

COLONITZACIÓ INTERSTEL·LAR:

per C. Walters, R. A. Hoover i
R. K. Kotra

24 (24/Volum 2/desembre 1981

ciència 12)

Hi ha una literatura que conclou la inexistència de vida extraterrestre a partir de la manca d'evidència experimental de visites a la Terra de naus procedents d'altres civilitzacions. En tenim una mostra en aquest número en l'article de F.J. Tipler. Els autors d'aquest treball discuteixen aquestes conclusions. Consideren possible una colonització interstel·lar limitada a partir de reconsiderar l'equació de Drake.

Clifford Walters, Raymond A. Hoover i R.K. Kotra pertanyen al departament de Química de la Universitat de Maryland. El seu treball fou rebut a la revista "Icarus" l'1 de juny de 1979 i fou publicat al n.º 41, p. 193-197, 1980. Traducció: Jaume Puigbó.

INTRODUCCIÓ

La recerca d'intel·ligència extraterrestre és una de les empreses més excitants i fascinants de tota la història humana. Si aquest esforç té èxit, potser donarà a la humanitat una perspectiva més vertadera del seu destí. La base científica per a aquesta recerca està relacionada amb la concepció moderna de la naturalesa de les estrelles, els planetes, la vida i la intel·ligència. L'equació de Drake (Shklovskii i Sagan, 1966; Sagan, 1973; Freeman i Lampton, 1975) resumeix les idees actuals sobre aquesta qüestió, i intenta determinar N , el nombre de civilitzacions amb capacitat de comunicació que hi ha probablement a la nostra galàxia.

L'equació de Drake és:

$$N = R_* f_g f_p n_e f_l f_i f_c L, \quad (1)$$

R_* = índex mitjà de formació d'estels a la nostra galàxia,

f_g = fracció d'estels apropiats per a sostenir la vida,

f_p = fracció d'estels amb sistemes planetaris,

n_e = nombre de planetes per sistema planetari amb condicions ecològiques apropiades per a l'origen i l'evolució de la

vida,

f_l = fracció de planetes apropiats per a l'origen i l'evolució de la vida cap a formes complexes,

f_i = fracció de planetes on hi ha vida amb intel·ligència capaç de manipular,

f_c = fracció de planetes amb intel·ligència que desenvolupa una fase tecnològica durant la qual existeix una capacitat per a interessar-se en la comunicació interstel·lar,

L = duració mitjana de la vida d'una civilització tecnològica.

Dels vuit paràmetres, només es coneix el primer amb un cert grau de certesa. Diversos autors, basant-se en suposicions i càlculs compatibles amb les seves pròpies conviccions, han arribat a diversos valors de N (Shklovskii i Sagan, 1966; Kreidfeldt, 1971; Sagan, 1973; Ponnampetuma i Cameron, 1974; Oliver, 1975).

El propòsit d'aquest article és introduir un nou terme, C , a l'equació de Drake que pren en consideració la possibilitat de colonització interstel·lar. És necessari determinar l'efecte del fenomen sobre N i, per tant, en qualsevol esforç per a detectar intel·ligència extraterrestre. Si la colonització interstel·lar és àmplia, la profunditat de l'efecte sobre el valor de N és òbvia. Per altra banda, si la probabilitat és molt més baixa que per a qualsevol dels altres paràmetres, l'equació roman essencialment inalterada.

El concepte de colonització ha estat discutit principalment en relació amb explicacions de l'absència d'extraterrestres a la Terra. Hart (1975) ha arguït que una societat viatjant per l'espai podria colonitzar la galàxia sencera en $6,5 \times 10^5$

anys. Ell va concloure que l'absència de contactes extraterrestres indica que aquest tipus de colonització no ha tingut lloc; N val, per tant, aproximadament u. Jones (1976) ha prestat suport a Hart amb càlculs addicionals. Cox (1976) està en desacord amb Hart i argüeix que les restriccions de temps poden impedir als extraterrestres arribar a la Terra durant la història de la galàxia. Explicacions alternatives suggereixen que els extraterrestres són dins del sistema solar, o bé l'observen i n'eviten el contacte intencionadament, de moment (Kuiper i Morris, 1977; Schwartzman, 1977; Papagiannis, 1978), o han aïllat la Terra com si fos un zoològic o una reserva (Ball, 1973). S'ha suposat que si la colonització té lloc, $N \sim 10^{11}$, i en cas contrari, $N \sim 1$. Ambdós valors tenen implicacions negatives per als programes SETI. Malgrat això, si la colonització interstel·lar té lloc, però és limitada, la probabilitat d'èxit de qualsevol programa SETI pot ésser millorada de forma significativa. En aquest article introduïm un nou paràmetre, C , a l'equació de Drake que pren en consideració la fracció de civilitzacions que desitgen colonitzar, la fracció d'estels apropiats per a ésser colonitzats i la capacitat per a arribar a aquests estels.

