

Ciència petita: rellevància històrica i abast actual

Discurs de presentació de Xavier Roqué com a membre numerari de la Secció de Ciències i Tecnologia, llegit el dia 11 de novembre de 2024



Institut
d'Estudis
Catalans

SECCIÓ
DE CIÈNCIES
I TECNOLOGIA

Ciència petita: rellevància
històrica i abast actual

Ciència petita: rellevància històrica i abast actual

Discurs de presentació de Xavier Roqué com a membre numerari de la Secció de Ciències i Tecnologia, llegit el dia 11 de novembre de 2024

Barcelona, 2025



Institut
d'Estudis
Catalans

SECCIÓ
DE CIÈNCIES
I TECNOLOGIA

Roqué, Xavier, autor

Ciència petita: rellevància històrica i abast actual. — Primera edició

Referències bibliogràfiques

ISBN 9788499658049

I. Institut d'Estudis Catalans. Secció de Ciències i Tecnologia. II. Títol

1. Ciència — Història 2. Investigació — Història

1(091)

1.891(091)

© Pel text: Xavier Roqué Rodríguez

© Per les imatges: els seus autors

© 2025, Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició

Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: octubre de 2025

Edició: Editorial Fonoll, SL

Disseny de la coberta: Azcunce | Ventura

Imprès a QpPrint Global Services

ISBN: 978-84-9965-804-9

Dipòsit Legal: B 18121-2025

DOI: 10.2436/10.2000.88.1



Aquesta obra és d'ús lliure, però està sotmesa a les condicions de la llicència pública de Creative Commons. Es pot reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada. Es pot trobar una còpia completa dels termes d'aquesta llicència a l'adreça: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>.

INTRODUCCIÓ

La pregunta que motiva aquest discurs és molt simple, encara que tingui moltes ramificacions: és possible per a un equip reduït fer recerca excel·lent, als límits del coneixement, amb recursos modestos? Aparentment, no. Al paisatge de la ciència contemporània sobresurten institucions com el CERN, l'Organització Europea per a la Investigació Nuclear, amb seu a Ginebra, el gran organisme transnacional europeu de recerca en física d'altres energies. El CERN representa bé una forma d'organització de la recerca a gran escala que mobilitza recursos ingents i adopta la divisió industrial del treball. El seu funcionament exigeix una gran determinació política i un ampli suport mediàtic que cal renovar constantment.¹ Les dimensions d'aquests organismes són gegantines. El CERN ha excavat un túnel de 27 quilòmetres de circumferència a 100 metres de fondària que travessa la frontera francosuïssa. El túnel allotja diversos experiments i detectors, com ara ATLAS, un cilindre de 46 metres de llargària que pesa tant com la Torre Eiffel. En aquestes institucions col·laboren centenars de científics de desenes de països, que sovint signen conjuntament les seves publicacions.

Al costat de laboratoris com el CERN, o d'observatoris com LIGO (Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory), o de telescopis com el James Webb (NASA), el treball dels investigadors que no requereixen equipament sofisticat ni pressupostos milionaris sembla insignificant. De fet, a partir d'aquests mateixos exemples, els editors d'una gran revista de física europea es preguntaven

1. Jon AGAR (2012), *Science in the Twentieth Century and Beyond*, Cambridge: Polity.

en 2021 «si les perspectives d'avenços significatius amb base a experiments petits es van esvaint».² Nombrosos autors, entre els quals el físic Gianfranco Giudice, creuen que som davant d'un procés històric inexorable, perquè «més d'hora o més tard, el progrés de la ciència crea la necessitat d'instruments grans i cars».³

La qüestió no és nova. Des de la fi de la Segona Guerra Mundial, el contrast d'escala entre formes de recerca s'ha expressat mitjançant les categories «ciència gran» (*Big science*) i «ciència petita» (*small o little science*). L'historiador de la ciència Derek de Solla Price consolidà aquest vocabulari als anys 1960, en un llibre molt influent que analitzava què era «essencialment nou en l'era actual de la ciència gran», allò que la distingia de «l'estat anterior de ciència petita».⁴ Entre ambdues categories s'establí des del primer moment una relació força asimètrica: la ciència gran es projectava triomfalment al futur, «nova, lluent i poderosa», mentre que la ciència petita, una forma antiga de viure, era contemplada amb nostàlgia.⁵ Aquesta retòrica fou molt efectiva. Alhora que en reconeixia l'existència, segellava el significat subsidiari d'una categoria de la qual ningú no n'havia parlat fins aleshores.

En la història de la física es dona una situació similar en la primera dècada del segle xx, quan els creadors de la teoria de la relativitat i la teoria quàntica contraposaren la seva física moderna a una física clàssica fins aleshores inexistente: «La física clàssica i la física moderna foren creades al mateix temps [...] imatges besones a banda i banda de la falla que separava la física del passat de la del futur».⁶ Anàlogament, la ciència gran i la ciència petita se situen a banda i banda de la falla que separa dues formes contemporànies de recerca, amb profundes implicacions per als problemes que tenim plantejats.

En tot cas, aquest relat sobre l'obsolescència històrica de la recerca a petita escala resulta com més va menys convincent en el segle actual. D'una banda, la his-

2. James D. WELLS; Michael ECKERT (2021), EPJH Editorial. *The European Physical Journal H* 46, p. 12-13. «Are prospects dwindling for big breakthroughs from small experiments, even in condensed matter physics, and if so, why?».

3. Gian Franco GIUDICE (2012), «Big Science and the Large Hadron Collider», *Physics in Perspective* 14, p. 95-112.

4. Derek J. de Solla PRICE (1963), *Little Science, Big Science... and Beyond*, Nova York: Oxford University Press, p. xvi; D. J. de Solla PRICE (1961), *Science since Babylon*, New Haven, CT: Yale University Press. Cf. K. Brad WRAY (2023), «A foundational text in scientometrics», *Metascience* 32, p. 235-239.

5. PRICE (1963), p. 2: «The large-scale character of modern science, new and shining and all-powerful, is so apparent that the happy term 'Big Science' has been coined to describe it [...] Big Science is so different from the former state of affairs that we can look back, perhaps nostalgically, at the Little Science that was once our way of life».

6. Richard STALEY (2005). «On the co-creation of classical and modern physics». *Isis* 96 (4), 530-558: «Classical and modern physics were co-creations, mirror image twins of the fault line between the physics of the past and that of the future».

toriografia fa cada cop més esment d'aquest mode de recerca. Steven Shapin, per exemple, es feia ressò en 2001 de la crítica d'alguns científics a «la tirania de la burocràcia i a l'hegemonia de la ciència gran a expenses de la petita».⁷ I David Edgerton, que tan convincentment ha argumentat com d'importants són les velles tecnologies en ús i com arribem a sobrevalorar-la, la innovació, ha notat també el desplaçament d'atenció «d'allò que és nou a allò que és vell, d'allò que és gran a allò que és petit, d'allò que és espectacular a allò que és mundà, d'allò que és masculí a allò que és femení, d'allò que és ric a allò que és pobre».⁸ D'altra banda, aquest reconeixement ha coincidit en el temps amb la recuperació del sentit històric dels sabers tradicionals, de la reutilització i de l'estalvi de materials, i amb la crítica de diferents autors a la ciència accelerada i espectacular, a la qual han oposat noves categories afins, com ara ciència frugal, ciència menor, o ciència lenta. Com és que veus tan diverses concorden en aquesta apreciació renovada de la recerca local i modesta? Com encaixen aquestes anàlisis de la ciència actual amb allò que sabem sobre el desenvolupament històric de la ciència i la tecnologia? No tindrà la meua pregunta inicial una resposta menys aparent, però més convincent?

Em proposo, doncs, explorar les arrels històriques i el sentit actual d'una forma de recerca que no només no ha estat desplaçada definitivament, sinó que no ha deixat de tenir un paper clau en la creació de coneixement avançat i que adquireix un abast paradoxal en l'actual emergència climàtica. Emmarcada en una recerca en curs, alguns dels elements de la meua anàlisi són prou coneguts, però no han estat reunits fins ara en un argument de llarga durada.

UNA CATEGORIA TÀCITA

Començaré amb l'observació trivial, però necessària, que les categories que utilitzem per analitzar la ciència no són naturals sinó eines retòriques canviants, cadascuna amb la seva pròpia història. Algunes d'aquestes històries han estat curiosament reconstruïdes, i així tenim excel·lents relats sobre la conformació de categories com *recerca bàsica*, *ciència aplicada*, *ciència oberta* o fins i tot *ciència gran*.⁹ A l'ombra de

7. Steve SHAPIN (2001), «How to be antiscientific». A: Harry COLLINS; Jay A. LABINGER, eds. *The One Culture? A Conversation about Science*, Chicago: The University of Chicago Press, p. 99-115 (p. 113): «Some scientists are now violently critical of what they take to be... the tyrannizing and stultifying effects of bureaucratization in science [and of] the hegemony of Big Science at the expense of Little».

8. David EDGERTON (2006), *The Shock of the Old. Technology and Global History since 1900*, Londres: Profile Books (p. xv): «A consequence of the new approach is that we shift attention from the new to the old, *the big to the small*, the spectacular to the mundane, the masculine to the feminine, the rich to the poor».

