? Quedaria garantit que hom rebria *alguna* informació d'algun altre sistema entre 100 i 10^4 anys, fins i tot si no fossin descoberts d'altres éssers intel·ligents. Si hi hagués cap ésser intel·ligent dintre de la galàxia, la màquina de Von Neumann els trobaria, fins i tot ni que no haguessin desenvolupat mai la comunicació interstel·lar. Amb ones de ràdio i sense cap resultat positiu, sempre queda el dubte que s'ha equivocat la freqüència de l'ona, o bé que s'utilitzen uns altres mitjans de comunicació. No hi ha cap d'aquests problemes amb les sondes. Si la història humana pot servir de referència, aquesta primera espècie ha llançat sondes abans de fer radiofars. A començament de segle, quan Lowell havia convençut molta gent que hi havia gent a Mart, però les sondes interplanetàries eren vistes com una fantasia ridícula, l'astrònom de Harvard W.H. Pickering va assenyalar⁶⁶ que la comunicació amb aquests éssers seria possible amb un mirall de mitja milla quadrada que "enlluernaria visiblement els observadors de Mart, això si fossin físicament i intel·lectualment iguals que nosaltres". Si ens haguéssim conformat de fer servir aparells semblants en aquest per a conèixer Mart, actualment sabríem molt poc d'aquest planeta. En comptes d'això, hi vàrem enviar sondes, i les darreres pro-

postes de Sagan⁶⁷ per a les sondes a enviar a Mart són uns robots amb capacitat de manipular i un grau molt elevat d'intel·ligència artificial (podríem dir que són un graó cap a la màquina de Von Neumann).

Aquest model de conducta, el qual és típic no solament de l'*Homo sapiens* sinó de qualsevol ésser viu del nostre planeta, hem de suposar que també seria el de qualsevol ésser intel·ligent (negar això voldria dir negar el pressupòsit de mediocritat); podem doncs concloure que una espècie intel·ligent prou avançada hauria enviat una màquina de Von Neumann. Tots els éssers vius tenen una fase de dispersió⁶⁸, en la qual tendeixen a expandir-se cap a nous ambients, car el model de conducta de dispersió es veu òbviament afectat per la mateixa selecció natural. L'expansió es fa normalment fora dels límits imposats per la constitució genètica. En les espècies intel·ligents, aquest límit seria l'imposat pel nivell tecnològic^{69, 70}, i podem esperar que el model de dispersió estigui present almenys en alguna de les espècies intel·ligents. Hauríem d'esperar que almenys alguns grups de l'espècie intentessin una expansió cap a la galàxia, i la construcció d'una única màquina de Von Neumann seria suficient per a aquest propòsit. Llançant una sonda d'aquestes i emprant-la per a colonitzar els estels, una espècie augmenta la possibilitat de sobreviure al final de la seva pròpia estrella o bé a una guerra nuclear, etc... Cal remarcar que no seria necessari prendre territori de cap altra espècie (intel·ligent o no) per a assolir aquests objectius. Les espècies podrien arribar a l'acord de limitar la construcció de colònies O'Neill al voltant dels estels amb planetes no habitats.

També és possible que alguna espècie intel·ligent amb un nivell tecnològic adequat per a desenvolupar la comunicació interstel·lar, decidís no construir màquines de Von Neumann per la senzilla raó que els fes por de perdre'n el control. Com que podria haver-hi una reproducció que no fos perfecta, és possible que el programa que manté les màquines de