FORMULACIÓ DE C

Una civilització que viatgi per l'espai amb desig de colonitzar ho podrà fer

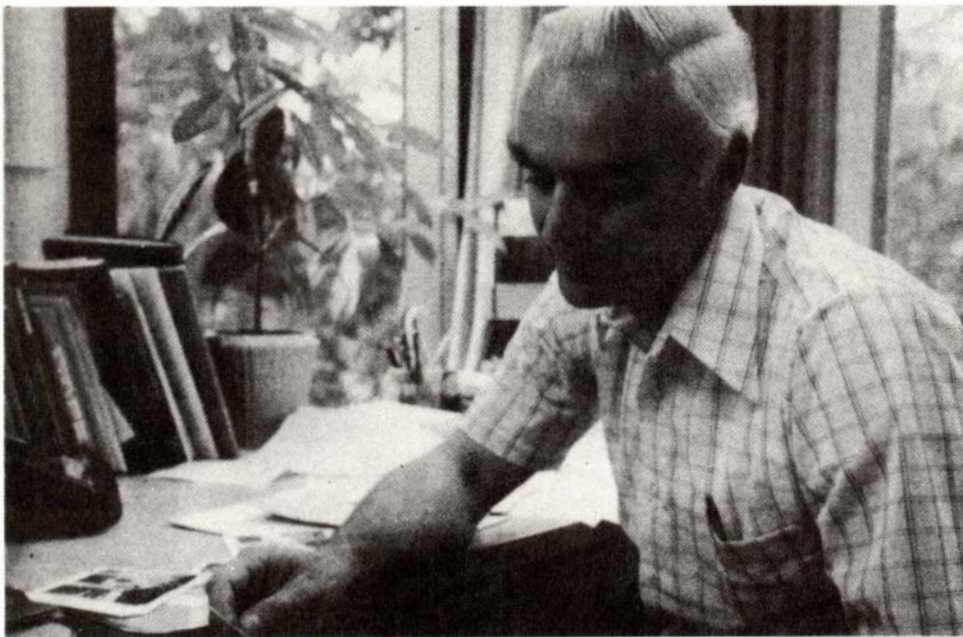
* N. del T.: SETI són les inicials de Search for ExtraTerrestrial Intelligence o recerca d'intel·ligència extraterrestre.

UN NOU PARÀMETRE PER A L'EQUACIÓ DE DRAKE ?

Frank Drake

ciència 12

desembre 1981 / Volum 2 / 25 25



sempre que existeixi un sistema solar amb un hàbitat apropiat dins dels límits de la seva capacitat per a arribar-hi. Anàlogament, unes colònies ja establertes podrien colonitzar nous sistemes que estiguin dins del seu camp d'acció, però més enllà de l'abast del planeta-llar original. Les societats galàctiques podrien abastar molts sistemes solars que estiguessin inicialment exclosos per l'equació de Drake com a posseïdors de civilitzacions amb capacitat de comunicació. Malgrat tot, si una civilització desitja colonitzar, pot ésser que no pugui fer-ho si no existeix un sistema hoste dins del seu radi màxim de viatge.

És possible construir un model senzill per a predir la magnitud d'una colonització. L'equació (2) defineix un nou factor C, que proposem afegir a l'equació de Drake per prendre en consideració l'efecte de la colonització interstel·lar.

$$N = R_* f_p n_e f_i f_c LC \quad (2)$$

on $C = 1 + f_x \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} f_s^n m a_m$
 $f_x =$ fracció de civilitzacions que desitgen colonitzar,

$f_s =$ fracció d'estels amb un entorn apropiat per a colonitzar,
 $a_m =$ fracció d'estels que tenen m estels veïns dins d'un radi especificat,
 $n =$ nombre d'onades colonitzadores.

