

NOTA BREU

L'home part de la biosfera: 50 anys d'un article seminal de Ramón Margalef**Man as part of the Biosphere: 50 years of an outstanding paper from Ramon Margalef**

Narcís Prat Fornells*

* Universitat de Barcelona. Facultat de Biologia. Grup de recerca FEHM (Freshwater Ecology, Hydrology and Management). Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals. Avda. Diagonal, 643. 08028 Barcelona. A/e: nprat@ub.edu

Rebut: 03.11.2021. Acceptat: 10.12.2021. Publicat: 30.12.2021

Ramón Margalef (1919-2004) fa mig segle va publicar un estudi en el que proposava avaluar l'impacte de la humanitat sobre el planeta amb dos paràmetres, la taxa de creixement demogràfic (r) i la taxa de creixement en l'ús de l'energia (f). Els dos creixements eren exponencials i Margalef trobava diferències entre els països desenvolupats ($r = 0,015$; $f = 0,039$) i poc desenvolupats ($r = 0,035$; $f = 0,015$). Aquest resultat el va utilitzar moltes vegades al llarg dels seus escrits. Lluny de quedar-se en l'anàlisi de les dades, Margalef feia profundes reflexions de les conseqüències d'aquest creixement (dit demofòric). Hem fet un petit càlcul de com ambdós paràmetres han evolucionat al llarg del període 2010-2016 i veiem com en aquests moments es poden donar quatre situacions (r positiva/negativa; f positiva/negativa) que són característiques de diferents països. La mitjana mundial pel període analitzat fou de $r=0,011$ i $f=-0,009$. Les reflexions de Margalef són de total actualitat, profundes i crítiques i mostren la gran personalitat de l'ecòleg de la biosfera.

Margalef, el creixement demofòric i les seves conseqüències

Ara fa 50 anys el Professor Ramon Margalef publicava als Treballs de la Societat Catalana de Biologia una reflexió sobre els efectes de l'home sobre la biosfera (Margalef, 1971) amb el títol: «L'home part de la biosfera i objecte d'estudi de l'Ecologia». Deia: «La població humana creix i consumeix energia i tota mena de recursos a velocitat accelerada. La conseqüència és que la Terra se'n va quedant petita». Margalef feia tot un seguit de reflexions que han resultat gairebé profètiques (tot i que ell no creia en les profecies) com «...l'exploació de la natura porta un problema.... que té a veure amb la desigualtat entre els homes i les dones» o una altra: «Quan augmenta el flux d'energia..... augmenta també la seva variància. Encara que pugui disminuir la possibilitat de morir de fam, es fa més palès el control d'unes nacions per les altres, o d'uns grups humans per uns altres». I es preguntava: «Pot renunciar l'home a fer ús d'aquesta capacitat de control?».

En el seu article Margalef feia servir dos paràmetres per caracteritzar l'impacte de l'home en la biosfera: la demografia i el consum energètic. Més gent vol dir més impacte sobre la naturalesa. L'impacte de l'energia usada per l'home el va descriure més endavant Margalef de forma molt sintètica

en dos capítols de llibre (Margalef, 1976, 1989). En aquest treballs, Margalef mostrava com el desenvolupament de les societats (des dels caçadors recol·lectors fins a les societats tecnològiques) depenia del seu consum d'energia externa (o exosomàtica). Si el dividia per l'energia endosomàtica, li donava una ràtio individual que anava de 2 pels països més pobres a més de 100 pels Estats Units (EEUU).

Margalef, en el seu treball de 1971, definia dos coeficients, r = taxa instantània d'augment net de la població (N) i f = taxa instantània en l'ús individual de l'energia (E), i l'acceleració de l'acció de l'home a la biosfera com la suma d'ambdós ($r+f$). Els dos coeficients feien créixer exponencialment la població o l'energia, (Margalef, 1971: figura 2). Els països en procés de desenvolupament presentaven uns valors $r = 0,035$ i $f = 0,015$, mentre que en els països desenvolupats els valors d'aquests coeficients eren a l'inrevés. La suma final era la mateixa (0,05). Conclusió, ambdós grups de països tenen impactes similars. Margalef feia un símil amb un cotxe que premia l'accelerador a fons. Quan algú deia que es veia una paret al fons de la carretera, els dos conductors responien que encara era molt lluny i que ja hi hauria temps de parar. S'ignorava l'impacte ambiental o l'esgotament dels recursos per mantenir un creixement econòmic sostingut al llarg del temps i mantenir els creixements exponencials (també dels diners, o sia increment del PIB mundial).