Von Neumann controlades fos omès en alguna reproducció, amb el resultat que el nou exemplar anés pel seu compte. Aquest problema es pot estalviar de tres maneres. Primer, el programa que manté la màquina controlada podria estar tan integrat en el programa total fins al punt que si aquest fallés fos la totalitat de la reproducció la que no es fes. Això és semblant a les obligacions imposades a les cèl·lules per la tecnologia recombinant de l'ADN. Segon, l'espècie intel·ligent podria programar les sondes per fer colònies d'espècies intel·ligents en els sistemes solars on arribessin. Aquestes colònies podrien destruir qualsevol sonda que s'escapés de les mans. Tercer, l'espècie intel·ligent podria estar tranquil·la si una màquina de Von Neumann se li escapés del control. Després de tot, una màquina de Von Neumann seria un ésser intel·ligent amb poder de decisió propi, un ésser intel·ligent fet de metall en comptes de carn i ossos. El creixement de la civilització humana s'ha vist acompanyat per un decreixement del racisme, i per una extensió dels drets humans (entre els quals s'inclou la llibertat) cap a sectors cada cop més amplis de la població. Si la tendència continua i té lloc en totes les cultures desenvolupades per éssers intel·ligents, és raonable pensar que les màquines de Von Neumann siguin reconegudes com a éssers intel·ligents, éssers que són els hereus de la civilització evolucionada de les espècies naturals que les haurien inventades, i amb el dret a la llibertat que posseeix l'espècie que les ha inventades. De l'altra banda, si l'espècie intel·ligent conservés el seu racisme, sembla probable que mirarien l'altra gent "de carn i ossos" com si "no fossin gent". Si fos així, ells desitjarien o bé evitar la comunicació (perquè no es contaminés la seva cultura amb idees foranes) o bé llançar màquines de Von Neumann ells mateixos per colonitzar la galàxia (per tal d'evitar que fos fet per "no-gent que els foragitaria") o bé destruir aquestes altres espècies intel·ligents. Per exemple, aquesta colonització o destrucció seria la seva millor estratègia si

ells creguessin que el "principi d'exclusió biològica" (que diu^{71, 72} que dues espècies no poden ocupar el mateix nínxol ecològic en el mateix territori) es pot aplicar també a les espècies intel·ligents. Amb l'arribada d'una colònia O'Neill, el nínxol ecològic ocupat per una espècie intel·ligent podria consistir en tots els recursos materials del sistema solar. Els nínxols ecològics d'ambdues espècies s'haurien d'imbricar. De totes maneres les màquines de Von Neumann serien llançades. Si una espècie no fos temorosa ella mateixa de les idees foranes, però fos temorosa de contaminar una altra cultura amb les seves idees, no tractaria d'establir contacte per ràdio. Tot i això, es podrien estudiar espècies estranyes sense que s'adonessin de l'espècie que les estudiaria. Una possibilitat final a tenir en compte és precisament el que jo he estat negant i rebatent fins ara, és a dir que una màquina de Von Neumann d'una espècie intel·ligent extraterrestre fos present en el nostre sistema solar. Si la sonda acabés d'arribar, encara no hi hauria evidències de la seva presència. La probabilitat que una sonda hagués arribat per primer cop durant els darrers 20 anys és 10^{-9} (= 20/[edat de la galàxia]). Així la probabilitat que els éssers intel·ligents extraterrestres existeixen però les seves sondes acaben d'arribar és més gran que la probabilitat $f_I f_A f_C$ que puguin evolucionar. Una altra possibilitat seria que ells fossin aquí però no haguessin fet visible la seva presència, l'anomenada hipòtesi del zoo⁷³. Kuiper i Morris¹³ han intentat de demostrar aquesta hipòtesi intentant d'interceptar les comunicacions de ràdio entre éssers del nostre sistema solar i els estels pares. Una altra prova possible seria investigar si en el nostre sistema solar es construeix alguna màquina de Von Neumann. Per exemple, es podria cercar la gran quantitat de calor que produeixen aquestes activitats. Dyson ha dit^{11, 74} que aquesta calor es manifestaria amb un excés d'infraroig, i el lloc més adequat per a construir una màquina d'aquestes seria el cinturó d'asteroides, que és on hi ha més material disponible. (És divertit que la radiació

