

Einstein, un premi Nobel de Biologia

Rafael Abós-Herràndiz

CAP Carles I, Institut Català de la Salut (ICS), Atenció Primària de Salut, Departament de Salut, Generalitat de Catalunya

Correspondència: Rafael Abós-Herràndiz. CAP Carles I, Institut Català de la Salut (ICS), Atenció Primària de Salut, Departament de Salut, Generalitat de Catalunya. Carrer de Felip II, 9-bis 6è 2a. 08027 Barcelona. Adreça electrònica: 24025rah@gmail.com.

DOI: 10.2436/20.1501.02.171

ISSN (ed. impresa): 0212-3037

ISSN (ed. digital): 2013-9802

<http://revistes.iec.cat/index.php/TSCB>

Rebut: 31/01/2017

Acceptat: 15/02/2017

Resum

Einstein és un geni de la física que eixamplà el camp del coneixement humà, i per això va rebre el Premi Nobel el 1921. El seu llegat, que està constituït pel moviment brownià, l'efecte fotoelèctric, la teoria de la relativitat, l'equivalència de la massa i l'energia, les estadístiques Bose-Einstein i la paradoxa Einstein-Podolsky-Rosen, entre d'altres, continua essent motiu d'estudi, admiració i aprofundiment. Tot i que aquestes aportacions tenen perfil físic, Einstein és un digne investigador de les ciències de la vida perquè els seus descobriments mostren la constitució de la matèria i són observables, empírics i visibles a l'ull humà. Això els fa propers, reals i vius. Einstein hauria estat un bon premi Nobel de Biologia.

Paraules clau: biologia, Einstein, física, Premi Nobel.

Einstein, Nobel laureate in Biology

Summary

Einstein is a genius of physics who broadened the field of human knowledge; hence, in 1921 he was awarded the Nobel Prize. His legacy – which comprises Brownian motion, the photoelectric effect, the theory of relativity, mass-energy equivalence, Bose-Einstein statistics and the Einstein-Podolsky-Rosen paradox, among others – still constitutes a major object of study, veneration and insight. Although these contributions all come under the umbrella of physics, Einstein is also a noteworthy researcher in life sciences since his findings show the constitution of matter and are observable, empirical and visible to the human eye. This means that they are indeed alive, genuine and close. Einstein would have made a remarkable Nobel laureate in Biology.

Keywords: biology, Einstein, physics, Nobel Prize.

El vertader senyal de la intel·ligència no és el coneixement sinó la imaginació.

Albert EINSTEIN

Introducció

Einstein és un d'aquells personatges que ocupen llocs preeminents en la història de la humanitat. Potser per això s'ha escrit molt sobre ell i la seva decisiva contribució al desenvolupament de la física moderna. Tant de bo que els lectors de *TREBALLS DE LA SOCIETAT CATALANA DE BIOLOGIA* descobreixin aspectes nous d'aquest geni del coneixement científic, que continua meravellant les generacions actuals anys després del seu traspàs. Però la pretensió del qui escriu no és tant descobrir aspectes nous del llegat einsteinià com fer una mirada reposada des de la física picant l'ullet a la biologia. El text que segueix busca endinsar-se en l'home i l'obra d'aquest gran físic que ens mostra com funciona el món que coneixem i les implicacions que això té per a nosaltres.

El llegat d'Einstein no només és extens sinó que és d'alta complexitat. Tanmateix, els seus postulats en simplifiquen la comprensió. Einstein no fou un geni que deixà la física aïllada del món real sinó que en demostrà la impregnació en molts dels processos que s'esdevenen tant a la Terra com fora d'ella. Els

postulats d'Einstein ens són propers i la seva aplicació pertany al nostre quotidià.

Per això no ens ha de sorprendre que l'aportació d'aquest geni vagi més enllà del llegat estrictament físic i arribi a molts altres camps del coneixement. La biologia és un d'aquests camps que permet la transposició d'allò que és teòric i xifrat al món real, tangible i viu, en un pas que pot incloure aspectes de caire més aviat metafísic per no dir filosòfic. Curiosament, en el seu temps algunes de les teories del geni rebien l'acusació de ser filosòfiques... Tot plegat encara engrandeix més la figura d'aquest físic i alhora el converteix en un magnífic candidat per rebre diversos premis Nobel. En el nostre cas, escrivint des de la Societat Catalana de Biologia, es tractaria d'un Nobel de Biologia, si fos el cas que aquest premi existís. Posats a guardar, potser en podria haver rebut un altre de matemàtiques. Però això ho anirem veient més endavant.