Margalef va seguir explicant aquesta idea en diferents treballs posteriors, per exemple en el seu llibre *Our Biosphere*, (1997): «...els consums d'energia i altres recursos no tenen límits. Segueixen l'efecte de Mateu o la llei de Pareto, i es troben en l'origen de les preocupants diferències entre el que, de manera eufemística, anomenem països desenvolupats i els països en desenvolupament. Amb més tristesa que orgull, reproduïxo a continuació una petita taula (Taula 1) del meu llibre d'Ecologia (1974), encara vàlida i eloqüent per si sola».

Cinquanta anys després, els efectes del model de desenvolupament econòmic dels humans, s'estan fent notar. Estem a l'Antropocè (Crutzen, 2000). L'informe de l'IPCC (2021) és molt clar i és difícil avui negar que l'home no sigui el causant de l'increment dels gasos d'efecte hivernacle. Un dels canvis que Margalef assenyalava és la transformació de la majoria de paisatges de la Terra, que han canviat d'una matriu natural

NOTA BREU

Taula 1. Valors de *r* i *f* calculats per Margalef el 1971 i reproduïts en el llibre «Ecologia» (1974) i a «Our Biosphere» (1997).

	<i>r</i>	<i>f</i>	<i>r+f</i>
Països desenvolupats	0,015	0,039	0,054
Països en desenvolupament	0,035	0,015	0,050

amb algunes taques de la petjada de l'home (pobles i petites carreteres) a un sistema de ciutats relligades entre elles per grans autopistes i que encerclen les poques taques verdes que queden entre elles Margalef (1985, 2003). És el que ell anomenava «canvis en la topologia del Paisatge». Tello (2013) va mostrar que els paisatges agroforestals en mosaic tenien una major biodiversitat i eren més productius que els monocultius extensius, tal com deia Margalef.

Al cap de 50 anys d'aquell treball ens podem preguntar si aquella idea de Margalef encara té validesa. A la taula 2 mostrem els valors calculats de (*r*) i de (*f*) per a una sèrie de països (que comprenen el 80 % de la població mundial) i el període 2010-2016, amb la finalitat de buscar algun patró similar al que deia Margalef. Les dades procedeixen de diferents fonts estadístiques públiques (ONU, BP...). Ens podríem preguntar ara si usar només l'energia i la demografia era suficient per sintetitzar tots els canvis ambientals. Margalef el 1971 advertia: «...repeteixo, aquesta predicció no es pot estendre a més d'una o dues desenes d'anys».

El creixement demogràfic als inicis del segle XXI

El creixement demogràfic de la humanitat ha continuat essent exponencial al llarg dels darrers 100 anys. En l'article de Margalef, la població de la terra era la meitat de l'actual, i, per tant, és de suposar que els valors de (*r*) han seguit augmentant. A la taula 2 podem veure que la mitjana mundial de la taxa instantània de creixement (*r*) pel període 2010-2016 era de 0,011, la taxa instantània de creixement en energia (*f*) era negativa (*f*=-0,002) i el valor de *r+f* resultava de 0,0091. Valors que són inferiors als de Margalef a la Taula 1. O sigui que el planeta hauria baixat la seva acceleració però encara no estaria frenant (*r+f* mitjà mundial és positiu). Recordem que aquest fou un període de crisi econòmica, pel que la (*f*) mundial en conjunt és negativa (Taula 2). Segons l'ONU (2021), el creixement poblacional aviat serà negatiu i, amb les tendències actuals, el 2100 s'assolirà el màxim de població (11000 milions), l'evolució dels valors de (*f*) estan per veure.