infraroja que rebem ara tingui precisament el seu origen en el cinturó d'asteroides⁷⁵.) Si hi hagués una sonda Von Neumann en el nostre sistema i si existissin moltes espècies comunicant-se i que estiguessin interessades a comunicar amb nosaltres, podríem esperar de la màquina de Von Neumann que construis membres de cada una d'aquestes espècies, juntament amb naus espacials, d'un tipus apropiat per a cada espècie. Veuríem una àmplia varietat d'espècies i naus al voltant nostre estudiant-nos⁷⁶. Però no es veuen naus de cap mena^{14, 15}. A més, si existissin éssers intel·ligents, és probable que haguessin vingut fa milions d'anys quan encara a la Terra només hi havia animals unicel·lulars, i aleshores, no haurien tingut cap raó per amagar la seva tecnologia. Tot el cinturó d'asteroides estaria actualment ple de deixalles. Això és l'evidència més gran que els éssers extraterrestres no existeixen.

Però l'evidència no és completament conclusiva; éssers amb una tecnologia altament avançada podrien estar presents en el nostre sistema solar i fer la seva presència indetectable pel sol fet que ho volguessin. La qüestió és que el fet de creure en l'existència d'éssers intel·ligents extraterrestres en la galàxia no és significativament gaire diferent de la creença que els OVNI són naus espacials extraterrestres. De fet, crec fermament que la motivació psicològica per a ambdues creences és la mateixa, principalment "l'esperança que serem salvats de nosaltres mateixos per alguna intervenció interestel·lar miraculosa..." (tret de⁷⁷ pàgina 272).

Com es comenta en la referència¹, la creença en l'existència d'éssers extraterrestres està fonamentada en la immensitat del cosmos; si hi ha una quantitat molt gran de planetes, és possible que només hi hagi un planeta habitat? Jo diria que la resposta és prematura. Wheeler⁷⁸ ha argumentat que si l'univers fos més petit del que és, s'acabaria abans que la vida pogués evolucionar. Aquest és un exemple d'argument segons el "principi antropocèntric". El principi

antropocèntric⁷⁹⁻⁸¹ diu que molts aspectes de l'univers estan determinats pel fet que la vida intel·ligent hi existeix. Així l'univers ha de tenir 10^{20} estels per tal de contenir una única espècie intel·ligent. No ens hauríem de sorprendre si només n'hi hagués una.

(F.J. Tipler)

REFERÈNCIES

1. El debat singularitat versus pluralitat dels mons habitats és un parell tema-antitema en el sentit de Holton (*The Scientific Imagination: Case Studies*. Cambridge University Press 1978) i ha tingut també una història molt llarga en la ciència. L'Església medieval deia que l'home era únic, però en el Renaixement (p.e. G. Bruno) començà la idea de la pluralitat dels mons habitats que perdurà fins a mitjan segle dinou. La creença en l'existència d'altres mons habitats va lligada amb tres altres creences: primer, la creença de la generació espontània; segon, la creença en una gran quantitat de mons; tercer, la creença si existien organismes de nivell inferior. (Vegeu Lovejoy, A.O., 1936. *The Great Chain of Being*, Harvard University Press, per tal de comentar la creença n.º 3). Els treballs més coneguts defensant la pluralitat van ser: *Dialogues on the Plurality of Worlds* (1686) de Fontenelle; *Theory of the Universe* (1690) de Huygens; *More Worlds than One* (1854) de Brewster. Una crítica d'aquests punts de vista la va fer Whewell en la seva *Plurality of Worlds* (1855), però la creença en d'altres mons habitats va minvar amb l'aparició de la teoria de l'evolució (vegeu especialment la crítica de l'evolucionista Alfred R. Wallace a *Man's Place in Nature* (1904) i també "Fortnightly Review" 73 (n.s.) 395 (1903); 74, 380 (1903), on es veu la disminució de la creença en la hipòtesi nebular de Laplace, i la desaprovaació de Pasteur de la generació espontània. La creença moderna en la pluralitat de mons prové de dues fonts: els arguments de Lowell sobre la vida intel·ligent de Mart (vegeu Hoyt, W.G., 1976. *Lowell and Mars*, University of Arizona Press, Tucson), juntament amb l'informe clàssic de Cocconi i Morrison (escrits després de ressuscitar la hipòtesi de la teoria nebular i els experiments de Stanley Miller sobre la "generació espontània") on deien que podíem detectar civilitzacions extraterrestres mitjançant les microones. (La possibilitat de comunicar-se per mitjà de la ràdio amb civilitzacions extraterrestres va ser