Si no hi ha civilitzacions que desitgin colonitzar ($f_x = 0$, $n = 0$), aleshores $C = 1$ i el nombre de societats amb capacitat de comunicació és el mateix que en l'equació de Drake original. Si una fracció d'aquestes civilitzacions desitja colonitzar ($f_x > 0$), aleshores el nombre de mons inicialment colonitzats ($n = 1$) es determinarà per la quantitat de sistemes hostes apropiats que hi ha dins del radi màxim de viatge. Només una fracció (a_1) de civilitzacions tindrà un únic estel veí apropiat per a colonitzar ($m = 1$). El nombre d'aquests civilitzacions és $N f_x (f_s a_1)$. Una fracció (a_2) serà capaç d'arribar a dos estels, on $a_2 < a_1$. El nombre d'aquestes estels l'expressarem com $N f_x (f_s a_2)$. El nombre total d'estels accessibles per a una primera colonització l'expressarem com una suma de termes, $N f_x \sum_{m=1}^{\infty} f_s^m m a_m$. Després d'aquesta primera onada de colonització, nous colonitzadors serien enviats des de les colò-

nies ja establertes. En aquest cas, han d'existir almenys dos sistemes solars compatibles dins del radi de viatge; un, des d'on els colonitzadors originals procedien, i l'altre, el sistema hoste al qual es dirigeixen. D'aquí el terme $(m - 1) a_m$. El total d'estels apropiats per a ésser colonitzats des dels estels inicialment colonitzats ve donat per $N f_x \sum_{m=1}^{\infty} f_s^m (m - 1) a_m$. Aquest procés es podria aleshores repetir n vegades. El nombre total d'estels que poden ésser colonitzats es determina sumant les repetides onades. Això dona com a resultat el terme que té la suma doble en l'equació (2).

En aquest model, si $f_s \sum_{m=1}^{\infty} (m - 1) a_m > 1$, i suposem n il·limitat, l'equació divergeix i la colonització podria continuar fins als límits de la galàxia. Si $f_s \sum_{m=1}^{\infty} (m - 1) a_m < 1$, l'equació convergeix, la qual cosa indica que la colonització és limitada.

DISCUSSIÓ

● Una avaluació de f_s
 Només una fracció dels estels dins d'un determinat radi de viatge és apropiada per a ésser colonitzada. Per a determinar aquesta fracció, f_s , es poden aplicar molts dels termes utilitzats a l'equació de Drake.

Som de l'opinió que els estels apropiats per a ésser colonitzats són els que tenen un medi ambient gairebé idèntic al del planeta-llar i poden ésser explotats immediatament pels colonitzadors que hi arribin. És improbable que es considerin ambients que necessitin sistemes artificials per a sostenir la vida, formació de terra o modificacions importants. La utilització única de la nau de transport (Kuiper i Morris, 1977) o de cossos de la grandària d'un asteroide (Papagiannis, 1978) també és poc probable, ja que es poden obtenir pocs beneficis en deixar l'estel·lar i arriscar-se a les dificultats dels vols interstel·lars.

Perquè un sistema hoste proporcioni un ambient apropiat ha de tenir un planeta on ja hagi evolucionat la vida. Una de les raons és que una vida pre-desenvolupada

"C'est grande fête aujour d'hui dans le ciel", per J.J. Grandville.

26 (26/Volum 2 / desembre 1981

pot proveir dels metabòlits bàsics els colonitzadors. Cox (1976) ha suggerit que la incompatibilitat dels isòmers òptics utilitzats per la vida nadiua i pels colonitzadors poden fer el planeta inhospitari. Una raó més important per a requerir vida és que el planeta hoste ha de tenir una atmosfera respirable. Llevat dels metabolismes aliens desconeguts, tota vida utilitza seqüències de reaccions siguin anaeròbiques o aeròbiques. Com que únicament els processos aeròbics subministren l'energia requerida per les formes de vida altament organitzades, un planeta que pugui ésser considerat per a colonitzar necessita una atmosfera oxidant. Només els processos fotosintètics poden produir aquests canvis en una atmosfera planetària i, d'aquesta manera, hem de suposar que en el planeta hoste la vida ha evolucionat. Es necessita un factor de temps, ja que un planeta només és apropiat per a ésser colonitzat durant una porció de la seva història. No es pot considerar el temps entre la formació d'un planeta i el desenvolupament d'una atmosfera oxidant. Un altre aspecte és que la vida podria evolucionar fins a produir una espècie amb una cultura tecnològica. Durant l'existència d'aquesta civilització, la seva colonització per part d'una altra civilització és improbable per raons sociològiques.

La disponibilitat d'un estel per a ésser colonitzat pot expressar-se mitjançant els termes definits en l'equació de Drake, més un factor, f_t , que és la fracció de planetes que són, en un període de la seva història, apropiats per a ésser colonitzats.

$$f_s = f_g f_p n_e f_i f_t \quad (3 a)$$

$$f_t = (t_a - t_o - f_i f_c L) / t_a \quad (3 b)$$

on

t_a = mitjana d'edat dels planetes,

t_o = el temps que es requereix per a la formació d'una atmosfera oxidant,

$f_i f_c L$ = fracció de planetes amb societats tecnològiques durant el període en què es desitja colonitzar-los.