Per veure com variaven amb un cert detall els valors de *r* i *f* pel període 2010-2015, hem seleccionat 19 països, que inclouen els més poblats i una representació de tots els continents (Taula 2). Els hem agrupat segons quatre situacions possibles: 1) Decreixement de *r* i *f*; 2) Decreixement de *r* i augment de *f*; 3) Creixement de *r* i disminució de *f*; 4) Increment de *f* i *r* a la vegada.

En primer lloc tenim països que decreixen tant en població com en consum d'energia primària (Rússia i Japó). La suma de *r+f* en els dos casos és negativa. Mentre que en el cas de

Taula 2. Valors de diferents paràmetres demogràfics, energètics i econòmics de diferents països del món (valors entre 2010 i 2016). S'han seleccionat els països amb més població ja que són els principals emissors de carboni a l'atmosfera (TnCO₂/cap) en global. Elaboració pròpia a partir de dades estadístiques de fonts diverses. Estan ordenats en funció dels valors positius o negatius de: *r* = taxa instantània d'augment de la població. *f*= taxa instantània d'augment del consum d'energia. En primer lloc països amb *r* i *f* negativa, en segon lloc països amb *r* negativa i *f* positiva, en tercer lloc països amb *r* positiva i *f* negativa i finalment en països amb *r* i *f* positives. Endo/Exo = Relació entre energia endosomàtica i exosomàtica. Ha/cap = Petjada Ecològica. A part dels 19 països també s'indica la mitjana mundial a la darrera fila que inclou tots els països del món.

		Fills/pers	<i>r</i>	<i>f</i>	<i>r+f</i>	Exo/Endo	TnCO ₂ /cap	Ha/cap	PIB/càpita
Rússia	EU	1,66	-0,0005	-0,0040	-0,0045	48,74	19,55	3,70	24451
Japó	Àsia	1,40	-0,0022	-0,0177	-0,0199	37,29	11,73	4,90	40743
Alemanya	EU	1,39	-0,0006	0,0005	-0,0001	41,67	11,80	1,60	48014
Regne Unit	EU	1,70	0,0053	-0,0246	-0,0193	31,10	9,09	5,30	41756
Sudàfrica	Àfrica	2,40	0,0083	-0,0228	-0,0145	23,52	4,58	2,10	13996
Espanya	EU	1,32	0,0001	-0,0120	-0,0119	30,57	7,56	1,20	34906
Mèxic	NA	2,29	0,0124	-0,0236	-0,0112	14,89	5,09	3,40	16988
Egipte	Àfrica	3,38	0,0196	-0,0227	-0,0031	9,49	3,10	1,10	10193
USA	NA	1,89	0,0073	-0,0099	-0,0026	73,53	19,43	9,40	56116
Etiòpia	Àfrica	4,20	0,0288	-0,0156	0,0132	3,29	1,81	0,80	1630
Nigèria	Àfrica	5,40	0,0263	-0,0010	0,0253	1,32	1,65	1,44	6004
Brasil	SA	1,82	0,0080	0,0055	0,0135	14,53	14,15	2,40	15391
Pakistan	Àsia	3,72	0,0203	0,0053	0,0256	4,17	1,88	0,80	5010
Colòmbia	SA	1,93	0,0085	0,0258	0,0343	9,08	3,53	1,90	13829
Xina	Àsia	1,55	0,0043	0,0336	0,0379	22,75	9,04	2,10	14450
Índia	Àsia	2,48	0,0118	0,0293	0,0411	5,47	2,24	0,90	6100
Indonèsia	Oceania	2,50	0,0112	0,0350	0,0462	7,78	2,96	1,10	11057
Filipines	Oceania	3,04	0,0151	0,0367	0,0518	3,80	1,61	0,90	7387
Bangladesh	Àsia	2,23	0,0118	0,0674	0,0792	1,95	1,11	0,60	3397
Món		4,50	0,0111	-0,0020	0,0091	18,33	7,12	2,70	15672

Japó els dos descensos semblen estructurals i que continuaran en el temps, en el cas de Rússia el descens en el consum d'energia podria ser un fet puntual derivat de la crisi econòmica. Per bé que les taxes individuals disminueixin, els valors totals d'emissions de CO₂ o la petjada ecològica dels dos països eren molt alts, el que indica que l'impacte ambiental actual dels dos països és rellevant. Rússia té un valor de Tn CO₂/càpita molt elevat, el que indica la poca eficiència del seu sistema de generació d'energia.