9. Sabine CLARKE (2010), «Pure science with a practical aim: the meanings of fundamental research in Britain, circa 1916-1950», *Isis* 101, p. 285-311; Robert BUD (2012), «'Applied Science': A

categories més poderoses, però, ciència petita ha estat considerada una categoria menor que no demana la mateixa atenció que qualsevol altra.

L'origen de la categoria *ciència gran* se situa sovint en els projectes científics, industrials i militars de la Segona Guerra Mundial, com el disseny i la construcció d'armes nuclears o radars. La guerra, però, només accelerà processos que ja estaven en marxa. Als anys 1920, arran de la Revolució Russa, Stalin promogué la creació d'instituts estatals que combinaven recerca fonamental i desenvolupament tecnològic amb finalitats civils i militars. L'ascens de la gran ciència socialista i el de la gran ciència estatunidenca formarien part d'un procés internacional, visible també a l'Alemanya nazi.¹⁰

Als Estats Units, acabada la guerra, alguns dels científics que havien liderat laboratoris militaritzats introduïren críticament el terme *Big science* en el discurs públic sobre ciència i política. Merle A. Tuve, creador de l'espoleta de proximitat, cercà refugi «de les pressions de la gran ciència de la Guerra Freda» en la radioastronomia, un camp que encara admetia l'ús d'equipament relativament modest.¹¹ Tuve qüestionà la ciència gran en nombroses publicacions i informes. A la conferència inaugural d'un congrés sobre recerca bàsica celebrat el 1959, preguntà al mig miler de participants si la ciència «no era massa gran per al científic» i mostrà preocupació pels efectes negatius de l'ús d'instruments sofisticats: «És la ment despallada de l'home, no els espectaculars instruments que concep, el que produeix tot allò que de bell té la ciència». L'austeritat afavoria la creació intel·lectual: «El treball creatiu gairebé sempre es fa amb recursos limitats i en condicions difícils».¹² Per la seva banda, Alvin M. Weinberg, director d'un dels grans laboratoris del Projecte Manhattan, admirava la «ciència gegant», que comparava amb les piràmides egípcies o les catedrals medievals, però temia que l'abundància presupostària, l'excés de burocràcia, i la dependència dels mitjans de comunicació no

Phrase in Search of a Meaning». *Isis* 103, p. 537-545; Jon AGAR (2017), «The curious history of curiosity-driven research». *Notes and Records of the Royal Society of London*, 71, p. 409-429; Sabina LEONELLI (2023), *Philosophy of Open Science*, Cambridge: Cambridge University Press; James H. CAPSHEW, Karen A. RADER (1992), «Big Science: Price to the Present» *Osiris*, 7, p. 3-25.

10. Jeff HUGHES (2002), *The Manhattan Project. Big Science and the Atom Bomb*, Duxford, Icon Books; Alexei KOJEVNIKOV (2004), *Stalin's Great Science. The Times and Adventures of Soviet Physicists*. Londres: Imperial College Press, p. 23; Ryan DAHN (2019), «Big Science, Nazified? Pascual Jordan, Adolf Meyer-Abich, and the Abortive Scientific Journal *Physis*», *Isis* 110, p. 68-90.

11. Jessica WANG (2012), «Physics, Emotion, and the Scientific Self: Merle Tuve's Cold War», *Historical Studies in the Natural Sciences* 42, p. 341-388, p. 349, citant un informe de Tuve immediatament posterior a la guerra.

12. Merle A. TUVE (1959), «Is science too big for the scientist?», *The Saturday Review*, p. 49-52: «It is the unadorned mind of man, and not the fanciful instruments man conceives, that produces all of the beautiful in science» (p. 48); «creative work is nearly always done with limited resources and under difficult conditions» (p. 51).

acabessin arruïnant la ciència i la societat. Els monuments de la gran ciència eren fràgils i no havien d'eclipsar el sentit últim de la recerca científica, que era el de «enriquir i eixamplar la vida humana».¹³

Cap dels autors que discutiren el creixement de la ciència durant la Guerra Freda no definí la ciència petita sinó «per la manca d'una o altra de les característiques de la ciència gran, o com un vague precedent històric».¹⁴ Som, doncs, davant d'una categoria tàcita, definida en negatiu. Una de les conseqüències de considerar la ciència petita com una forma de recerca superada ha estat la indiferència historiogràfica. Així, hi ha nombrosos estudis sobre el creixement de la ciència contemporània (el volum editat en 1992 per Galison i Hevly inclou una bibliografia introductòria amb més de cent referències), però no hi ha cap estudi comparable sobre la ciència petita.¹⁵

Aquest mutisme no significa que la categoria no s'hagi emprat en un sentit implícit i imprecís que restà estable durant la segona meitat del segle xx. Una revisió dels usos a *Nature* i *Science* revela que científics, administradors i periodistes desplegaron la categoria en un sentit reactiu i nostàlgic. Com a forma de recerca poc visible i políticament feble, la ciència petita havia de competir en condicions d'inferioritat per recursos de recerca sempre limitats, en debats que podien enfrontar disciplines (la física amb la biologia, per exemple) o les diferents branques d'una mateixa disciplina (la física d'altres energies amb la física de l'estat sòlid, per exemple).¹⁶ La categoria permeté també expressar la crítica als recursos destinats al projecte Genoma Humà, i fou emprada per físics que rebutjaren l'apropiació, pels promotors de la física de partícules, d'innovacions

13. Alvin M. WEINBERG (1961), «Impact of Large-Scale Science on the United States», *Science*, 134 (3473), p. 161-164: «we must not allow ourselves, by short-sighted seeking after fragile monuments of Big Science, to be diverted from our real purpose, which is the enriching and broadening of human life». Cf. A. M. WEINBERG (1967), *Reflections on Big Science*, Cambridge, MA: MIT Press.

14. CAPSHEW i RADER (1992), p. 4.

15. Peter GALISON, Bruce HEVLY, eds. (1992), *Big Science: The Growth of Large-Scale Research*, Stanford: Stanford University Press. Vegeu també Panagiotis CHARITOS, T. ARABATZIS, H. CLIFF, G. DISSERTORI, J. FORNERIS, J. LI-YING, eds. (2023), *Big Science in the 21st Century. Economic and societal impacts*, Londres: IOP Publishing.

16. David LINDLEY (1987), «Congress gives supercollider easy round but worries about cost», *Nature* 326, p. 633-633; NATURE editorial (1988), «Fighting wrong battles», *Nature* 332, p. 382; Constance HOLDEN (1992), «Small science squeeze», *Science* 225, p. 1507; NATURE Special Correspondent (1969), «The EMBO Question Debated», *Nature* 224, p. 406-407; Robert WALGATE (1984), «Another blow to UK physicists», *Nature* 308, p. 390; Bruce M. ALBERTS (1985), «Limits to growth: In biology, small science is good science», *Cell* 41, p. 337-338. Cf. Daniel KEVLES (1997), «Big Science and Big Politics in the United States: Reflections on the Death of the SSC and the Life of the Human Genome Project», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 27(2), p. 269-297; Joseph D. MARTIN (2019), *Solid State Insurrection. How the Science of Substance Made American Physics Matter*, Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

que «pròpiament pertanyen a la ciència petita», com la ressonància magnètica nuclear.¹⁷

Com ha canviat aquesta percepció? Per comprendre com podem dotar de sentit aquesta categoria no n'hi ha prou de considerar la ciència contemporània: hem de remuntar-nos més enllà.

ORDRES D'INFORMACIÓ I PRÀCTIQUES IGNORADES

La naturalització de la ciència gran com a fenomen històric inexorable no només ha eclipsat la ciència petita contemporània. En identificar la ciència anterior al segle xx amb la ciència petita, també ens ha distorsionat la percepció de l'evolució de la ciència als darrers cinc segles, en dos sentits importants: obviant la dimensió global dels ordres d'informació de l'època moderna i menystenint la importància dels sabers artesanals i pràctics.

Des del segle xvii, pel cap baix, la ciència ha construït extenses xarxes de coneixement que relacionen actors molt diversos. L'estudi d'aquests *ordres d'informació* ha revelat l'insospitat abast planetari de la revolució newtoniana i ha qüestionat la imatge de Newton con un filòsof reclòs i solitari, una imatge summament equívoca conreada per ell mateix («Soc com un nen que juga a la platja i es distreu amb les petxines i els còdols, a la vora del gran oceà inexplorat de la veritat»)¹⁸. També ha dut al reconeixement de categories ancestrals com les de *big sciences* i *small sciences*. Les primeres inclourien l'astronomia, la cartografia, la geografia, la història natural, la meteorologia, la botànica mèdica i una part substancial de les matemàtiques aplicades; les segones, la filosofia experimental, l'anatomia i la cirurgia, i les matemàtiques.¹⁹ Al segle xix, les branques emergents de la física, com

17. Christopher WILLIS (1993), «Our genetic legacy», *Nature* 364, p. 113; David C. CHAFFEE (1991), «Can Big Science Claim Credit for MRI?», *Science* 253, p. 1204.

18. Simon SCHAFFER (2008), *The information order of Isaac Newton's Principia*, Uppsala: Uppsala University. Schaffer reproduïx la citació de Newton segons Edmund TURNOR (1806), *Collections for the History of the Town and Soke of Grantham* (Londres: William Miller), p. 173 n. 2: «I know not what I may seem to the world, but as to myself, I seem to have been only like a boy playing on the sea-shore and diverting myself in now and then finding a smoother pebble or a prettier shell than ordinary, whilst the great ocean of truth lay all undiscovered before me».