comentada molt més abans per Barnes E.W., 1931. "Nature" 128, 722).

2. Shklovskii, I.S. & Sagan, C., 1966. *Intelligent Life in the Universe*. Dell, New York.

3. Drake, F.D., 1960 *Intelligent Life in Space*, Macmillan, New York.

4. Morrison, P., 1974. A: *Interstellar Communications: Scientific perspectives*. Edicions Ponnampuruma, C & Cameron, A.G.W., Houghton-Mifflin, Boston.

5. Dobzhansky, T., 1972. A: *Perspectives in Biology and Medicine*, 15. 157 Dobzhansky, T., 1973. *Genetic Diversity and Human Equality*, pp. 99-101, Basic Books, New York.

6. Simpson, G.G., 1964 *This View of Life*, capítols 12-13, Harcourt, New York.

7. Francois, J., 1977. "Science", 196, 1161; vegeu Mathew, W.D., 1921. *Science*, 54, 239.

8. Dobzhansky, T., Ayala, F.J.; Stebbins, G.L. & Valentine, J.W., 1977. *Evolution* Freeman, San Francisco.

9. Mayr, E., 1978 "Scientific American", 239, 46 (Setembre).

10. Fermi, E., citat a la pàgina 495 de: Sagan C., 1963. "Plante Space Sci", II, 485.

11. Dyson, F.M., 1966. A: *Perspectives in Modern Physics: Essays in Honor of Hans A. Bethe*, ed. Marshak, R.E., Wiley, New York.

12. Hart, M.H., 1975. "Q. Jl. R. astr. Soc.", 16, 128.

13. Duiper, T.B.H. & Morris, M., 1977. "Science", 196, 616.

14. Klass, P.J., 1974. *UFO Explained*, Random House, New York.

15. Menzel, D.H. & Traves, E.H., 1977. *The UFO Enigma*, Doubleday, Garden City, New York.

16. Shklovskii, I.S. & Sagan, C., *op. cit.*, 2, capítol 25.

17. Sagan, C., 1977. *The Dragons of Eden*, p. 239. Balantine, New York.

18. *Project Ciclops* (Informe CR 114445, Nasa Ames Research Center, Moffet Field, California, 1971).

19. *The Search for Extraterrestrial Intelligence: SETI* (Informe de la NASA SP-419, 1977).

20. Michie, D., 1973 "Nature", 241, 507.

21. Firschein, O., Fischler, M.A., & Coles, L.S., 1973. A: *Third International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Stanford University. Aquesta referència dona l'opinió dels científics més destacats en ordinadors sobre quan es podran desenvolupar ordinadors amb intel·ligència semblant a la humana. Aquesta tecnologia per mi és comparable amb la tecnologia de les màquines de Von Neu-