En segon lloc podem veure com Alemanya és el cas d'un país on hi havia un petit decreixement demogràfic i un petit creixement del consum d'energia. El valor final de r+f és negatiu (-0,0595) com passa a molts països desenvolupats. Alemanya ha començat a frenar el creixement demogràfic si atenem a les polítiques que està emprenent destinades a disminuir les emissions de CO₂. El seu impacte global és, però, tan important com el de Japó, i tant el rati Exo/Endo com les Tn de CO₂/càpita són molt elevades (Taula 2).

Tot seguit tenim països que tenen creixement demogràfic positiu i un decreixement energètic. Alguns tenen una r+f final petita (per exemple Espanya o Gran Bretanya. Interessant és el cas dels Estats Units i Nigèria, dos països on en el període estudiat, hi havia un creixement demogràfic (molt més elevat a Nigèria) amb un decreixement de l'ús de l'energia. Mentre Nigèria té un valor positiu de r+f (0,0261), els EEUU el tenen negatiu (-0,0026) (Taula 2). Observi's però que l'impacte era molt diferent, tant si ho valorem en termes d'emissions de CO₂ com en termes de petjada ecològica (Taula 2). A molts països llatinoamericans hi ha una frenada de r i creixements de f, però la seva incidència a nivell mundial és poca (Taula 2).

Finalment, veiem com hi ha uns quants països, dels més poblats del món, que tenen unes taxes de creixement positives en ambdós índexs. Crida l'atenció la Índia amb una acceleració de 0,411 i un nivell d'emissions de carboni similar al de Brasil, el que implica que serà un dels màxims emissors en el futur ja que incrementarà la seva petjada ecològica, ara molt baixa. El mateix s'aplica al Pakistan, amb unes taxes creixents també (0,0256) tot i que amb un impacte encara baix. La situació de Brasil és també de creixement de tots dos índexs i té una emissió de carboni a l'atmosfera molt gran (pel metà emès per la seva ramaderia).

Quin serà el creixement del futur?

Les projeccions de la ONU donen com a resultat un creixement de la població a finals del segle XXI de fins a 11000 milions d'humans a partir del qual la població s'estabilitzaria i després començaria a baixar. La població creixerà sobretot a l'Àsia i a alguns països de l'Àfrica, com Nigèria. Aquest país es preveu que doblin el nombre d'habitants en un període de temps relativament curt. Però el creixement vindrà sobretot d'Àsia i Àfrica, de països ja molt poblats i amb taxes de fills/dona encara molt altes, mentre Europa i Amèrica ja tenen taxes de fills per dona per sota de 1,5 (Taula 2). El creixement demogràfic és molt important i, si no es limita la població, les necessitats de cultivar per alimentar-la faran que hi hagi una crisi encara més gran de la Biodiversitat (Crist *et al.*, 2017)

Hi ha països que, per la seva situació econòmica i per les limitacions que imposen a la immigració, tenen ja una disminució de la població i la tindran encara més gran en el futur. L'exemple paradigmàtic és el Japó. Diferents països seguiran el passos del Japó, i alguns factors poden encara reduir-la més. Per exemple, amb la COVID-19, la taxa de naixements a Espanya va disminuir el 20 % i ja era de les més baixes del món (1,32). Altres autors han estudiat les pautes de creixement de la població i han conclòs que, degut als canvis en l'actitud de les dones davant la maternitat induïts per diversos factors (per exemple les sèries de televisió), la població mundial no creixerà tant i que a finals del segle XXI serà d'uns 7 mil milions d'habitants, després d'haver crescut fins a 8,5 (Bricker & Ibbitson, 2019). O sigui que la r va de baixa i hi anirà cada vegada més, no està clar a quin ritme ni el moment en que s'estabilitzarà la població.