19. Steven J. HARRIS (1998), «Long-Distance Corporations, Big Sciences, and the Geography of Knowledge», *Configurations* 6, p. 269-304: «Without getting caught up in the details of the scale of practice, we could make the general claim that the category of 'big sciences' would embrace a good part of stellar and planetary astronomy, cartography, mathematical and descriptive geography (including what we would now call anthropology and ethnography), natural history, meteorology (which, like parts of astronomy, would require a long time-line as well as geographically dispersed observers), pharmacy and medical botany, and some parts of mixed mathematics (surveying, navigation, hydrology, etc.). Conversely, the 'small sciences' would include virtually all of experimental philosophy, anatomy and surgery, most of 'pure' mathematics, and a surprising number of the classics of the Scientific Revolution» (p. 295).

l'electromagnetisme i la termodinàmica, creixen a l'empara de les estructures polítiques i econòmiques dels imperis europeus.²⁰

Certament hi ha excepcions i podríem fer molts matisos. El físic alemany Heinrich Hertz, format en un sistema d'ensenyament superior que era producte de la integració de la ciència en l'Estat i l'economia, va tanmateix generar i detectar per primera vegada ones electromagnètiques amb instruments que havia construït ell mateix, i va aconseguir tot just fer visible el primer camp electromagnètic a través de les guspies que generava en una aula no gaire més gran que aquesta sala [la sala Pere i Joan Coromines de l'IEC].²¹ Aquest camp primigeni, indiferent a cap promesa comercial, acabaria cobrint el planeta d'ones hertzianes. La discreció acadèmica de Hertz contrasta amb el sentit de l'espectacle d'un enginyer autodidacte de la seva mateixa edat, Nikola Tesla, però l'excepció no resta força a una de les conclusions de Dominique Pestre en una obra en tres volums sobre la ciència dels darrers cinc-cents anys, la conclusió que «el món dels negocis, el comerç i la producció ha estat clau per al desenvolupament de la ciència, especialment en el cas de la cultura de la precisió i les pràctiques experimentals», històricament delimitades del treball teòric, però que s'incorporen als nous laboratoris acadèmics i industrials a finals del segle XIX.²² La ciència anterior a la Segona Guerra Mundial no era pas una ciència petita, certament no en el sentit que li han assignat els promotors de la ciència gran.

La segona distorsió històrica té a veure amb l'exclusió dels sabers artesanals. La crítica a l'hegemonia de la ciència gran contemporània entronca amb la crítica al relat heroic sobre els creadors occidentals de la ciència i la tecnologia modernes. N'és un bon exemple l'atribució recent a metal·lúrgics negres jamaicans de la tècnica de refinament del ferro patentada per Henry Cort, un dels pilars de la revolució industrial. Setanta-sis esclaus jamaicans d'origen africà, amb antecessors experts en el treball dels metalls, van crear una nova tècnica per refinar ferro, basada en els molins de la canya de sucre. La seva foneria de Jamaica fou desmantellada el

20. Crosbie SMITH, Norton WISE (1989), *Energy and Empire. A Biographical Study of Lord Kelvin*, Cambridge: Cambridge University Press; Simon SCHAFFER (2011), «The laird of physics», *Nature* 471, p. 289-291.

21. Manuel GARCÍA DONCEL i Xavier ROQUÉ, eds. (1990), *Heinrich Hertz. Las ondas electromagnéticas*, Barcelona: Publicacions UAB i Edicions UPC.

22. Dominique PESTRE (2016), «Savoirs et sciences de la Renaissance à nos jours. Une lecture de longue durée». A: D. PESTRE, Christophe BONNEUIL, eds. *Histoire des sciences et des savoirs. Vol. 3. Le siècle des technosciences* (Paris: Seuil, 2015), p. 461-485: «le monde des affaires, du commerce et de la production a toujours constitué une ressource majeure du déploiement des savoirs et des sciences» (p. 474). Cf. Lissa ROBERTS, Simon SCHAFFER, Peter DEAR, eds. (2007), *The mindful hand. Inquiry and invention from the late Renaissance to early industrialisation*. Amsterdam: KNAW; Lissa ROBERTS and Simon WERRETT, eds. (2017), *Compound Histories. Materials, Governance and Production*, Leiden and Boston: Brill.

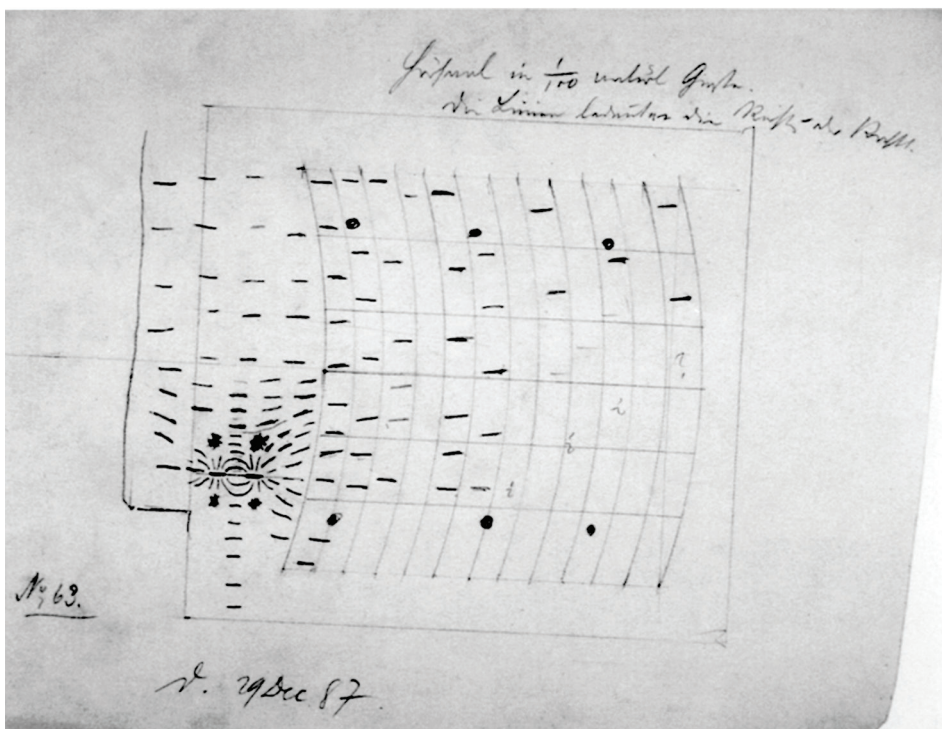


FIGURA 1. Heinrich Hertz, «Versuchsprotokolle [quadern de laboratori], pàg. 7a». El text diu: «Aula a escala 1/100. Les línies representen la direcció de la força. 29 desembre [18]87». GARCÍA DONCEL i ROQUÉ (1990), p. 187.

1782 i les màquines transportades al Regne Unit, on aquell mateix any Cort patentà la nova tecnologia.²³ Aquest no és en absolut un cas aïllat. De nou Pestre conclou que «els *savoir-faire*, els sabers artesanals i productius foren (i són encara) decisius per al desenvolupament de la ciència», el que és especialment cert de les cultures de la precisió i les pràctiques experimentals, històricament delimitades del treball teòric.²⁴ A *Thrifty Science*, Simon Werrett explora l'ús creatiu i la

23. Jenny BULSTRODE (2023), «Black metallurgists and the making of the industrial revolution», *History and Technology*, 39(1), p. 1-41. Vegeu també Candice GOUCHER (2025), «Gendering the memory of iron: Theft, lineage, and African metallurgists in the Atlantic world», *History of Science* 63(1), p. 3-28.

24. PESTRE (2016), p. 472: «les *savoir-faire*, les savoirs artisanaux et de production ont été (et sont toujours) décisifs dans l'émergence (et la transformation continue) des sciences; cela est notamment vrai pour la culture de précision et les pratiques expérimentales» (p. 472). Otto SIBUM (2004), «What kind of science is experimental physics?», *Science* 306, p. 60-61.

reutilització de materials en l'edat moderna, vinculant aquesta manera de crear coneixement amb la preocupació actual per l'estalvi i el reciclatge, contraris a la despesa i la renovació constants. Per a Werrett, el segle xx no representaria una ruptura sinó un parèntesi: «si a finals del segle xx imaginàvem que el futur de la ciència seria 'gran', a principis del segle xxi veiem que el futur també serà 'petit'». Werrett troba que la ciència inventiva de la reutilització ha estat enfosquida (*obs-cured*) pel creixement de la ciència contemporània: «els científics continuen usant coses que tenen a mà, improvisant, substituint i modificant».²⁵ Per a mi la recuperació del valor d'aquestes maneres de fer reil·lumina actors i pràctiques que mai no han deixat de ser rellevants.

Així com hem hagut d'esmerçar molt esforços a mostrar la dimensió industrial i l'abast global del treball científic anterior al sorgiment de la gran ciència, ara hem de fer novament, en sentit invers, un gran esforç per mostrar la pervivència en el si de la ciència actual de pràctiques que consideràvem superades.²⁶ Ho il·lustraré amb tres casos.

El silenci de l'ozó

El primer cas mostra que la ciència petita pot ser desproporcionadament rellevant en àmbits de recerca que comparteix amb la ciència gran.