Aquest article es presenta en tres parts que busquen ser una unitat. En la primera part es despleguen els avenços i les descobertes que han vingut de la mà d'Einstein; en la segona fem una mirada a l'obra del físic des de la importància i l'aplicació que ha suposat per a la humanitat. La tercera es dedica a reflexionar i acostar el conjunt del llegat d'Einstein a la possibilitat de rebre un eventual Premi Nobel de Biologia.

Si la inspiració que va rebre de la música va catapultar el geni d'Einstein a endinsar-se en el món de la física quàntica, un somni d'ell mateix en què es veia cavalcant damunt d'un feix de llum li proporcionà la necessària intuïció per construir la teoria de la relativitat. Deixem que la música i un somni amable es converteixin en una bona targeta de presentació per capbussar-nos en l'univers vital del gran físic.

L'aportació humana i científica d'Einstein

Einstein, l'home i el físic (14 de març de 1879 - 18 d'abril de 1955). Einstein nasqué a la ciutat alemanya d'Ulm i els seus començaments no li van ser gens fàcils. La sentència d'un mestre dirigint-se al seu pare amb un «no farà mai res de profit» ja ho diu tot. Amb l'aire despistat, a dotze anys era un noi avesat a les matemàtiques i a quinze anys abraçava l'àlgebra, la geometria i el càlcul infinitesimal. Graduat a l'Escola Politècnica Federal de Zuric l'any 1900 com a professor de matemàtiques i física, el nostre home mai no va poder accedir al cos docent de cap universitat. Si bé és cert que s'han plantejat moltes hipòtesis sobre el perquè d'aquest fet, potser el caràcter trencador de les seves teories no concordava amb el temps que li va tocar viure. Dins o fora del món universitari, el cert és que l'obra

d'aquest científic despunta pels seus estudis avançats en múltiples camps de la física que anirem desgranant a poc a poc.

Comencem pel moviment brownià, descobert per Robert Brown (1773-1858) el 1827. Aquest botànic escocès havia observat que tant la matèria animada com la inanimada, tant si provenia d'una partícula de pol·len, d'una fulla, d'un polsim de pedra o de vidre, mostraven un moviment semblant, fi, continu i aleatori, que no es devia a la vitalitat pròpia del que era observat, ni a l'escalfor rebuda ni a cap influència magnètica o elèctrica exterior. Aquest tipus de moviment —anomenat *brownià*— fou relegat durant dècades posteriors a la mort del seu autor, fins que el temps el retornà al fil de la història. El 1860, el físic James Clerk Maxwell proposava una explicació de les propietats dels gasos partint de partícules movent-se a l'atzar i d'altres científics havien vist que una partícula browniana es movia de mitjana de manera més lenta que les molècules líquides, que anaven més ràpides. Però no fou fins gairebé cinquanta anys després del traspàs de Brown, el 1905, que el jove Einstein intervingué en aquest assumpte. Va traçar un cercle imaginari al voltant d'una molècula i es va preguntar quant trigaria, de mitjana, a arribar a la vora d'aquest cercle. D'aquesta manera, va obtenir un model teòric que podia ser sotmès a experimentació. Aquests resultats els publicà el mateix any al costat dels assajos sobre la teoria corpuscular de la llum i la relativitat del moviment. L'evidència matemàtica del moviment brownià que proporcionà Einstein amb els seus càlculs inicià el declivi de l'escola contrària a la teoria atòmica i afirmà la teoria de la cinètica dels fluids, que arrossegava gran controvèrsia en aquells temps.