- mann, per tant faig servir aquest número per a poder tenir una estimació aproximada del temps que haurem d'esperar per tal de tenir a punt una màquina de Von Neumann. No hi ha cap referència explícita a les màquines de Von Neumann en els números 20, 21 o 22.
22. Minsky, M., 1973. A: *Communication with Extraterrestrial Intelligence*, p. 160. ed. Sagan, C., MIT Press, Cambridge.
23. Neumann, J. Von, 1966 *Theory of Self-Reproducing Automata*, editat i completat per Burks, A.W., University of Illinois Press, Urbana.
24. Arbib, M.A., 1969. *Theories of Abstract Automata*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.; vegeu també l'article d'Arbib a Ponamperuma & Cameron, *op. cit.*, 4.
25. Stuhlinger, E., 1964. *Ion Propulsion for Space Flight*, McGraw-Hill New York.
26. Wright, J.L. & Warmke, J.M., 1976. *Solar Sail Mission Applications*, JPL preprint 76-808 AIAA/AAS 1976 San Diego Astro-dynamics Conference.
27. Chapman, C.R., 1975 "Scientific American", 232, 24 (Gener); Skinner, B.J., 1976 "American Scientist", 64, 258; Hughes, D.W., 1977. *Nature*, 270, 558.
28. Abt, H.A., 1977. *Scientific American*, 236, 96 (Abril); Batten, A.H., 1973. *Binary and Multiple Systems of Stars*, Pergamon Press, New York; Dole S.A., 1964. *Habitable Planets for Man*, Blaisdell, New York.
29. Truran, J.W. & Cameron, A.G.W., 1971. *Astrophys. Space Sci.*, 14, 179. Cameron A.G.W., *op. cit.*, 4.
30. O'Neill, G.K., 1974. "Phys Today", 27, 32 (Setembre); 1975, *Science*, 190, 943; 1977. *The High Frontier*, Morrow, New York.
31. Price, C.C., 1965. "Chem. Eng. News", 43, 90 (Setembre 27); Price, C.C. (ed), 1974. *Synthesis of Life*, pp. 284-286, Dowden, Hutchinson & Ross, Stoudsburg, PA.
32. Danielli, J.F., 1972. "Bull. Atomic Scientist" (desembre), pp. 20-24 (també a Price, C.C., *op. cit.*, 31); Jeon, K.W., Lorch, I.J. & Danielli, J.F., 1970. "Science", 167, 1626.
33. Grobstein, C., 1979. "Scientific American", 240, 57 (juny).
34. Eiseley, L., 1970. *The Invisible Pyramid*, pp. 78-80, Scribner's New York.
35. Crick, F.H.C. & Orgel, L.E., 1973 "Icarus", 19, 341.
36. Sneath, P.H.A., 1962. "Nature", 195, 643.
37. Seibert, M., 1976 "Science", 191, 1178; 1977. *In Vitro*, 13, 194
38. Cravalho, E.G., 1975. "Technology Review", 78, 30 (octubre).
39. Parkes, A.S., 1965. *Sex, Science and Society*. Oriol Press, London.
40. Hunter, II, M.W., 1967. *AAS Science and Technology Series*, 17, 541.
41. Morgenthaler, G.W., 1969. *Ann. NY Acad. Sci.*, 163, 559.
42. Helton, M.R., 1977. *Jet Propulsion Laboratory Interoffice Memorandum*, 312/774-173 (Juny 21).
43. Bond, A. i d'altres, 1978. *Project Daedalus* (Special suppl. "J. Brit. Interplan. Soc.").
44. *Op. cit.*, 19, p. 108.
45. Dyson, F.J., 1969. "Ann. NY Acad Sci.", 163, 347; vegeu també Spencer, D.F. & Jaffe, L.D., 1962. *Jet Propulsion Laboratory*, Preprint.
46. Dyson, F.J., 1974. Citat per Berry, A., 1974. *The Next Ten Thousands Years*, p. 125, New American Library.
47. Mac Arthur, R.H. & Wilson, E.O., 1967. *The theory Of Island Biogeography*, Princeton University Press, Princeton.
48. Wilson, E.O., 1975. *Sociobiology*, Harvard University Press, Cambridge.