Des de la instal·lació el 1957 de la primera base antàrtica de la Badia Halley, un petit grup de científics britànics mesurà diàriament, durant l'estiu austral, la quantitat d'ozó atmosfèric. Un membre de l'equip, de vegades dos, llegia un espectrofotòmetre instal·lat dins una caseta muntada sobre esquís. L'instrument havia estat concebut als anys 1920 per un físic de la Universitat d'Oxford, Gordon M. B. Dobson, per mesurar la concentració de la molècula que impedeix que la radiació solar ultraviolada travessi l'atmosfera. Amb els anys se'n mecanitzaren els components i l'estructura, i se'n fabricà un centenar, d'unitats, que estan numerades i que en molts casos segueixen operatives.²⁷

25. Simon WERRETT (2019), *Thrifty Science. Making the Most of Materials in the History of Experiment*, Chicago: Chicago University Press, p. 194 i 196: «Scientists have continued to make use of things ready to hand, to improvise, substitute, and shift».

26. La trajectòria vital i professional de Marie Skłodowska Curie ho mostra molt bé. Vegeu Xavier ROQUÉ (1997), «Marie Curie and the Radium Industry: A Preliminary Sketch», *History and Technology*, 13(4), p. 267-291; X. ROQUÉ (2009), «Marie Curie, icona ambivalent», introducció a *Marie Curie, Pierre Curie* (Santa Coloma de Queralt: Obrador Edèndum i Publicacions URV), p. 9-44.

27. A la base antàrtica de la Badia Halley s'empraren els aparells número 31, 51, 73, 88 i 103. Joseph C. FARMAN; R. A. HAMILTON (1975), *Measurements of Atmospheric Ozone at the Argentine Islands and Halley Bay, 1957-72* (British Antarctic Survey Scientific Reports, No. 90), Cambridge: British Antarctic Survey, p. 6. Sylvia E. NICHOL (2018), «Dobson spectrophotometer #17», *Weather and Climate* (1), p. 16-27, reconstrueix la biografia d'un d'aquests aparells.



FIGURA 2. Gordon Artz, «Gordon Artz davant la caseta de l'ozó que acollia l'espectrofotòmetre Dobson a la Badia Halley, 1959». Antarctic Legacy Archive <<https://alp.lib.sun.ac.za/handle/123456789/1249>> (17/01/2025).

Durant més de dues dècades, les mesures de l'ozó atmosfèric no revelaren cap canvi remarcable, però el 1985 el líder del grup, Joseph Farman, i dos dels seus col·laboradors anunciaren un resultat inesperat: la quantitat d'ozó disminuïa «dramàticament», molt per damunt de les prediccions teòriques. La comunicació breu i eloqüent d'aquestes dades a *Nature* tingué efectes immediats. Per al British Antarctic Survey, que havia sospesat cancel·lar el projecte per manca de resultats, el desenllaç fou irònic; per a la NASA, que impulsava un costós programa de recerca atmosfèrica, fou un fracàs.²⁸

La recerca antàrtica de l'ozó no és aliena a tensions d'escala. L'establiment de la base de la Badia Halley i la creació, el 1962, del British Antarctic Survey estan relacionats amb la celebració de l'Any Geofísic Internacional (1957-1958), que convocà milers de científics arreu del món. Però allò que distingeix el treball de

28. Joseph C. FARMAN; B. G. GARDINER; J. D. SHANKLIN (1985), «Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction», *Nature*, 315, p. 207-210; Cf. Sebastian GREVSMÜHL (2014), *La terre vue d'en haut. L'invention de l'environnement global* (París: Seuil); Sebastian GREVSMÜHL (2018), «A visual history of the ozone hole: a journey to the heart of science, technology and the global environment», *History and Technology* 33, p. 333-344.

Farman i els seus col·laboradors no és l'adscripció a un projecte de grans dimensions. Durant la temporada de mesures, les lectures instrumentals eren diàries, sovint individuals; l'espectrofotòmetre no patí cap modificació substancial al llarg de dècades d'ús; i els resultats no arribaren de pressa, sinó al capdavant d'anys d'observació. La col·laboració necessària de desenes de científics i tècnics, o l'evident dimensió geopolítica de la recerca antàrtica, no converteixen el descobriment de la disminució de l'ozó atmosfèric en un exemple de ciència gran.²⁹ L'èxit de l'equip de Farman respon, més aviat, a la impertorbabilitat de les observacions, a la continuïtat d'un grup compacte i ben travat, al domini virtuós d'un instrument robust... elements que, junt amb el silenci proverbial de Farman («No anava parlant-ne de congrés en congrés») i la seva resistència a publicar apressadament, amenaçaren, paradoxalment, la continuïtat del projecte. Farman, en fi, no detectà la disminució de l'ozó tot i recarcar localment i a petita escala, sinó justament gràcies a això.³⁰

És instructiu comparar la recerca de l'ozó amb la recerca simultània d'alguns dels constituents fonamentals de la matèria. El 1978 l'Organització Europea per a la Investigació Nuclear (CERN) llançà dos projectes per detectar les partícules mediadores de la interacció feble, els bosons anomenats *W* i *Z*. El primer plantejava la construcció d'un costós i sofisticat instrument de 2.000 tones; el segon adaptaria tecnologies existents a un cost molt inferior. L'impuls de projectes paral·lels amb un objectiu comú tenia a veure amb la necessitat de contrastar els resultats, però també amb el caràcter impetuós del responsable del projecte costós, Carlo Rubbia, temperat per la cautela del responsable del projecte modest, Pierre Darriulat. El gener de 1983 el CERN anuncià en roda de premsa que l'equip de Rubbia havia detectat les partícules *W* i *Z*, i l'any següent Rubbia i l'enginyer Simon van der Meer guanyaren el premi Nobel de Física com a líders del projecte. El CERN usà els resultats de Darriulat per validar la descoberta, però els responsables d'un i altre projecte no reberen el mateix reconeixement.³¹

La recerca silenciosa de l'ozó té molts elements en comú amb la recerca enlluernadora dels mesons. Totes dues impliquen investigadors professionals, finançats amb recursos públics, que treballen en àrees prometedores amb potencial

29. Simon NAYLOR; Martin SIEGERT; Katrina DEAN; Simone TURCHETTI (2008), «Science, geopolitics and the governance of Antarctica», *Nature Geoscience* 1, p. 143-145.

30. Paul MERCHANT (2016), «He Didn't Go Round the Conference Circuit Talking About It': Oral Histories of Joseph Farman and the Ozone Hole». A: Felicity MELLOR; Stephen WEBSTER, comp. (2016), *The Silences of Science. Gaps and Pauses in the Communication of Science*, Londres: Routledge, p. 31-47.

31. John KRIGE (2001), «Distrust and discovery: the case of the heavy bosons at CERN», *Isis* 92, p. 517-540. La nominació del Nobel de Física de 1984 diu: «for their decisive contributions to the large project, which led to the discovery of the field particles *W* and *Z*, communicators of weak interaction» <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1984/>>.

Nobel (el de Química de 1995 fou concedit a Paul J. Crutzen, Mario J. Molina i F. Sherwood Rowland pels seus treballs sobre la formació i la descomposició de l'ozó atmosfèric).³² Tanmateix, persisteix el contrast notable entre una ciència petita i discreta que anteposa la prudència a l'impacte, i una ciència gran i agosarada que concentra recursos i reclama atenció.

Arxius i contraarxius

El segon cas mostra que la desproporció d'escala té continuïtat als arxius. Les institucions de la ciència gran solen tenir arxius ben classificats i fàcilment accessibles que estimulen la recerca i n'incrementen la visibilitat historiogràfica. El rastre gruixut i dens de l'activitat del CERN o l'Agència Internacional per l'Energia Atòmica (IAEA), per posar dos exemples, no és comparable al rastre prim i tènue de la ciència petita, sotmès a la iniciativa atzarosa d'actors i historiadors. Gabrielle Hecht ha recuperat per a la història de l'era nuclear l'experiència de Marcel Leconagui, treballador d'una mina d'urani al Gabon, que després de més de tres dècades va descobrir que ell i centenars de treballadors més havien estat exposats a nivells insuportables de radioactivitat; i Peder Anke ha donat veu als miners indígenes canadencs que van extreure l'urani de les primeres indústries nuclears.³³ Cap d'aquests treballs no hauria vist la llum sense la consideració crítica de les limitacions dels arxius i les històries institucionals, i la identificació i creació de *contraarxius* capaços de generar altres històries.³⁴ Voldria il·lustrar aquest punt amb la gestió de les conseqüències de l'accident nuclear de Palomares.

