

***La relativitat a l'abast de tothom:* valor actual de les idees d'Einstein sobre la història, l'ensenyament i la comunicació de la física¹**

Xavier ROQUÉ

Institut d'Història de la Ciència i Departament de Filosofia
Universitat Autònoma de Barcelona

El 1917 Albert Einstein, que tenia trenta-vuit anys i no era encara un científic mundialment famós, publicà un llibre extraordinari, ple d'idees lluminoses sobre el temps, l'espai i l'Univers. *La relativitat a l'abast de tothom* era la primera exposició general i accessible de la relativitat (Einstein, 2018). Pocs mesos abans, tot just completada la teoria, havia explicat al seu amic Michele Besso que tenia la intenció d'escriure'l, «perquè si no ho faig no entendran [la teoria], tan senzilla com és en el fons» (carta d'Einstein a Michele Besso, 3 de gener de 1916, Schulmann *et al.*, 1996, p. 234). Einstein no ironitzava. La relativitat es basa en raonaments sensibles, lligats a la percepció del pes i el moviment. Podem percebre el moviment uniforme? Com experimenta el pes una persona que cau lliurement? Reflexionar sobre aquestes qüestions en aparença simples fou el primer pas per capgirar les idees prevalents sobre la llum i la gravetat.

A Einstein no li resultà fàcil escriure el llibre, però va fer-ho de seguida. A l'hora d'explicar per què s'ho va prendre tan seriosament hem de tenir en compte, primer, que Einstein va créixer en el si d'una cultura centreeuropea de parla alemanya que valorava la formació integral de l'individu (*Bildung*) i no fomentava la diferenciació entre ciència i humanitats. L'exposició de les seves idees a un públic educat era, per a ell, un deure intel·lectual i social, i no era el primer cop que ho feia. Gràcies a l'edició en curs dels treballs i la correspondència d'Einstein per Princeton University Press (disset volums que cobreixen els escrits, la correspondència i la documentació relativa a Albert Einstein des de 1879, accessibles en línia a *The collected papers of Albert Einstein*) comprovem que ja havia escrit sobre la

1. Text basat en Xavier ROQUÉ, «Cent anys de relativitat», a EINSTEIN (2018), p. 9-24. Les traduccions de les citacions que hi ha al llarg del text són pròpies.

relativitat en revistes científiques generalistes, en un diari i en l'enciclopèdia *Die Kultur der Gegenwart* («La cultura del present») (Einstein 1910, 1911, 1914a i 1915). I encara atendria moltes més peticions d'aquest tipus a partir de la seva consagració mediàtica el 1919 i la concessió del Premi Nobel de Física de 1921.

Aquests textos responien a una concepció àmplia de l'educació científica, expressada amb claredat en una conferència de 1936:

L'escola hauria de tenir sempre com a objectiu que el jove en surti amb una personalitat harmoniosa, i no com un especialista. Crec que, en un cert sentit, això és aplicable fins i tot a les escoles tècniques, els alumnes de les quals es dedicaran a una professió molt definida. El desenvolupament del pensament i el judici independents hauria d'ésser sempre l'objectiu principal, no pas l'adquisició de coneixements especialitzats. Si una persona domina els fonaments del seu àmbit d'estudi i ha après a pensar i treballar independentment, segur que trobarà el seu camí; a més, serà més capaç d'adaptar-se al progrés i els canvis que no pas la persona que s'ha limitat a adquirir coneixement detallat. (Einstein, 1936, p. 592)

En segon lloc, a les motivacions d'Einstein per difondre la relativitat hem d'afegir el seu estil de raonament, consistent a reexaminar les qüestions més complexes com si fos la primera vegada que ho fes, qüestionar sense excepcions els fonaments aparentment més sòlids i revisar de manera meticulosa els procediments de construcció dels conceptes de la física. Tot això li permetia unificar textos de caràcter molt diversos.