El valor màxim de $f_g f_p n_e f_i$ s'estableix



generalment al voltant de 0,1. En avaluar f_t , $f_i f_c L$ és probablement petit en comparació amb les edats dels planetes. Si $t_o \sim 2,6 \times 10^9$ anys, que és el temps que es va tardar a la Terra per a formar una atmosfera oxidant, i $t_a \sim 8 \times 10^9$ anys, $f_t \sim 0,7$. El valor màxim de f_s és, doncs, igual a $\sim 0,07$.

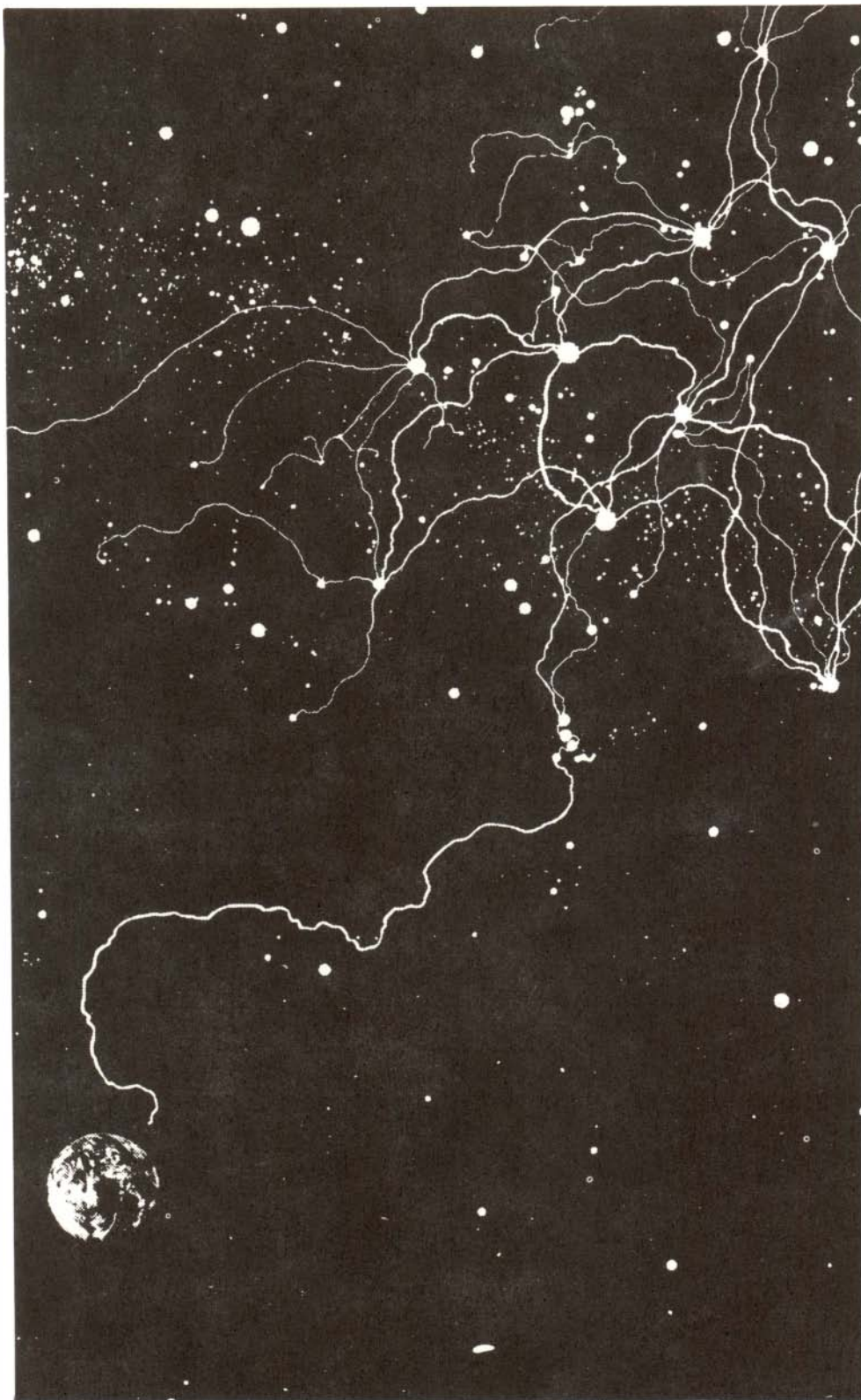
● Una avaluació d' a_m

Utilitzant la regió al voltant del nostre Sol com a model, és possible determinar la densitat estel·lar, i fent ús de la distribució de Poisson podem determinar a_m per a diferents radis de viatge. És possible calcular valors de C per a diversos f_s i radis de viatge, suposant $f_x = 1$. Es pot veure que C és altament dependent d'ambdós factors.