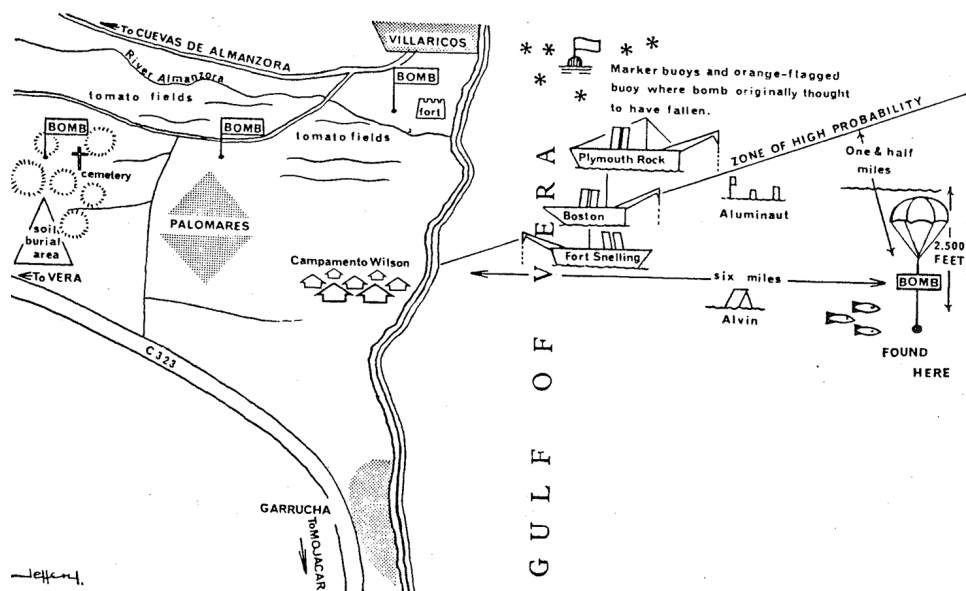
El periodista i activista mediambiental Jordi Bigues va participar a mitjan de la dècada dels vuitanta, com a vicepresident de Greenpeace a Espanya, en la campanya per garantir el dret dels veïns de Palomares a ser indemnitzats per les seqüeles del greu accident de gener de 1966, quan dos avions de la Força Aèria dels Estats Units van col·lidir en vol durant una maniobra d'aprovisionament de combustible. Les aeronaus es van precipitar en flames sobre Palomares (Almeria), junt amb quatre bombes termonuclears que no van arribar a esclatar, però que dispersaren el plutoni que contenien.³⁵

32. <<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1995/>>.

33. Gabrielle HECHT (2012), *Being Nuclear: Africans and the Global Uranium Trade*, Cambridge, MA: MIT Press; Peder ANKE (2023), «A History of Uranium Mining in Canada», *Journal of American Studies in Italy* 8, p. 5-23.

34. Mirjam BRUSIUS, Trinidad RICO (2023), «Counter-archives as heritage justice: photography, invisible labor and peopled ruins», *Journal of Visual Culture* 22, p. 64-92.

35. Xavier ROQUÉ (2021), «Small Agency in the Nuclear Anthropocene. Local Words for the Palomares Accident». A: Giulia RISPOLI i Christoph ROSOL, eds. *Anthropogenic Markers: Stratigraphy and Context*, Berlín: Max-Planck-Institute for the History of Science, online publication: <<https://www.anthropocene-curriculum.org/anthropogenic-markers>>. Cf. Clara FLORENSA (2017), «La cons-



Palomares and Area Map.

Official photograph U.S.A.F.

FIGURA 3. Dina Hecht, «Mapa de l'àrea de Palomares». Inclòs a «Palomares Zone Zero», esborrany del guió de la pel·lícula *Broken Arrow* 29 (1986). Jordi Bigues - Fons Palomares, Dipòsit Digital de Documents, UAB <<https://ddd.uab.cat/record/239541>> (17/01/2025).

Immediatament després de l'accident, els governs d'Espanya i dels Estats Units mobilitzaren l'exèrcit, el cos diplomàtic, les agències nuclears i la premsa de tots dos països per minimitzar-ne els efectes públics. Dues dècades després, Bigues participà en les accions per contrarestar la inacció oficial i obtenir reparacions justes per als veïns. Junt amb l'alcaldeessa socialista de Palomares, Antonia Flores, va promoure l'elaboració d'un informe independent per part del Centre d'Anàlisi i Programes Sanitaris (CAPS), un grup de científics experts en salut pública i en els efectes biològics de la radiació basat a Barcelona. L'informe resultant fou molt crític amb el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) i la Junta de Energía Nuclear (JEN), que havien «decidit unilateralment quin era el grau de risc accep-

truïció simultània de visibilitat i invisibilitat del risc de contaminació radioactiva a l'Espanya de Franco: l'accident nuclear de Palomares», *Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica* 10, p. 101-110, i Clara FLORENSA (2021), «A nuclear monument the size of a football field: The diplomatic construction of soil nuclearity in the Palomares accident (Spain, 1966)», *Centaurus* 63, p. 320-338.

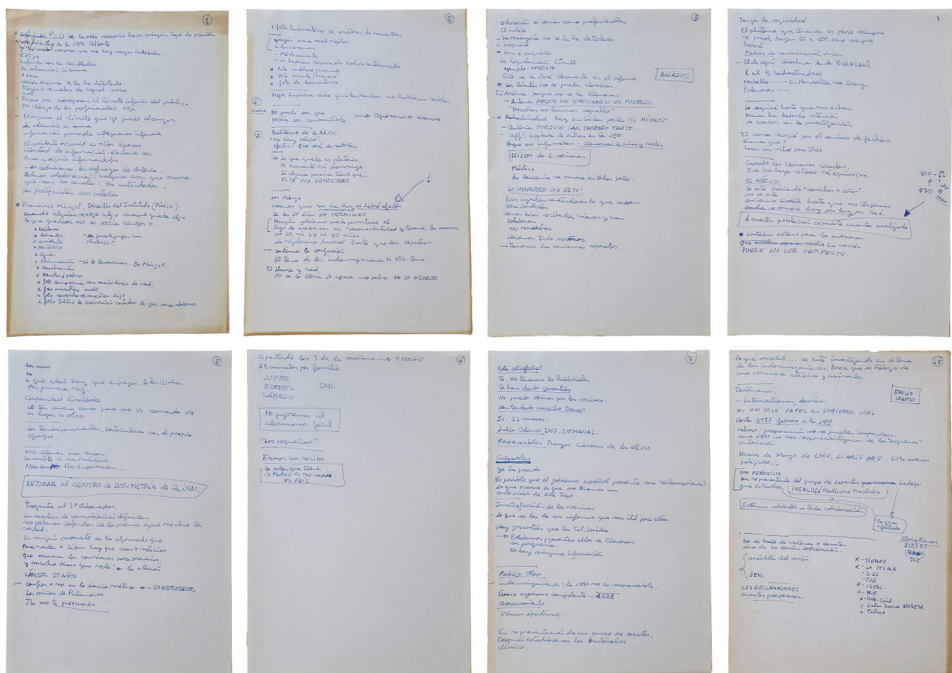


FIGURA 4. Jordi Bigues, «Notes manuscrites sobre la compareixença de la Junta de Energía Nuclear i el Consejo de Seguridad Nuclear a Palomares, 6 de novembre de 1985». Jordi Bigues - Fons Palomares, Dipòsit Digital de Documents, UAB <<https://ddd.uab.cat/record/239455>> (17/01/2025).

table per la població». ³⁶ Elaborat i publicat amb recursos molt escassos, l'informe CAPS mostra el gran abast que pot assolir la ciència petita: un equip de quatre persones fou capaç de produir i difondre coneixement expert independent que permetia avaluar el coneixement oficial. Més enllà dels seus efectes immediats, l'informe continua sent rellevant per al debat sobre la contaminació residual de Palomares, com a contrapunt necessari dels estudis que encara avui ignoren els esforços locals per trobar una sortida justa i segura. ³⁷

36. Catalina EIBENSCHUTZ, Salvador MONCADA I LLUÍS, Josep MARTÍ I VALLS, Eduard RODRÍGUEZ I FARRÉ (1986), *El accidente nuclear de Palomares 1966-1986*, Barcelona: Centre d'Anàlisi i Programes Sanitaris; CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR, «Informe preliminar sobre la situación actual de la zona de Palomares, Almería, afectada por el accidente nuclear del 16 de enero de 1966», Madrid, octubre de 1985.

37. La tesi de José Carlos SÁEZ VEGARA (2017), *Caracterización radiológica del área afectada por el accidente de Palomares: evolución histórica y situación actual*, Madrid: Universidad Complutense de



FIGURA 5. Fons de Jordi Bigues sobre l'accident nuclear de Palomares, en el contenidor en què havia estat conservat i en què fou dipositat a la UAB. Xavier Roqué, 2018.

Aquesta història, però, mai no l'hauríem coneguda amb aquest detall si Bigues no hagués conservat durant dècades un contraarxiu personal que dona veu als actors menystinguts, i si no hagués tingut la iniciativa de dipositar-lo en una institució acadèmica per a la seva classificació i estudi. N'hi haurà prou amb un exemple per mostrar l'abast de la informació que conté i el tipus d'història que possibilita. El 6 de novembre de 1985 responsables de la JEN i del CSN van compareixer a Palomares en resposta a la petició reiterada dels veïns d'accedir als informes clínics que anava elaborant la JEN. Les notes manuscrites de Bigues donen una perspectiva inèdita sobre la reunió, que, en lloc de tranquil·litzar els assistents amb les referències a la cooperació internacional o a la descontaminació total de la zona afectada, va acabar de decidir l'alcaldeessa que calia elaborar un informe

Madrid, no fa referència als efectes de la radiació sobre la població de Palomares. Utilitzo l'expressió «justa i segura» en el mateix sentit que Johan ROCKSTRÖM *et al.* (2023), «Safe and just Earth system boundaries», *Nature* 619, p. 102-111.

independent. L'arxiu Bigues-Palomares ha estat classificat i és accessible mitjançant el Dipòsit Digital de Documents (DDD) de la Universitat Autònoma de Barcelona.³⁸

Trets invisibles a gran escala

El meu tercer exemple il·lustra literalment i metafòrica una dimensió molt rellevant de la ciència petita: la capacitat d'observació de fenòmens altrament invisibles.