La relativitat a l'abast de tothom no és cap excepció. El llibre conté un relat personal i immediat sobre el procés de creació científica, en què les idees apareixen «en l'ordre i el context en què foren concebudes» (Einstein, 2018, p. 25). Einstein admirava els autors capaços de permetre al lector «experimentar el plaer de la recerca i del descobriment, el curs viu del pensament, comprendre amb claredat les circumstàncies que determinaren la tria d'un camí abans que cap altre» (Einstein, 1914b, p. 135), i en un text gairebé simultani amb la publicació del llibre insistiria a dur el lector «pel camí indirecte i aspre que jo mateix he recorregut, perquè és la meua única esperança que el resultat final pugui interessar-li» (Einstein, 1917, p. 144). La presentació de la relativitat, doncs, enllaça de manera fluïda amb la creació de la teoria, tant pel que fa a la seqüència temporal com a l'ordre conceptual del raonament. Les idees d'Einstein sorgeixen i s'expressen en forma d'intuïcions felices que afloren tant en els seus treballs científics com en els seus textos de divulgació. *La relativitat a l'abast de tothom* convida el lector pacient a seguir l'autor en un camí de descobriment i emoció intel·lectual. La història, l'ensenyament i la comunicació no es distingeixen nítidament del procés de creació científica: en formen part i se sostenen mútuament.

Abans de discutir el valor actual d'aquesta aproximació, voldria il·lustrar-la amb dos exemples, un de cada part del llibre.

La primera part, dedicada a la relativitat especial, tracta sobre els efectes del moviment uniforme sobre les lleis de la física. Podem percebre el moviment? Al segle XVII Galileu argumentà que no és possible distingir entre el repòs i el moviment rectilini a velocitat constant. Però la recerca i l'exploració de la llum, l'electricitat i el magnetisme, en la segona meitat del segle XIX, qüestionaren aquest primer principi de relativitat. Potser la llum, que es propaga per l'espai a una velocitat enorme però finita, permetria finalment distingir entre el repòs i el moviment uniforme?

Alhora que els físics mesuraven amb més i més precisió aquesta velocitat fantàstica, una teranyina de cables telegràfics terrestres i submarins encerclava el planeta, més de 350.000 quilòmetres de cable fins a 1900, l'any que Einstein acabà els estudis de física i matemàtiques a Zúric. El telègraf aniquilà el temps i l'espai, i possibilità la sincronització horària mundial i la divisió del planeta en fusos horaris. L'establiment del temps universal i l'estudi de la llum plantejà nous reptes científics, tecnològics i epistemològics, que el jove Einstein conegué a través de novel·les com ara *La màquina del temps* (1895), de Herbert G. Wells, o *Die Gestirne und die Weltgeschichte. Gedanken über Raum, Zeit und Ewigkeit* («Les estrelles i la història del món. Idees sobre l'espai, el temps i l'eternitat»), del jurista i astrònom amateur Felix Eberty (1812-1884), publicada de manera anònima el 1846 i reeditada el 1923 amb una introducció d'Einstein (Eberty, 1846). Eberty imagina un viatger capaç de moure's per l'espai a velocitats supralumíniques i encaçar i ultrapassar les imatges del passat:

Imaginem un observador dotat d'un poder de visió infinit que es mira la Terra de tan lluny que en aquest instant contempla els temps d'Abraham. Imaginem, també, que aquest observador fos capaç de viatjar en direcció a la Terra amb una velocitat tal que, en un temps breu, com ara una hora, s'hi apropés fins a una distància de 8 minuts llum. Si imaginem tot això, deixant de banda que sigui possible o real, és inevitable concloure que en una hora aquest observador veuria desfil·lar davant els seus ulls tota la història del món, des dels temps d'Abraham fins al moment actual, ja que, en iniciar el viatge, veia la Terra com era fa 4.000 anys, [...] passada mitja hora, com era fa 2.000 anys, passats tres quarts d'hora, com era fa 1.000 anys, i passada una hora, la contempla tal com és ara. (Eberty, 1846, p. 23)

La llum i el moviment constituïrien una moviola de la mida de l'Univers. Molt abans que l'abordés des de la física, doncs, la tecnologia i la literatura familiaritzen Einstein amb el problema de la llum, l'espai i el temps.