Una altra notable contribució d'Einstein al coneixement fou en relació amb l'anomenat *efecte fotoelèctric*. Aquesta aportació mostra que la matèria està formada d'àtoms, que els electrons tenen la seva càrrega i que l'energia de la radiació s'emet en forma de fotons. Quan aquesta radiació interacciona amb un cos ho fa com si estigués formada per unitats, cadascuna amb una energia proporcional a la seva freqüència (longitud d'ona). Llavors cada unitat interacciona individualment amb els àtoms sense addicionar els efectes: si un fotó no té prou energia per produir un fenomen, com podria ser el trencament d'un enllaç químic, no ho aconseguiran molts fotons que incideixin l'un rere l'altre. L'efecte fotoelèctric explica la capacitat de la llum per alliberar i absorbir electrons d'una superfície metàl·lica en funció

de la freqüència de la llum incident i no tant de la seva intensitat. Einstein arribà a la conclusió que la radiació es comportava com si estigués constituïda per quàntums o agrupacions d'energia independents, que anomenà *fotons*. Aquest postulat, d'una banda, s'acostava al concepte newtonià de la llum com a partícula i, de l'altra, assumia la hipòtesi de Max Planck per la qual l'emissió de l'energia la feien aquelles partícules. Aquesta aportació de la mecànica quàntica obria la porta a la comprensió de la dualitat onà-corpúscle i a creure que els sistemes físics poden mostrar propietats ondulatòries i corpusculars.

Explica Einstein mateix que la teoria de la relativitat és una teoria semblant a un edifici de dues plantes fet per la teoria de la relativitat restringida i per la teoria de la relativitat general. La primera de les dues, i base de la general, preveu tots els fenòmens físics excepte la gravitació. La teoria general descriu la gravitació i la seva relació amb altres forces naturals. Des de la Grècia antiga se sap que per descriure el moviment d'un cos en cal un de segon, que serveixi de referència. Aquest segon cos és un sistema de coordenades. Doncs bé, la teoria de la relativitat restringida té dos principis: el primer és que els sistemes de coordenades estan lliures de rotacions i acceleracions, i el segon és que la llum té en el buit una determinada velocitat de propagació independent de l'estat de moviment de la seva font. Des d'aquesta perspectiva, l'espai i el temps perden la categoria de referents absoluts i, en ser relativitzats, passen a dependre necessàriament d'un observador. Així, es nega l'existència de forces que actuen a distància i s'estableix l'equivalència entre tots els sistemes inercials. En introduir un sistema de coordenades accelerat respecte a un sistema inercial es condiciona l'aparició de camps gravitatoris respecte del primer sistema.

Per a la teoria de la relativitat general la ciència de l'espai i el temps, que és la cinemàtica, deixa de tenir un paper fonamental. La relativitat té per base la igualtat numèrica entre la massa inerta i el pes del cos, que seria l'equivalència entre la massa i l'energia. Per a Einstein la massa d'un cos dependria de l'energia que desprèn i de la velocitat de la llum. Altrament dit, el moviment implica que l'energia (E) que té un cos en repòs seria igual a la seva massa (m) multiplicada per la velocitat constant de la llum (c), al quadrat ($E = mc^2$). En formular la condensació de l'energia es consolidava de retruc el principi de la simultaneïtat introduït segles abans per Galileo Galilei (1564-1642), pel qual les lleis de la física han

de ser invariables per a tots els observadors que es mouen a velocitats constants entre ells.

Deu anys després de publicar la teoria de la relativitat Einstein va fer un nou pas endavant en formular la teoria general de la relativitat. Per a aquesta, la massa dels objectes es vinculava a les equacions del sistema espai-temps. Partint del principi d'equivalència feble que descriu la igualtat de la caiguda lliure amb un moviment inercial, es caracteritzen els objectes inercials per a aquest tipus de moviment amb una acceleració relativa respecte d'observadors no inercials situats a terra. Aquests plantejaments desestimaven el raonament de la gravetat de Newton, que estaven basats en l'existència de forces d'atracció entre cossos. Einstein proposà de substituir-lo pel concepte de la distorsió de l'espai i el temps. Això volia dir que qualsevol objecte seria capaç de distorsionar ambdós paràmetres de la mateixa manera que una lona elàstica es deforma quan al mig hi posem una gran bola de ferro. L'analogia es completa amb què succeiria si a continuació hi deixéssim anar una segona bola més petita en un extrem de la lona. Aquesta rodolaria fins al punt més baix de la lona elàstica, just on és la bola gran. La bola petita no s'ha desplaçat cap a la gran perquè aquesta exerceixi una força atractiva sobre ella, sinó perquè l'hi ha dut la inclinació mateixa de la lona. Amb Einstein l'espai i el temps s'emmotllen i es distorsionen.