El radi màxim de viatge està determinat

per la velocitat màxima i la duració de vol. Purcell (1960) i Von Hoerner (1962) han mostrat que és impossible obtenir velocitats relativistes utilitzant impulsos químics, de fissió, fusió i fins i tot de matèria-antimatèria. S'han proposat altres dissenys que utilitzen *ramjets* (Bus-sard, 1960),* veles de llum empeses per laser (Marx, 1967) i acceleració de partícules utilitzant energia dirigida (Jackson i Whitmire, 1978) per a eliminar la necessitat de portar combustible a bord. Existeixen problemes seriosos per a cada mètode i hi ha un acord general que no es poden obtenir velocitats relativistes de viatge.

*N. del T.: Variant de motor de propulsió per coet amb entrada contínua d'aire que és comprimit segons la velocitat, sense compressor mecànic.



Una xarxa de civilitzacions galàctiques en mútua comunicació, segons Jon Lomberg.

desembre 1981 / Volum 2 / 27) 27

com a funció de L , de tal manera que si hom suposa L gran, aleshores $f_x \sim 1$.

CONCLUSIONS

Les nostres suposicions ens han conduït a creure que $C \ll 10$. L'equació de Drake no es veu, per tant, fortament afectada per la colonització interstel·lar. Això també implica que el contacte directe entre extraterrestres és molt rar. Ens adonem que molts arguments aplicables a la colonització poden no ésser vàlids per a exploracions, particularment les fetes amb vehicles no tripulats; malgrat tot, la nostra avaluació suggereix que els "clubs galàctics" no poden existir.

Les minses perspectives de colonització interstel·lar no tenen per què tenir un impacte devastador en els programes SETI, com Hart i d'altres han suggerit. La colonització interstel·lar probablement té lloc en petita escala. Com que la comunicació entre la llar i els sistemes estel·lars colonitzats seria probable, la comunicació interstel·lar pot ésser freqüent, però altament direccional. Von Hoerner (1961) ha suggerit que aquesta classe de comunicació pot incrementar el valor de L , per tant, la introducció de C a l'equació de Drake pot tenir efectes múltiples. El que és més important, com que la probabilitat de contacte físic és tan baixa, un programa SETI efectiu ha d'estar basat en la comunicació electromagnètica. L'èxit d'aquests programes només es pot millorar si es pren en consideració la colonització interstel·lar.

AGRAÏMENTS

Els autors desitgen donar les gràcies als doctors C. Ponnampuram, B. Zuckerman, J.P. Harrington i a la senyoreta J. Kemper, tots ells de la Universitat de Maryland, per la seva ajuda i els seus comentaris útils.

(C. Walters, R.A. Hoover, i K.K. Kotra)

La impulsió per fusió és una de les que promet més i els projectes Orion (Dyson, 1968) i Daedalus han mostrat com podrien funcionar aquests sistemes. La velocitat màxima de viatge, V_e , i la relació combustible/càrrega, M_f/M_p .

$$V_f = V_e \ln(1 + M_f/M_p). \quad (4)$$

Valors realistes per a cadascuna d'aquestes variables donen com a resultat per a $V_f = 1\%$ c. El viatge, fins i tot als estels més pròxims, requeriria centenars d'anys. El mètode més raonable per a un viatge d'aquest tipus és utilitzar colònies espacials del tipus O'Neill (O'Neill, 1974, 1976) i modificar-les convertint-les en arques espacials multigeneracionals afegint-hi una font d'il·luminació i calefacció

interna (Matloff, 1976).

Sembla raonable per a la nostra avaluació utilitzar una duració màxima de viatge de mil anys. Hom arriba, per tant, a un radi màxim de viatge de deu anys-llum. Dins d'aquest camp de valors i amb la xifra de 0.07 per af_s, $C \sim 1 + f_x 10^7$.

● Una avaluació de f_x

Ja que els arguments de Hart i d'altres només pressuposen una civilització que intenti colonitzar, no hem considerat el valor de f_x . Una vegada s'ha mostrat que la colonització no es pot estendre per tota la galàxia, es fa necessari investigar les motivacions per a una colonització interstel·lar. Hom pot argüir que, si li és possible, tota civilització intentarà colonitzar a la llarga. Podem considerar f_x