I també recorre a la filosofia. Tal com altres físics filòsofs de la seva generació, com ara Niels Bohr o Erwin Schrödinger, Einstein no distingeix entre física i filo-

sofia a l'hora d'analitzar la percepció del món físic o la naturalesa de la realitat. Amb els seus amics Conrad Habicht i Maurice Solovine crea un club de lectures filosòfiques, l'Akademie Olympia. La lectura de *The grammar of science* («La gramàtica de la ciència») de Karl Pearson els ensenya que «no podem afirmar l'existència real del temps, com tampoc la de l'espai; no són a les coses sinó al nostre mode de percebre-les» (Pearson, 1911, p. 211). D'Ernst Mach aprenen que «ningú no pot afirmar res sobre el temps i l'espai absoluts, perquè són mers objectes mentals, que no podem reconèixer en l'experiència» (Mach, 1897, p. 223). Aquests científics i filòsofs i d'altres, particularment David Hume, amb el *Tractat sobre la naturalesa humana*, el qual llegí «amb zel i admiració», centren l'atenció d'Einstein en la formació dels conceptes i la funció dels principis formals en ciència. Tal com ell mateix reconeix el 1915: «És molt probable que sense aquests estudis filosòfics mai no hagués trobat la solució» (carta d'Einstein a Moritz Schlick, 14 de desembre de 1915, Schulmann, 1996, p. xxiv). El camí vers la relativitat, doncs, és apte per a aquells que no dominen la física, perquè la teoria no brolla només de la física, sinó també de la filosofia, la literatura i la tecnologia.

A la segona part del llibre, Einstein resol el problema de la gravitació a partir d'una intuïció feliç, la millor idea de la seva vida: «per a un observador que cau lliurement, el camp gravitatori no existeix» (Schulmann, 1996, p. 265). Així, com que no podem distingir físicament entre repòs i moviment uniforme, no podem distingir entre la caiguda lliure i l'absència de gravetat, o entre gravetat i acceleració uniforme. A *La relativitat a l'abast de tothom*, Einstein exposa aquesta idea amb un experiment mental basat en la seva intuïció inicial:

Imaginem un fragment a l'espai buit, lluny dels estels i de qualsevol altra massa de consideració [...]. Imaginem-hi una caixa en forma d'habitació, on es troba un observador proveït d'aparells. És clar que, per a ell, la gravetat no existeix [...]. Suposem que al sostre exterior de la caixa s'ha fixat un ganxo amb una corda, i que un ésser indeterminat en tiba amb una força constant. Caixa i observador s'enlancen conjuntament amb un moviment uniformement accelerat *cap amunt* i acaben assolint una velocitat fantàstica, si ens ho mirem des de fora. Com jutja l'esdeveniment la persona dins la caixa? El terra li transmet per reacció l'acceleració de la caixa, i per restar dret ha de resistir aquesta pressió amb les cames. L'observador, doncs, s'està dret a la caixa igual que una altra persona s'estaria dreta en una habitació a la Terra. Si deixa anar un objecte, l'acceleració de la caixa no s'hi transmetrà i caurà amb un moviment relatiu accelerat [...]. Basant-se en els seus coneixements del camp gravitatori, l'observador conclourà que tant ell com la caixa es troben immersos en un camp gravitatori constant en el temps. Primer se sorprendrà que la caixa no caigui, però quan descobreixi el ganxo i la corda tibant, conclourà lògicament que la caixa està suspesa en el camp gravitatori. (Einstein, 2018, p. 66-67)

Actualment, aquestes sensacions les experimenten de manera rutinària els tripulants de l'Estació Espacial Internacional i els científics que treballen amb microgravetat a bord d'avions adaptats, com ara l'Airbus A310 Zero G de Nove-space, amb seu a Bordeus, disponible també per al turisme gravitatori.