Des d'Einstein, tots els observadors són considerats equivalents i la gravetat no és una força o una acció a distància, sinó una conseqüència de la curvatura de la parella espai-temps. Superada la teoria newtoniana de la llei gravitacional s'assentaven les bases per a l'estudi de la cosmologia i de la comprensió de les característiques essencials de l'Univers, moltes de les quals han estat descobertes amb posterioritat al traspàs del geni físic.

Potser un dels mèrits més destacables d'aquest científic ha estat que la teoria de la relativitat general que acabem de presentar fos obtinguda a partir d'un rigorós raonament deductiu matemàtic sense tenir cap base experimental. Això va arribar més tard, quan el 1919 Arthur Eddington i el seu equip foren capaços d'amidar durant un eclipsi, i amb la magnitud predita per la teoria de la relativitat general, la desviació de la llum d'una estrella que passava prop del Sol. Quan es va fer pública aquesta confirmació la fama d'Einstein augmentà en proporció al pas revolucionari que s'acabava de fer en el món de la física. Des de llavors la teoria s'ha verificat i confirmat en tots i cadas-

cun dels experiments dirigits amb aquesta finalitat. Curiosament, és per l'efecte fotoelèctric i no pas per la teoria de la relativitat que Einstein rebé el 1921 el Premi Nobel de Física. Mentre que l'efecte fotoelèctric va ser ben assumit pel món científic, la teoria de la relativitat del moviment hi trobà molta resistència. Les formulacions d'Einstein rebien acusacions de ser pura especulació filosòfica per la impossibilitat real d'arribar a una demostració pràctica del principi.

El 1924 Einstein va rebre un article d'un jove físic indi, anomenat Satyendra Nath Bose, que descrivia la llum com un gas de fotons. Aquest científic li demanava ajuda per concloure la seva publicació. Einstein s'adonà que el mateix tipus d'estadístiques que proposava Nath Bose per descriure les propietats numèriques del gas de fotons es podien aplicar al comportament de grups d'àtoms. Aquests dos científics van publicar l'article conjuntament i crearen el que s'anomenen les *estadístiques Bose-Einstein*. Es tracta d'un dispositiu estadístic per conèixer el comportament i la distribució numèrica de partícules indistingibles entre elles però capaces de coexistir en el mateix estat i que avui dia són conegudes amb el nom de *bosons*. Aquestes partícules s'agrupen de manera peculiar quan la temperatura s'acosta al zero absolut, $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (0 K) sota un estat de mínima energia, anomenat *estat fonamental*.

Einstein també s'adonà dels seus propis límits identificant una paradoxa. Juntament amb Boris Podolsky i Nathan Rosen publicà la paradoxa Einstein-Podolsky-Rosen, o, més curt, paradoxa EPR. Aquest treball analitzava un dels pilars de la física quàntica i resolvia per què dues partícules podien quedar entrelligades per sempre sense que això estigués relacionat amb la distància que les separa. Aquest estat paradoxal ens refereix a l'entrelligament quàntic entre partícules. Quan movem un objecte amb la mà, mitjançant una connexió per cable o per ones de radiofreqüència hem de considerar aquests mètodes d'actuació com a «locals» perquè un objecte actua sobre un altre per obtenir un efecte en un mateix lloc. Aquest és el principi de localitat. En canvi, en mecànica quàntica, si tenim dues partícules entrelligades la mesura de l'estat quàntic d'una d'elles ens permet saber l'estat de l'altra. Així, pel principi de la no-localitat, si una de les dues partícules entrelligades pateix una modificació del seu estat, sabem que immediatament l'estat de l'altra partícula entrelligada serà modificat també, per molt allunyada que estigui

de la primera, o encara que entre mig hi hagi d'altres objectes.