És el cas de *Dragonfly Telephoto Array*, un projecte d'astronomia a petita escala impulsat per Roberto Abraham (Universitat de Toronto) i Pieter van Dokkum (Universitat de Yale). *Dragonfly* (espiadimonis o libèl·lula, entre altres denominacions en català) consta d'una sèrie de teleobjectius comercials de 400 mm connectats entre si que adopten l'aspecte de les unitats oculars d'aquests insectes. És un sistema d'observació robòtic que en la seva configuració inicial constava de 8 lents i que ara en té 48. La configuració actual equival òpticament a una lent refractora d'1,0 m de diàmetre i un nombre o relació focal $f/0,4$, que el converteix en «el més gran i de lluny el més sensible telescopi òptic».³⁹

L'equip de *Dragonfly* i el nombre d'autors de les seves publicacions oscil·la al voltant d'una desena de persones, i el sistema ocupa una petita estança en un observatori a New Mexico. El més interessant per als creadors de *Dragonfly* (i per al nostre argument) és que els elements de disseny que fan possible la construcció de grans telescopis limiten al mateix temps la possibilitat d'observar objectes amb una lluentor superficial molt baixa. *Dragonfly* permet observar estructures galàctiques invisibles per als grans telescopis i ha possibilitat el primer cens d'estructures extremament tènues de l'Univers proper.⁴⁰ De manera anàloga, la categoria *ciència petita* ens permet observar trets de la ciència contemporània invisibles en altres categories, particularment la de ciència gran.

38. «Informe sobre la comparecencia de la Junta de Energía Nuclear (JEN) en Palomares (Cuevas del Almanzora, Almería), 6 de noviembre de 1985», Arxiu Bigues-Palomares, DDD-UAB, PALO_0080.

39. Roberto G. ABRAHAM, Pieter G. VAN DOKKUM (2014), «Ultra-Low Surface Brightness Imaging with the Dragonfly Telephoto Array», *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 126, p. 55-69, p. 56: «Optically the telescope functions as the equivalent of a 1.0 m diameter refractor with a focal ratio of $f/0.4$, the largest and by far the most sensitive lens telescope in existence. <<https://www.dragonflytelescope.org>>».

40. ABRAHAM i VAN DOKKUM (2014), p. 56: «Interestingly, it appears that several of the basic design trades that make large telescopes possible (in particular, obstructed pupils and reflective surfaces) define the fundamental systematic errors that make pushing to very low surface brightnesses so difficult».



FIGURA 6. Dragonfly Telephoto Array, «Configuració inicial de Dragonfly Telephoto Array». <<https://www.dragonflytelescope.org>> (17/01/2025).

CATEGORIES AFINS

Enllà de l'interès pels coneixements i els sabers de l'era moderna, la proliferació en les dues darreres dècades de noves maneres de dir la ciència petita suggereix una preocupació comuna pels efectes negatius, cada cop més evidents, de la recerca i la innovació accelerades.

Rosi Braidotti descriu amb el terme ciència *menor* (*minor*) àmbits de coneixement «infradotats, marginats, èticament transformadors i políticament encoratjadors», i els contraposa amb la ciència *reial* (*royal*), ben institucionalitzada i finançada, compatible amb les exigències del capitalisme. La distinció ressona amb el contrast d'escala entre ciència gran i ciència petita, actualitzant-lo.⁴¹

Bruno Latour utilitza l'adjectiu «modest» per referir-se al coneixement reflexiu, conscient de les pròpies limitacions, que abraça la diferència i que mira de

41. Rossi BRAIDOTTI (2018), «A theoretical framework for the critical posthumanities», *Theory, Culture & Society* 36, p. 31-61, p. 47.

compondre solucions a partir de la discussió. Reclama una política modesta, menys segura de si mateixa; una tecnologia modesta, que preveu els efectes no desitjats; i també una ciència modesta, «que remenarà a les palpentes en moltes controvèrsies amb l'objectiu d'arribar a dir què cal fer».⁴²

Isabelle Stengers parla en un sentit anàleg d'una recerca lenta, atenta a la complexitat dels problemes, i alerta de la dificultat de fer front apressadament a les qüestions que ens amoïnen, utilitzant categories generals creades dins el laboratori que no tenen una translació directa fora d'ell. Stengers caracteritza la ciència lenta com «l'operació exigent que reclamaria l'art de tractar amb, i aprendre de, allò que els científics consideren sovint massa embrollat, és a dir, allò que escapa a les categories generals, anomenades objectives».⁴³ És immediatament aparent l'afinitat amb la recerca de Rob Dixon sobre la *violència lenta* (*slow violence*), una forma de violència ambiental que no és espectacular ni immediata, una violència «que té lloc gradualment i fora de la vista», la relativa invisibilitat de la qual plan-teja reptes narratius i estratègics.⁴⁴

Sebastián Ureta descriu el treball dels científics del Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), un laboratori de química ambiental a Santiago de Chile, com una pràctica «ruïnosa», extremament fràgil i incerta, que treu profit de recursos molt limitats: «La ciència ruïnosa que es practicava al CENMA [...] acceptava l'obstinació material i reconeixia que algunes coses no és possible conèixer-les. La ciència ruïnosa era creativa i flexible, i adaptava contínuament les seves pràctiques i aparells per assolir els seus objectius, fins i tot quan aquesta adaptació li feia transgredir les regles convencionals. [...] La ciència ruïnosa era forta i feble alhora, i va aconseguir de sobreviure en un entorn advers més enllà de totes les expectatives, malgrat que acabés sucumbint al pes acumulat de les seves múltiples precarietats».⁴⁵

42. Bruno LATOUR (2023), *Habitar la Terra*, Barcelona: Arcàdia, p. 44.

43. Isabelle STENGERS (2018), *Another Science is Possible. A Manifesto for Slow Science*, Cambridge, Polity, p. 120: «I would characterise slow science as the demanding operation that would *reclaim* the art of dealing with, and learning from, what scientists too often consider messy, that is, what escapes general, so-called objective, categories».

44. Rob DIXON (2013), *Slow Violence and the Environmentalism of the Poor* (Harvard, MA: Harvard University Press), p. 2: «By slow violence I mean a violence that occurs gradually and out of sight, a violence of delayed destruction that is dispersed across time and space, an attritional violence that is typically not viewed as violence at all. [...] We also need to engage the representational, narrative, and strategic challenges posed by the relative invisibility of slow violence».

45. Sebastián URETA (2021), «Ruination Science: Producing Knowledge from a Toxic World», *Science, Technology and Human Values* 46, p. 29-52, p. 48: «Ruination science as practiced in CENMA [...] accepted material recalcitrance, recognizing that some things cannot be known. Ruination science was creative and flexible, continually adapting practices and devices in order to fulfill its aims, even if such adaptation made it transgress stated rules of 'good,' conventional science. [...] Ruination science was both strong and weak, managing to survive in a challenging environment beyond everyone's ex-

Manu Prakash promou des del seu laboratori a la Universitat de Stanford el disseny i l'ús d'instruments frugals. Un instrument frugal té un rendiment comparable al d'un instrument convencional, a un cost molt inferior que permet multiplicar el nombre d'usuaris. Entre els instruments produïts pel Prakash Lab hi ha un microscopi plegable amb una magnificació 2000x anomenat *Foldscope*, basat en la tècnica de l'origami, que es pot distribuir fàcilment a gran escala; i una centrífugadora manual anomenada *Paperfuge*, basada en els bronzidors de botó, capaç de girar a 125.000 rpm sense recórrer a cap motor elèctric. Aquests instruments ultraeconòmics i ultralleugers obren possibilitats científiques i educatives en països amb menys recursos i infraestructura, i mostren l'estreta relació que es pot establir entre simplicitat i abast.⁴⁶ També mostren que l'optimització d'un instrument no passa necessàriament per l'increment de la complexitat i el cost, sinó per la consideració dels diversos elements que en determinen l'ús. La relació cost-efectivitat és, en el cas dels instruments frugals, molt alta, cosa que suggereix un ús més generalitzat, menys subjecte a limitacions pressupostàries.⁴⁷

La frugalitat dels instruments de Prakash s'inscriu en una tradició secular que ressona amb altres propostes humils.⁴⁸ En la història de la tecnologia, enllaça amb l'interès renovat per l'ús, en front de la innovació.⁴⁹ En la història de l'ecologia política i el pensament econòmic, és molt evident el vincle amb el decreixement i l'autosuficiència, popularitzats als anys 1970 per autors com Fritz Schumacher (*Small is Beautiful*), Wendell Berry («Think Little») o Dana Meadows (*The Limits to Growth*).⁵⁰ En la història de l'arquitectura, la frugalitat remet a la restauració, la transformació, la renovació i el reciclatge, molt presents en l'obra d'alguns dels

pectations but finally succumbing to the accumulated weight of its multiple precariousness». Cf. Ann Laura STOLER (2018), «Imperial Debris: Reflections on Ruins and Ruination», *Cultural Anthropology* 23, p. 191-219.