Pel que fa a l'energia, què podem predir?. Sembla que molts dels països aposten per una transició energètica, que no sempre inclou una disminució de l'ús de l'energia sinó un canvi a energies dites «més netes», de manera que hi ha fins i tot qui qüestiona si el «creixement verd» és possible (Hickel & Kallis, 2020). No queda clar, doncs, si hi haurà una disminució no sols de la f sinó del consum total d'energia de cada país, que és l'important. Ja hem dit abans que les prediccions no es poden fer a gaire llarg termini, totes les que es fan ara tenen un gran grau d'incertesa (variància en deia Margalef); la humanitat s'enfronta a escenaris demogràfics i de consum d'energia molt dispersos i problemàtics, que inclouen l'escassetat d'energia i recursos. Els canvis futurs depenen molt de factors socials i polítics que de vegades poden fer caminar el món en direccions que no estaven previstes.

És incompleta l'aproximació que feia Margalef fa 51 anys?

Fa 50 anys no existia ni el concepte de petjada ecològica, ni es coneixien prou bé les emissions de carboni a l'atmosfera o altres indicadors de canvi global que es fan servir ara com a descriptors dels canvis ambientals, com els de la Taula 2. Faria servir Margalef ara només l'energia i la demografia o buscaria altres indicadors? En el seu article de 1971, Margalef anava més enllà de la seva fórmula demogràfica i va explorar també l'impacte ambiental. Deia: «Més enllà de la qüestió demogràfica tenim l'explotació o la conservació de la natura, base de la nostra subsistència». Parlava també de mobilitat i com això augmenta el consum d'energia externa. També de pol·lució o de les desigualtats produïdes per l'explotació de la natura, i de com l'ecologia... «...resulta un si és no és incòmoda quan no es limita a recomanar directament que hom no embruti massa els rius o com seria de convenient de no talar un bosc bonic», paraules altra volta ben actuals. I sentència: «cada vegada estem més lligats els uns als altres i cada vegada la interacció entre home i natura es fa a una escala més amplia, és a dir, cada vegada seria més difícil superar els nostres disbarats col·lectius». Sort que no era profeta.

Quan el món sembla encaminar-se a una aposta per fer servir sobretot energies renovables i anar abandonant els combustibles fòssils, potser podríem pensar que en el futur les emissions de carboni a l'atmosfera seran menors (amb o

NOTA BREU

sense descens de l'energia usada). També, que la disminució d'aquestes emissions pot fer que es reverteixi l'increment de temperatura de l'atmosfera i tots els efectes associats (per tant potser no caldria reduir la f de Margalef). Es tractaria de mantenir la despesa d'energia individual (però renovable) alhora que el creixement econòmic mesurat com a increment del PIB, o sigui no caldria decreixement energètic i es podria seguir amb el creixement econòmic. Serà això possible?. La relació entre PIB i despesa d'energia (Kw-h/€) és també un valor interessant. Hi ha exemples de països amb baixa eficiència, com Turkmenistan, que podrien millorar, però Suïssa o Singapur, amb valors Kw-h/€ja baixos, ja no poden disminuir gaire més aquesta eficiència i en canvi tenen altes emissions per càpita. N'hi haurà prou amb millorar l'eficiència o cal disminuir el consum energètic?. Tot fa preveure que sense la disminució del consum total d'energia (sigui de l'origen que sigui) no es revertirà el canvi ambiental que l'home està produint en la Biosfera.