En tot cas, elaborar aquestes idees li costà a Einstein anys de treball i col·laboració amb altres científics, que culminaren a Berlín durant la Primera Guerra Mundial. El novembre de 1915 presentà a l'Acadèmia Prussiana de les Ciències una sèrie de tres articles que contenien les equacions de camp de la gravitació, i el març de 1916, l'article que completava la sèrie i que contenia els fonaments de la relativitat general. Pocs mesos després enviava a impremta *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (Gemeinverständlich)* («La relativitat a l'abast de tothom»).

El salt a la fama no es produiria fins al novembre de 1919, quan s'anunciaren en roda de premsa a Londres els resultats de l'expedició astronòmica que havia fotografiat l'eclipsi total de Sol del maig d'aquell any. Einstein esdevingué un mite internacional. El fet que els astrònoms britànics donessin la raó a un savi alemany generà un enorme ressò mediàtic. En l'estela de la revolució bolxevic, la revolució relativista va fer d'Einstein una celebritat itinerant que solcava el planeta parlant de l'espai i temps i la curvatura de la llum a públics expectants, de Tòquio a Buenos Aires, passant per Barcelona fa cent anys (Roca-Rosell, 2023).

La mitificació d'Einstein donà ales al seu llibre sobre la relativitat. Entre 1917 i 1923 se'n van fer catorze edicions i fou traduït a nombrosos idiomes, incloent-hi el castellà el 1921. La traducció al català es va haver d'esperar fins a l'any 2000, editada per l'Institut d'Estudis Catalans (Einstein, 2000). Paradoxalment, un dels principals arguments promocionals fou la inintelligibilitat: «Un llibre per a dotze homes savis. Ningú més al món no pot comprendre'l, digué Einstein quan els seus agosarats editors decidiren publicar-lo» (*The New York Times*, 10 de novembre de 1919). Malauradament, aquest mite ha perdurat i ha contribuït a consolidar la imatge d'un savi despatat, indiferent a la societat. Avui, però, rellegim Einstein sabent que la seva intenció era ben bé una altra: posar unes idees meravelloses a l'abast de tothom.

Per concloure, voldria discutir de manera breu les lliçons que podem treure d'aquesta història. Quin valor tenen avui les idees d'Einstein sobre la història, l'ensenyament i la comunicació de la física?

La primera consideració final evident i important és que el constructe de les dues cultures no tan sols és obsolet —ja ho era els anys 1950, quan, en paraules de David Edgerton, sorgeix en forma d'antihistòria, per amagar el pes real dels tecnòcrates en el govern i la cultura britànics—, sinó que impedeix reconèixer de manera efectiva l'abast i la profunditat de les relacions mútues, constitutives, dels diferents camps del coneixement (Edgerton, 2005). Més que no pas educar els

altres en les subtileses del propi àmbit de coneixement, doncs, ens caldria atendre tot allò que podem aprendre d'altres àmbits. El cas d'Einstein mostra que, tot sovint, els elements humanístics i culturals formen part del coneixement científic des de la seva creació, i poden ajudar-nos molt a parlar-ne més enllà del cercle d'especialistes i d'iniciats. No reconèixer aquestes dimensions dificulta la comprensió de la ciència i en distorsiona el sentit. En particular, l'atenció a la gènesi i el desenvolupament de les idees ens ajudaria a situar millor la ciència davant els reptes actuals.