46. James S. CYBULSKI (2015), *Novel Low-Cost Tools for Science, Diagnostics, and Education*, PhD dissertation, Stanford University; James S. CYBULSKI, James CLEMENTS, Manu PRAKASH (2014), «Foldscope: Origami-Based Paper Microscope», *PLoS ONE* 9, e98781; M. Saad BHAMLA *et al.* (2017), «Hand-powered ultralow-cost paper centrifuge», *Nature Biomedical Engineering* 1, 0009.

47. Balkrishna C. RAO (2019), «The science underlying frugal innovations should not be frugal», *Royal Society Open Science*, 6: 180421. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.180421>.

48. Tasha RIJKE-EPSTEIN (2021), «On humble technologies: containers, care, and water infrastructure in northwest Madagascar, 1750s-1960s», *History of Technology* 37, p. 293-328; Shekhar JAIN, Saradindu BHADURI (2021), «The Many Facets of Frugality: Insights from a Quasi-comprehensive Literature Survey», *Journal of Scientometric Research* 10, p. 265-278.

49. David EDGERTON (2004), «De la innovación al uso: Diez tesis eclécticas sobre la historiografía de las técnicas», *Quaderns d'Història de l'Enginyeria* 6, p. 1-23.

50. Fritz SCHUMACHER (1973), *Small is Beautiful. Economics as if People Mattered*, Londres: Blond & Briggs; Wendell BERRY (1972), «Think Little», dins Wendell BERRY, *A Continuous Harmony. Essays Cultural and Agricultural*, Nova York: Harcourt, p. 71-85; Dana MEADOWS (1972), *The Limits to Growth*, Nova York: Universe Books.

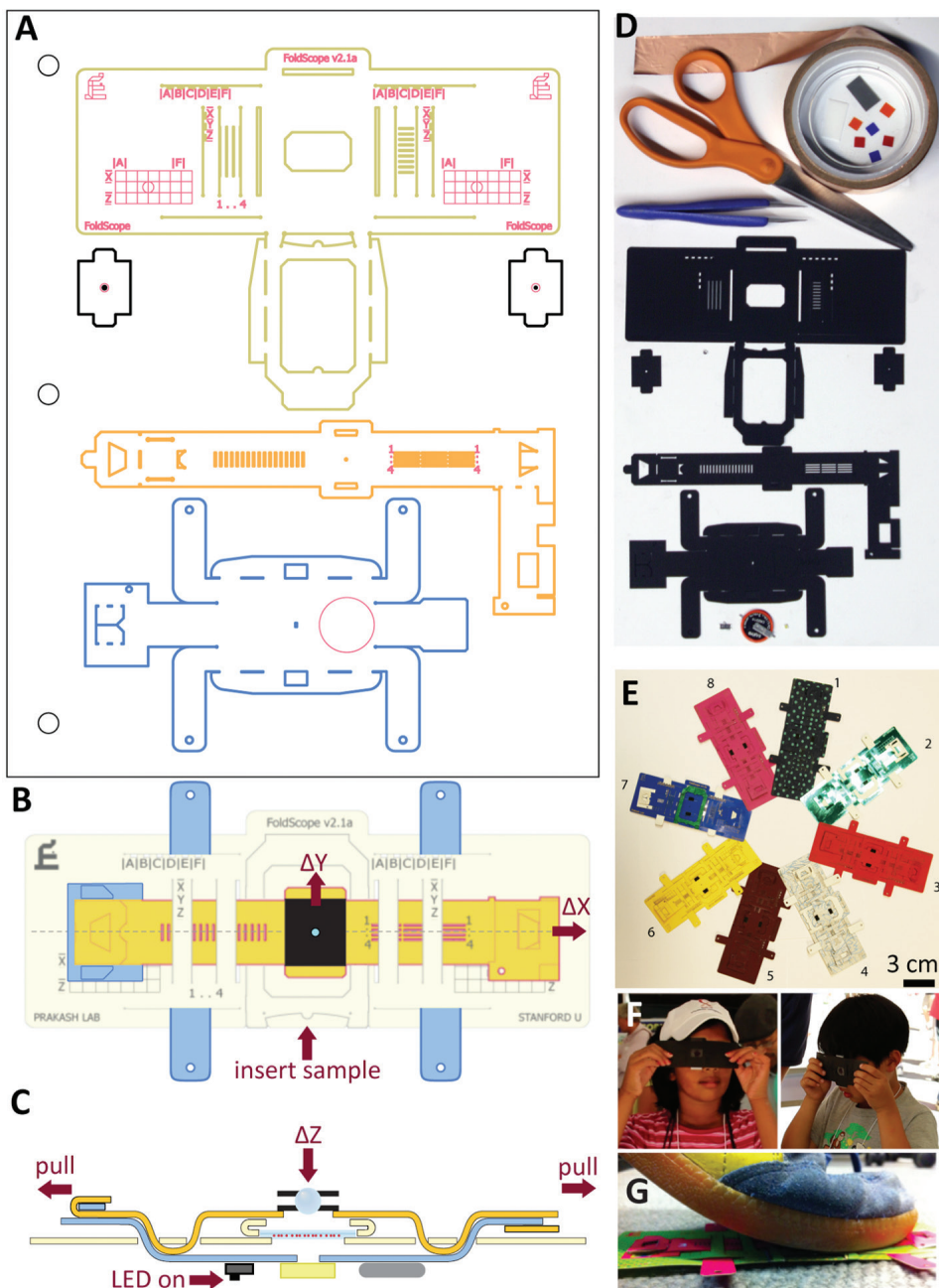


FIGURA 7. James S. Cybulski, James Clements, Manu Prakash, «Disseny, components i usos de Foldscope». CYBULSKI, CLEMENTS i PRAKASH (2014), p. 2. Foldscope Inc.

darrers guardonats amb el premi Pritzker, com Anne Lacaton i Jean-Philippe Vassal (2021), que han advocat per una arquitectura simple d'espais generosos, bells i confortables construïts de la manera més econòmica possible, o Francis Keré (2022), que va construir el seu primer edifici, una escola a Burkina Faso, amb els habitants de Gando, «que hi van aportar el seu treball i els seus coneixements de principi a fi, construint l'escola gairebé a mà, combinant, sota la direcció de l'arquitecte, l'enginyeria actual i els materials tradicionals».⁵¹

En tots aquests casos reconeixem al si de la ciència contemporània els efectes de canvis més visibles en altres àmbits d'acció i de coneixement. La diversitat de denominacions de la ciència petita convidaria a trobar una denominació nova, menys llastada per significats tàcits; però crec que encara té sentit esclarir aquests significats i mantenir una categoria que no s'ha deixat d'usar i que és reconeixible pels actors històrics.

PENSAR GRAN I PETIT ALHORA

Hem vist que les categories de ciència gran i ciència petita van néixer de la confrontació entre diferents formes d'organitzar i fer la recerca. Dècades després, la relació entre escala i agència, tant individual com col·lectiva, pren un caire nou i urgent. Deborah Coen ha revisat aquest debat historiogràfic clàssic, relacionat amb la microhistòria i les històries de llarga durada, des d'una perspectiva ecològica. Cada fenomen ecològic tindria «la seva “escala característica”, que cal determinar a partir de l'observació dels patrons que presenta el fenomen a diferents escales». La qüestió de quina escala és la més adient a l'estudi d'un fenomen no es pot decidir *a priori*, i Coen conclou que «tenim la responsabilitat de pensar gran i petit alhora».⁵²

Aquesta idea encaixa amb els estudis recents sobre la coexistència de diverses escales en el si d'un mateix projecte, particularment evidents en el cas dels acceleradors de partícules. Els dissenyadors del sincrotró MAX-Lab de Lund (Suècia)

51. Harvard Gazette <<https://news.harvard.edu/gazette/story/2015/04/they-build-but-mo-destly/>>; Celine NGUYEN, «'Never demolish. Always transform, with and for the inhabitants': Anne Lacaton delivers inaugural Jaqueline Tyrwhitt Urban Design Lecture», <<https://www.gsd.harvard.edu/2022/04/never-demolish-always-transform-with-and-for-the-inhabitants-anne-lacaton-on-urban-design-and-architecture/>>; <<https://www.pritzkerprize.com/laureates/diebedo-franciskere#laureate-page-2421>>: «Locals offered their input, labor and resources from conception to completion, crafting nearly every part of the school by hand, guided by the architect's inventive forms of indigenous materials and modern engineering».

52. Deborah R. I. COEN (2016), «Big is a thing of the past: Climate change and methodology in the history of ideas», *Journal of the History of Ideas* 77, p. 305-321, p. 310 i 311. Cf. Fernando BRONCANO (2023), *La escala de las cosas. Humanismo y cultura material*, Salamanca: Editorial Delirio.