La paradoxa EPR revela la possibilitat de l'acció a distància, compleix el principi de la no-localitat i planteja la problemàtica empírica de mesurar-ho correctament. Per a la mecànica quàntica el fet d'amidar comporta un error intrínsec perquè qualsevol sistema es modifica de manera incontrolable durant el procés mateix de mesura. Sota aquestes circumstàncies es fa necessari calcular probabilitats per obtenir un resultat o un altre. Pel que fa a una eventual acció a distància, no sembla que es pugui transmetre cap mena d'informació amb una velocitat superior a la de la llum mitjançant l'entrelligament. Només és possible la transmissió d'informació utilitzant la teletransportació quàntica.

L'Einstein polític, ètic i pacífic. Albert Einstein es va sentir sempre inclinat pel camp de la política, pel compromís social com a científic i, d'una manera més particular, per les relacions entre la ciència i la societat. Amb aquest perfil, no ha d'estranyar que esdevingués un dels fundadors del Partit Demòcrata Alemany. Amb l'ascensió del moviment nacionalsocialista a Alemanya, el nostre físic abandonà el seu país i es nacionalitzà estatunidenc el 1940. Durant la Segona Guerra Mundial donà suport a una iniciativa de Robert Oppenheimer per al desenvolupament de l'armament nuclear, coneguda com a *Projecte Manhattan*, pensant que era l'única manera de reduir els governs alemany i japonès. Einstein advocava per la necessitat vital d'una cultura ètica i d'una estructuració èticomoral de la vida en comunitat. També creia que la sobrevaloració de l'espai intel·lectual dins de la idea d'un món eficaç i pràctic perjudicava els valors ètics. No patia pel desenvolupament tècnic de la humanitat sinó per la proliferació d'una mútua falta de consideració entre països. Home d'ideal polític democràtic, mostrava odi per l'exèrcit, sentia menyspreu per la violència, abominava de les guerres i demanava que les armes nuclears no fossin pas utilitzades.

Originari d'una família jueva, va advocar per la causa sionista, tot i que fins al 1947 havia estat més partidari d'un estat comú entre àrabs i jueus. El 1948 se li va oferir la presidència de l'Estat d'Israel, que rebutjà. En els seus darrers anys esdevingué un pacifista convençut i es dedicà a crear un utòpic govern mundial que permetria a les nacions treballar juntes i abolir la guerra. Va redactar el conegut Manifest Russell-Einstein, en què es feia una crida als

científics per unir-se a favor de la desaparició de les armes nuclears. Aquest document va servir d'inspiració per a la fundació posterior de les Conferències Pugwash de Ciència i Afers Mundials, que el 1995 van rebre el Premi Nobel de la Pau.

L'Einstein religiós. La comprensió del fet religiós en Einstein el feia distingir tres classes de pràctiques en aquest camp. Ell entenia que una primera classe d'activitat era causada per la por i la mala comprensió del fenomen de la causalitat. Tot plegat facilitava la invenció d'éssers sobrenaturals. La segona classe tenia més a veure amb el caràcter social i moral de l'activitat religiosa motivada pel desig del suport i de l'amor. Si bé a aquestes dues pràctiques religioses presentades els correspon un concepte antropomòrfic de Déu, la tercera classe, que Einstein considerava la més madura, estaria motivada per un profund sentit de la sorpresa i el misteri. Einstein creia en «[...] un Déu que es revela en l'harmonia de tot el que existeix, no en un Déu que s'interessa en el destí i les accions dels humans». Einstein volia saber com Déu havia creat el món i resumí les seves creences religioses en diferents textos, alguns fragments dels quals reproduïm a continuació:

La meua religió consisteix en una humil admiració de l'il·limitat esperit superior que es revela en els més petits detalls que podem percebre amb la nostra fràgil i dèbil ment.

La més bella i profunda emoció que podem sentir és el misticisme. Genera tota la ciència. L'home que no la coneix, que és incapaç de meravellar-se i sentir l'encís i la sorpresa, està pràcticament mort. Saber que allò que per a nosaltres és impenetrable realment existeix, que es manifesta amb la més alta saviesa i la més radiant bellesa, sobre la qual les nostres embotades facultats només poden comprendre amb les seves formes més primitives. Aquest coneixement, aquesta sensació, és la religió veritable. Com més imbuït estigui un home en l'ordenada regularitat dels esdeveniments, més ferma serà la seva convicció que no hi ha lloc del costat d'aquesta ordenada regularitat per a una causa de naturalesa diferent. Per a aquest home, ni les regles humanes ni les «regles divines» no existiran com a causes independents dels esdeveniments naturals. Segurament, la ciència mai no podrà refutar la doctrina d'un Déu que interfeix en els esdeveniments naturals, perquè aquesta doctrina pot refugiar-se sempre en el fet que el coneixement científic no pot posar el peu en aquest tema.