Les emissions de CO₂, o la petjada ecològica (les hectàrees de planeta que es necessiten per persona), o el dia en que a cada país se li acaba la superfície necessària per absorbir el seu impacte, són indicadors interessants (Taula 2). Tots mostren que no n'hi ha prou en baixar l'acceleració (r+f) ni tampoc en millorar el valor de Kw-h/€. Disminuir l'acceleració que proporciona la (r+f) de l'equació de Margalef no és suficient i cal baixar tant la població com la despesa d'energia si volem un planeta sostenible, o sigui que cal un decreixement de tots els indicadors. El cotxe elèctric, l'ús de noves fonts d'energia o la crisi dels materials seguirà provocant un impacte ambiental enemic de la Biodiversitat i del funcionament de la Biosfera tal com el coneixem ara. Voler incrementar de forma ràpida la producció d'energies renovables, pot tenir altres impactes ambientals (que fan que molta gent s'oposi a nous parcs eòlics o solars), i per tant que els objectius de producció d'energies renovables no siguin assolits. En tot cas, tot i que l'emissió de gasos d'efecte hivernacle disminueixi, sembla que el consum d'energia seguirà alt i per tant també l'impacte ambiental. I seguirem invertint la «topologia del paisatge» (més urbanització i carreteres) el que, segons Margalef, és tant o més preocupant que el canvi climàtic. No sembla que les solucions actuals siguin les adequades per evitar que la Biosfera arribi al seu «punt crític» i ja no torni a ser mai més la que nosaltres vàrem conèixer.

A modus d'epíleg

En resum, l'aproximació de Margalef crec que encara és molt vàlida i que disminuir la població i gastar menys energia, sigui la que sigui, és el camí cap a la sostenibilitat. Les paraules de Margalef fa 50 anys són encara ben vàlides i ens recorden altra vegada la gran personalitat científica i humana d'algú que va ser un mestre per a molts, i un exemple com a persona. Li havia sentit a dir moltes vegades, quan anava a fer alguna xerrada a una escola o una llar d'avis, que anava

a fer «apostatat». Els que venim darrera també hem mirat de fer una mica d'apòstols, no sé si alguna vegada ho hem fet com Sant Pere i altres com Sant Pau, en tot cas hem intentat seguir els passos del nostre mestre per entendre, conservar i restaurar la Nostra Biosfera, en el meu cas sobretot els ecosistemes aquàtics.

Bibliografia

- Bricker, D. & Ibbitson, J. 2019. *El planeta vació*. Penguin Random House. Barcelona. 315 p.
- Crist, E., Camilo, M. & Engelman, R. 2017. The interaction of human population, food production and biodiversity protection. *Science*, 356: 260-264.
- Crutzen, P. J. & Stoermer, E. F. 2000. The 'Anthropocene'. *Global Change Newsletter*, 41: 17-18.
- IPCC, 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Hickel, J. & Kallis, G. 2020. Is green growth possible?. *New Political Economy*, 25: 469-486.
- IPBES 2019. *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. [Accessible a: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>].
- Margalef, R. 1971. L'Home part de la biosfera i objecte i estudi de l'Ecologia. *Treballs Societat Catalana de Biologia*, 30: 13-25.
- Margalef, R. 1976. *Bases ecològiques per a una gestió de la natura*. P. 25-64. In: Folch, R. (ed.). *Natura, ús o abús? Llibre Blanc de la Gestió de la natura als Països catalans*. Institució catalana d'Història natural/Barcino. Barcelona. 442 p.
- Margalef, R. 1985. *L'Ecologia*. Servei del Medi ambient, Diputació de Barcelona. Barcelona. 126 pp.
- Margalef, R. 1989. *Introducció al coneixement de la biosfera*. P. 15-25. In: J. Terradas, N. Prat, A. Escarré & R. Margalef (eds.) *Història natural dels Països catalans*, 14. Sistemes naturals. Folch, R. (Dir.). 500 p.
- Margalef, R. 1997. *Our Biosphere*. Excellence in ecology. 10. Ecology Institute. Oldendorf/Luhe. 176 p.
- Margalef, R. 2003. De com la civilització modifica l'entorn i accelera la dinàmica d'una evolució global amb inversió de la topologia original dels espais continentals humanitzats. In: Marrasé, C., Llebot, J.E. (Eds.). *Un tast de canvi global*. *Treballs de la Societat Catalana de Biologia*: 54: 9-12.
- ONU 2021. *Desafíos globales: Población*. Disponible en: <https://www.un.org/es/global-issues/population> [Data de Revisió: 1 desembre 2021]
- Tello, E. 2013. La transformació històrica del paisatge entre l'economia, l'ecologia i la història: podem posar a prova la hipòtesi de Margalef?. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 75: 195-221.