FIGURA 8. Jahnvi Phalkey, «Quadre elèctric del sincrotró de Chandigarh, a la Universitat del Panjab». J. Phalkey, 2020.

el descriuen com un accelerador artesanal, construït pas a pas per un equip reduït de persones que no tenia un pressupost tancat.⁵³ En el seu estudi del projecte Bevalac, del *Lawrence Berkeley National Laboratory*, C. Westfall distingeix entre ciència gran (*grand*), petita (*modest*) i mitjana (*mezzo*) i argumenta la importància d'atendre les connexions entre diferents projectes, més que no pas les seves dimensions.⁵⁴ L'escala d'un projecte o d'un instrument, doncs, no estaria predefinida ni romandria estable. És possible reciclar i reutilitzar grans instruments per canviar-ne el sentit d'ús. Aquest procés ha seguit sovint un curs ascendent, en el cas dels acceleradors de partícules vers energies cada cop més altes; però també pot seguir el curs invers, com ho mostra la història del ciclotró en funcionament més antic del món. Originalment instal·lat a la Universitat de Rochester, Nova York, quan la universitat es preparava per desmantellar-lo un físic

53. Olof HALLONSTEN (2009), *Small Science on Big Machines: Politics and Practices of Synchrotron Radiation Laboratories*, Lund: Research Policy Institute; O. HALLONSTEN (2019), *Big Science Transformed. Science, Politics and Organization in Europe and the United States*, Cham: Palgrave Macmillan.

54. Catherine WESTFALL i Lillian HODDESON (1996), «Thinking Small in Big Science: The Founding of Fermilab, 1960-1972», *Technology and Culture* 37, p. 457-492; Catherine WESTFALL (2003), «Rethinking Big Science. Modest, Mezzo, Grand Science and the Development of the Bevalac, 1971-1993», *Isis* 94: 30-56.

indi, Harnam S. Hans, s'oferí a traslladar-lo a la Universitat del Panjab, al nord de l'Índia. *Cyclotron*, un documental de la historiadora de la ciència Jahnavi Phalkey, mostra les dificultats del trasllat i el paper crucial dels tècnics que, sense experiència prèvia amb acceleradors, van reparar, renovar i modificar diversos components per millorar el funcionament de l'aparell i mantenir-lo en marxa. Al ciclotró recuperat no s'hi fa la mateixa recerca que a un accelerador més nou, però això no vol dir que només tingui un valor sentimental: «El ciclotró és una màquina vella però no antiga. Hi ha molts hospitals que utilitzen ciclotrons per produir radioisòtops per al tractament del càncer». ⁵⁵ La improvisació, la millora i el reaprofitament vinculen el ciclotró de Chandigarh a les formes inventives de crear coneixement a l'era moderna. ⁵⁶

Conclusió

L'auge de la ciència gran en la segona meitat del segle xx creà la il·lusió històrica que la ciència petita, experiencial i austera, s'anava extingint. A principis del segle XXI aquest relat ha perdut força. La historiografia de la ciència moderna ha fet cada cop més esment dels sabers artesanals i pràctics, alhora que autors ben diversos han començat a pensar la ciència a través de noves categories afins, que suggereixen la continuïtat històrica de pràctiques que havien estat eclipsades.

En lloc d'un relat triomfal de creixement i substitució d'una forma de recerca per una altra, he proposat un relat matisat en què la recerca a petita escala no ha perdut rellevància i ha perviscut com una forma de recerca que genera coneixements que no es poden generar altrament, que no mira de fer el mateix a un cost inferior, que tria les eines segons la seva adequació al problema i no les seves dimensions. Les decisions dels practicants de la ciència petita són deliberades i no resulten de limitacions pressupostàries o de la incapacitat de treballar a escales més grans.

La meua anàlisi preliminar del significat d'aquesta categoria històrica, emmarcada en una recerca en curs, no s'ha de llegir en cap cas com una apologia de la recerca a petita escala, sinó com un reconeixement de la seva rellevància, del seu abast, i dels seus límits. L'ús de la categoria *ciència petita* no està exempt de riscos,

55. Jahnavi PHALKEY, citada a Barkha KUMARI, «The Unbelievable Story of the World's Oldest Cyclotron», VICE 13/11/2020 <<https://www.vice.com/en/article/wx8d8n/the-worlds-oldest-cyclotron-in-india-now-in-a-film>> (darrera visita 30/06/2025).

56. Jahnavi PHALKEY (2020), *Cyclotron*, pel·lícula documental autoproduïda; cf. Usha RAMAN (2020), «'Cyclotron' - a Tribute To the Quiet Work of India's Unsung Scientists», *The Wire Science*, 07/11/2020 <<https://science.thewire.in/the-sciences/jahnavi-phalkey-cyclotron-unglamorous-punjab-university-science/>>.

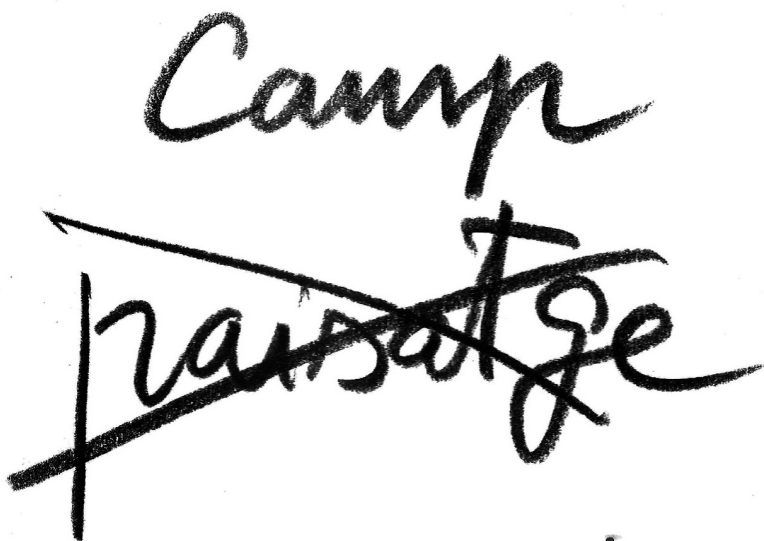


FIGURA 9. «Camp paisatge». Perejaume, 2014.

com ara la idealització o la magnificació dels seus possibles efectes i virtuts. La ciència petita no sempre és més efectiva ni ha de tenir sempre conseqüències positives. La reducció de la grandària dels satèl·lits, per exemple, ha donat accés a l'espai a petites empreses de comunicacions o de meteorologia que poden competir amb les agències estatals, però ha comportat també l'augment de les interferències electromagnètiques i ha creat nous riscos ambientals.⁵⁷ L'abast de la ciència modesta i les tecnologies humils no les converteix necessàriament en agents de canvi virtuoses. La ciència petita no pot pretendre de desplaçar ni substituir la ciència gran en alguns àmbits de recerca, però sí pot aspirar a no ser desplaçada ni substituïda.

Acabo amb unes paraules de l'artista i escriptor que dibuixà al sostre d'aquesta sala [Sala Pere i Joan Coromines de l'IEC] la corba de nivell 2.340 m tal com apareix al relleu del Pallars Sobirà. A *Paraules locals*, Perejaume tracta dels llocs. En comptes del terme «paisatge», que denota un lloc que contemplem de lluny o des de l'aire, prefereix el terme «camp», que designa un lloc que ocupem i que ens afecta. Encara que no pensi en la física, aquesta imatge ho és molt, de física. Remet al camp hertzià primordial i als camps gravitatoris de la física contemporània, que revelen l'empremta dels cossos alhora que actuen sobre ells: «segons la relativitat

57. Aaron C. BOLEY; Michael BYERS (2021), «Satellite mega-constellations create risks in Low Earth Orbit, the atmosphere and on Earth», *Scientific Reports* 11, 10642.

general, l'espai no existeix *al marge d'allò que omple l'espai*.⁵⁸ En tot cas, la seva celebració dels bocins de món podria valer com a conclusió d'aquest assaig: «No és bo d'arrencar dels indrets cap valoració, cap jerarquia dels uns sobre els altres. Els llocs, en allò més essencial que és pesar en el món, no rivalitzen, tots tenen la seva superfície de pes. Cap indret no és repetible i, per això, qualsevol bocí de món és digne de reverència com el que més».⁵⁹ La ciència gran com a paisatge, la ciència petita com a camp? És hora que reconeguem la rellevància històrica i l'abast actual de la recerca a petita escala.

AGRAÏMENTS

He presentat i debatut els arguments d'aquest discurs en diversos congressos i seminaris: «Small Science: Perspectives on Contemporary Small-Scale Research» (Institut d'Història de la Ciència, UAB, febrer de 2023); «Small Science», 10th Conference of the European Society for the History of Science (Brussel·les, setembre de 2022); «Anthropogenic Markers. Historical and Material Contexts of a Twentieth-Century Transition in Earthly Matters» (Berlín, setembre de 2021); «Little Science», European Society for the History of Science i British Society for the History of Science Biennial Conference 2018 (Londres, setembre de 2018). Agraeixo molt als participants en aquestes sessions i als meus companys de l'Institut d'Història de la Ciència totes les crítiques i tots els suggeriments. Agraeixo també la col·laboració dels membres del projecte «Small science: a historical survey of contemporary small-scale research» (SMALLSCIENCE PID2019-105131GB-I00), que vaig dirigir entre 2020 i 2024, i la dels membres del projecte en curs SMALLSCIENCE PID2023-147710NB-I00 (2024-2027).

58. Albert EINSTEIN (2018), *La relativitat a l'abast de tothom*, edició i traducció a cura de X. Roqué (Santa Coloma de Queralt: Obrador Edèndum), p. 129.

59. PEREJAUME (2015), *Paraules locals*, Sant Celoni: Tushita, p. 50. Vegeu també PEREJAUME (2014), *Mareperlers i ovaladors*, Barcelona: Edicions 62 i Museu Nacional d'Art de Catalunya.