El misteri és allò més bell que ens ha estat donat de sentir. És la sensació fonamental, el bressol de l'art i de la ciència. Qui no pot sor-

prendre's o meravellar-se, està mort. Els seus ulls s'han apagat.

Einstein, una bella adormida. El fenomen de la *bella adormida* s'imputa a aquells estudis que, nascuts en un moment determinat de la història, no són compresos per la societat del coneixement del seu moment, però amb el pas del temps reapareixen i se'n redescobreix la importància. Robert Brown i el seu moviment, explicat abans, és un bon exemple d'una *bella adormida*. El cas de les *belles adormides* del segle xx ha esdevingut un fenomen ben freqüent, imprevisible i associat a científics de primer nivell, entre els quals trobem el nostre físic. En relació amb la paradoxa EPR, quan dels tres autors només quedava viu Rosen, el 1994, el treball començà a ser citat pels físics. La paradoxa EPR havia dormit seixanta anys.

Un Premi Nobel controvertit. Alfred Nobel (1833-1896) va voler respondre la pregunta de qui havia estat la persona que aportava anualment més benefici a la humanitat. Ell mateix acumulà un fons de trenta milions de corones com a resultat de la seva activitat industrial, que deixà en llegat, els interessos anuals del qual serien concedits com a premi. Amb el seu èxit econòmic assolit mercès a mercaderia amb la dinamita, trobant-se solter i sense fills al final de la vida, encarrilà la seva fortuna vers una finalitat filantròpica. Tanmateix, el destí feu que un guardonat a la primera fornada de premis patís una desviació sobre les condicions deixades per Nobel: el físic alemany Wilhelm Conrad Röntgen havia descobert els rajos que portarien el seu nom sis anys abans que li fos concedit el premi el 1901.

En el cas del guardó a Einstein, ell no es va quedar cap corona perquè havia promès de lliurar-lo a la seva dona Mileva. És bo saber que en aquell temps la sola concessió del Premi Nobel equivalia a trenta vegades el sou anual d'un professor d'universitat, mentre que avui el total destinat als premis gira entorn dels deu milions de corones sueques, aproximadament un milió d'euros.

El guardó del Premi Nobel avui incorpora en si mateix un segell propi que pot competir amb l'esperit olímpic, com és la preparació i l'afany de la superació continuada. Tanmateix, no es pot amagar una ombra de dubte. Quan volem classificar els premis Nobel per països guardonats ens adonem de la dificultat que comporta aquesta tasca. Prenent, per exemple, la figura del físic que ens ocupa, Einstein va néi-

xer alemany, fou ciutadà suís i es nacionalitzà i morí estatunidenc. No només trobem dificultats en aparellar premis i nacionalitats sinó que també podem adonar-nos d'una certa aura obsolescent pel que fa als premis. Només ens cal observar la creixent interdependència que es va establint entre les branques del coneixement humà i que es torna notable quan parlem de les ciències de la vida del segle XXI. Si contemplem la llista de molts dels guardons internacionals que avui dia es lliuren ens adonarem que estan plens de contribucions excel·lents a la ciència, al coneixement i a les arts, encara que alguns podrien haver canviat de mans si mai hagués existit un tal Premi Nobel de Biologia. Efectivament, alguns dels guardons de l'any 2016 són ben eloqüents: el Nobel de Medicina s'ha atorgat a un biòleg japonès dedicat a estudiar l'autofàgia cel·lular, com també podria haver canviat de mans, per sorprenent, el Nobel de Literatura al dilatat treball d'un poeta fet a músic com Bob Dylan, per bé que podria ser un músic fet a poeta. En aquest cas, estem davant d'un Premi Nobel de Literatura o un de Música o de totes dues coses? La història ja està escrita i Einstein treballà l'univers de la física de manera irrefutable però va acumular mèrits per rebre un Nobel de Biologia.