Això inclou la literatura del passat. Raymond Goldstein, físic de la Universitat de Cambridge, sosté que convé no deixar de mirar enrere, no deixar de llegir la literatura científica del passat (Goldstein, 2018). Un dels seus exemples, el primer de la llista de referència a la vella literatura de la seva pàgina web, és l'article de Robert Brown de 1827 sobre el que avui anomenem el *moviment brownià*.

El 2023 es va celebrar el bicentenari del naixement d'Alfred Russel Wallace, codescobridor de la teoria de l'evolució. El 1898, quan Albert Einstein començava els seus estudis de física, Wallace feu balanç del segle XIX, un segle meravellós, ple d'èxits i fracassos:

Alhora que reconeixem les grans oportunitats que la ciència presenta per millorar el benestar humà, hem de reconèixer que no hem sabut fer-ne un ús adequat [...]. Hem gestionat tan malament la nostra economia social que hem donat a uns pocs un luxe injuriós, mentre que milions de persones pateixen la manca persistent dels recursos bàsics per a una existència saludable. En lloc de dedicar les energies dels científics a remeiar mals, veiem que els governs de les nacions més avançades armen el poble fins a les dents i dediquen bona part de la seva riquesa i dels seus recursos científics a preparar la destrucció de la vida, la propietat i la felicitat. (Wallace, 1898, p. 378)

Les paraules de Wallace ressonen amb les dels autors d'un article recent aparegut a la revista *Nature*:

L'estabilitat i la resiliència del sistema Terra està inextricablement lligada al benestar humà; però infravalorem aquesta interdependència i conseqüentment els tractem per separat [...]. La nostra proposta integra les ciències socials i naturals. [...] Les transformacions necessàries per garantir el benestar humà han de ser sistèmiques [...] i han de fer front als motors econòmics, tecnològics, polítics... dels canvis al sistema Terra [...]. Això requereix un canvi global en la justícia, l'economia, la tecnologia i la cooperació, un canvi que posi tots aquests elements al servei d'un futur segur i just. (Rockström *et al.*, 2023, p. 109)

Malauradament, res no prepara els nostres estudiants per tenir aquestes converses interdisciplinàries. Universitats com ara Stanford (School of Humanities and Sciences) o Cornell (College of Arts and Sciences) inclouen facultats d'humanitats i ciències. Al nostre país encara es considera que aquesta unió és impossible. La creació recent del nou grau en ciència, tecnologia i humanitats (Universitat Autònoma de Barcelona, Universitat Autònoma de Madrid i Universitat Carlos III de Madrid) és un primer pas en aquesta direcció, un pas que s'adiu amb les consideracions que podem fer avui a partir de la relectura de *La relativitat a l'abast de tothom*.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- EBERTY, Felix (1846). *Die Gestirne und die Weltgeschichte: Gedanken über Raum, Zeit und Ewigkeit*. Breslau: Schulz. [Reedició a cura de Gregorius Itelson, amb una introducció d'Albert Einstein. Berlín: Rogoff, 1923]
- EDGERTON, David (2005). «C. P. Snow as anti-historian of British science: Revisiting the technocratic moment, 1959-1964». *History of Science*, vol. 43, p. 187-208.
- EINSTEIN, Albert (1910). «Le principe de relativité et ses conséquences dans la physique moderne». *Archives des Sciences Physiques et Naturelles*, tom 29, p. 5-28.
- (1911). «Die Relativitätstheorie». *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, vol. 56, p. 1-14.
- (1914a). «Vom Relativitäts-Prinzip». *Vossische Zeitung* (26 abril), suplement, p. 34.
- (1914b). «H. A. Lorentz, das Relativitätsprinzip». *Die Naturwissenschaften*, vol. 2, p. 135.
- (1915). «Die Relativitätstheorie». A: HINNEBERG, P. (ed.). *Die Kultur der Gegenwart: Ihre Entwicklung und ihre Ziele* (Leipzig: Teubner). Vol. 1, part 3, sec. 3: «Physik», p. 703-713.
- (1917). «Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie». *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, p. 142-152. [Traducció al català: «Consideracions cosmològiques sobre la teoria de la relativitat general», a Einstein, 2000, p. 141-152]
- (1936). «Some thoughts concerning education». *School and Society*, vol. 44, p. 589-592.
- (2000). *La teoria de la relativitat i altres textos*. Edició i traducció a cura de Xavier Roqué. Barcelona: Pòrtic; Institut d'Estudis Catalans; Vic: Eumo.
- (2018). *La relativitat a l'abast de tothom*. Edició i traducció a cura de Xavier Roqué. Santa Coloma de Queralt: Obrador Edèndum.
- GOLDSTEIN, Raymond E. (2018). «Coffee stains, cell receptors, and time crystals». *Physics Today*, vol. 71, núm. 9, p. 32-38.
- MACH, Ernst (1897). *Die Mechanik in ihrer Entwicklung: Historisch-kritisch dargestellt*. Leipzig: Brockhaus.
- PEARSON, Karl (1911). *The grammar of science*. Londres: A. & C. Black.
- ROCA-ROSELL, Antoni (2023). *Quan Albert Einstein passejà per la Rambla*. Barcelona: Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC.
- ROCKSTRÖM, Johan [et al.] (2023). «Safe and just Earth system boundaries». *Nature*, núm. 619, p. 102-111.