49. Wilson, E.O., *op. cit.*, 48, p. 105.
50. Sagan, C., 1973. Ed. *Communication with Extraterrestrial Intelligence*, MIT Press, Cambridge (US).
51. Trimble, V., 1975 "Rev. Mod. Phys.", 47, 877.
52. Audouze, J., & Tinsley, B.M., 1976. "And, Rev. Astr. Astrophys". 14, 43.
53. Penzias, A.A., 1978. "Comets Astrophys". 8, 19.
54. Browne, J.C. & Berman, B.L., 1976 "Nature", 262, 197.
55. Hainebach, K.L. & Schramm, D.N., 1976. *Enrico Fermi Institute Preprint*, n.º 76-16, University of Chicago.
56. Talbot, R.J., 1974. "Astrophys. J.", 189, 209; Talbot, R.J. & Arnett, W.D., 1973. "Astrophys. J.", 186, 51.
57. Barry, D.C., 1977. "Nature", 268, 509.
58. *Op. cit.*, 18, p. 25.
59. Kreiffeldt, J.G., 1971, "Icarus", 14, 419.
60. *Op. cit.*, 2, p. 100.
61. Alvarez, W., Alvarez, L.W., Asaro, F. & Michel, H.V. Experimental Evidence in Support of an Extraterrestrial Trigger for the Cretaceous Tertiary Extinctions, "Amer. Geophys. Un. Trans.", en impremta.
62. Verschuur, G.L., 1977. Preprint: *Will we ever Communicate With Extraterrestrial Intelligence?* University of Colorado.
63. Bracewell, R.N., 1960. "Nature", 186, 670; publicat a: Cameron, A.G.W., (ed) 1963. *The Search for Extraterrestrial Life*, Benjamin, New York.
64. Bracewell, R.N., 1975. *The Galactic Club*, Freeman, San Francisco.
65. *Op. cit.*, 19, p. 108.
66. Pickering, W.H., 1909. "Popular Astronomy", 17, 495; imprès de nou a: Pckering, W.H., 1921. Mars, Gorham Press, Boston.
67. Sagan, C., 1977. Citat a: "Technology Review", 79, 14. (maig).
68. Dodzhansky, T., 1970. *Genetics of the Evolutionary Process*, p. 278, Columbia University Press, New York.
69. Morison, S.E., 1965. *Portuguese Voyages to America in the Fifteenth Century*, pp. 11-15, Octogon, New York.
70. Davies, K., 1974. "Scientific American", 231, 92 (setembre).
71. Mayr, E., 1970. *Populations, Species, and Evolution*, p. 48, Harvard University press, Cambridge.
72. May, R.M., 1978. "Scientific American", 239, 160 (setembre).
73. Ball, J.A., 1973. "Icarus", 19, 347.
74. Dyson, F.J., 1960. "Science". 131, 1667.
75. Low, F.J. & Johnson, H.J., 1964. "Astrophys J.", 139, 1130.
76. Així, no és correcte l'argument de Chiu, H.Y., 1970. "Icarus", II, 447, que diu que els OVNI no es poden considerar naus espacials perquè a la velocitat a la qual ens visiten caldria massa material per a les naus. Només es necessitaria una sonda de Von Neumann en cada sistema solar, i el material que s'empraria per a construir les noves podria ser material reutilitzat.
77. Sagan, C., 1972. A: *UFO - Ascientific Debate*, ed. Sagan, C & Page, T., Norton, New York; aquesta esperança de salvació extraterrestre és molt clara en Drake, F., 1976. "Technology Review", 78, 22 (juny).
78. Wheeler, J.A., 1977. A: *Foundational Problems in the Special Sciences*, eds. Butts & Hintikka, Reidel Dordrecht.
79. Carte, B., 1974. A: *Confrontation of Cosmological Theories With Observational Evidenc*, ed. Longair, M.S. Reidel, Dordrecht.
80. Carr, B.J., & Rees, M.J., 1979. *The anthropic principle and the structure of the physical world*, "Nature", en premsa.
81. Barrow, J.D., & Tipler, F.J., 1980. *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press.