SCHULMANN, R. [et al.] (1996). *The collected papers of Albert Einstein*. Vol. 8, part A: *The Berlin Years: Correspondence 1914-1917*. Princeton: Princeton University Press.

WALLACE, Alfred R. (1898). *The wonderful century: Its successes and its failures*. Toronto: George N. Morang.

La influència d'Einstein en l'anàlisi estocàstica

Marta SANZ-SOLÉ

Facultat de Matemàtiques i Informàtica

Universitat de Barcelona

Aquest article és una breu reflexió sobre l'impacte de les contribucions d'Albert Einstein a l'estudi del *moviment brownià*. En particular, volem il·lustrar la influència dels seus treballs en el progrés d'algunes àrees de les matemàtiques del segle xx i la repercussió en línies de recerca centrals del segle xxi. L'escrit es basa en una conferència impartida a la jornada *Einstein i l'actualitat de les seves contribucions*, que va tenir lloc a l'Institut d'Estudis Catalans (IEC) el dia 16 de gener de 2024, adreçada a un públic amb una formació científica diversa. Al llarg de l'exposició, seguirem un estil divulgatiu per tal que el contingut sigui assequible a lectors no necessàriament familiaritzats amb la temàtica que es presenta.

Entre els anys 1905 i 1908, Albert Einstein va publicar cinc articles sobre el moviment brownià. Una recopilació d'aquests, amb anotacions contextuais i històriques, es recull a [9]. El primer de la sèrie, publicat originàriament a [6], conté les idees fonamentals i, pel que fa al desenvolupament posterior del tema, és el més rellevant. Einstein passava per un moment d'enorme creativitat. En efecte, el mateix any 1905, es publiquen a la revista *Annalen der Physik* tres treballs més que estableixen les bases de les seves extraordinàries contribucions posteriors: l'explicació de l'efecte fotoelèctric mitjançant la teoria quàntica de la llum, la teoria matemàtica de la relativitat especial i la deducció de la famosa equació $e = mc^2$ a partir de la teoria de la relativitat.

En l'extensa producció científica d'Einstein, l'estudi del moviment brownià no fou un tema prioritari. Tot i així, l'impacte immediat dels cinc treballs va ser molt gran, en part, perquè les qualitats comunicatives d'aquest geni de la ciència actuaven com un altaveu de luxe per a qualsevol descobriment. La influència posterior s'explica per l'originalitat de les idees que s'hi exposen. Al llarg d'aquest escrit il·lustrarem alguns aspectes de la seva propagació. Ho farem seguint una via de