La importància i l'aplicabilitat de l'obra d'Einstein: acostant la física a la biologia

El llegat de les aportacions científiques d'Einstein el converteixen en un guardonat d'excepció. A l'extrema qualitat de les seves contribucions l'aparella una excel·lent simplicitat. L'obra d'Einstein té un aire senzill que la fa propera i remarcable. És ben característic que per al procés raonat de les seves teories utilitzi observacions del comportament de la natura del vent i l'aigua i d'objectes de la natura en moviment i en situacions pròpies del quotidià. Els seus principis són com condensacions del coneixement, talment com si apliquéssim ell mateix a la seva recerca el principi de la reducció de l'energia condensada en la matèria. Einstein aprima el coneixement fins al límit, i explica molt amb poc espai i temps, i ho fa d'una manera comprensible. Aquesta magnífica simplicitat de la seva obra no està determinada per l'absència de complexitat dels seus càlculs intermedis sinó per la brevetat i la capacitat de descriure, amb poc, tot del món que vivim. Així mateix, també és remarcable l'obra d'aquest home pel seu alt nivell d'aplicabilitat, característica que s'estén més enllà del camp propi de la física.

En descriure el moviment brownià s'assumeix que la matèria, sigui inerta o no, està en moviment continu. No ens han de passar desapercebudes les conseqüències científiques i humanes, per no dir filosòfiques, que això comporta en relació amb la concepció particular i general del món que vivim. Si els humans no entenem com està constituït aquest mecanisme últim de la matèria i del nostre món, el pensament es torna màgic i obre la porta a la vana especulació. Si entenem que el moviment és una atribució pròpia dels cossos, arribem a la consideració que tota matèria és viva, constitutivament. El moviment brownià permet entendre la difusió de partícules en un medi líquid com l'aigua o gasós com l'aire i permet entendre la difusió de partícules de contaminants atmosfèrics o de qualsevol substància tòxica a la qual els humans ens exposem. Pel que fa al camp de les matemàtiques, la trajectòria seguida per una partícula que experimenta el moviment brownià és un exemple de fractal. I així podem trobar aplicacions a la medicina, la música, la imatge, la sismologia, la moda, els rellotges digitals i l'estudi del moviment borsari, entre molts d'altres.

En relació amb l'efecte fotoelèctric, les seves aplicacions permeten la detecció del moviment dels cossos o de l'existència de camps calòrics. Això permet controlar qualsevol mecanisme d'obertura i tancament de portes, dels sistemes d'alarma antirobatori o de detecció d'incendis, de la dinàmica d'organismes vius en la superfície del mar i del control de la temperatura del canvi climàtic. També és ben visible el llegat del físic en aquest camp pel que fa a l'exploració de l'espai exterior. En les missions espacials per buscar formes de vida en altres estrelles se segueix el criteri de l'obtenció de fotons. Siguin fotons d'oxigen, de metà o d'ozó, la sola presència d'aquests justificaria l'existència de vida. A més, s'ha comprovat que els postulats de la física d'Einstein funcionen més enllà de la Terra, talment com ho fan els propis de la geologia i la química, tot i que encara no es pot saber avui si s'acompleix pel que fa a la biologia. Potser sense imaginar-s'ho Einstein obrí la porta al camp de l'exobiologia.

Amb la relativitat de l'observador com a punt fort que relaciona el moviment dels cossos i l'energia, el físic resumeix de manera breu i entenedora com la natura es mou sense referents objectius. Per a ell, la vida s'entén en un espai i en un temps en moviment sense necessitat d'observadors universals. Si tot allò que observem es torna subjectiu en la posició i el moviment, llavors aquest gest també és propi

de la biologia. La paradoxa en què intervenen dos bessons ens permet veure una aplicació directa d'aquesta relativitat. Si imaginem un dels bessons viatjant durant vint anys per l'espai a velocitats properes a la llum, quan aquest torna a la Terra es troba amb el seu bessó, que s'haurà envellit just aquest temps. En canvi, per al bessó viatger només ha transcorregut un any de vida.

Pel que fa a l'equivalència massa-energia, establint la fórmula $E = mc^2$ Einstein aplanà el camí al desenvolupament de l'energia nuclear. En aquest camp ell estudià tres estimacions cabdals, com són l'energia d'enllaç disponible en cada nucli atòmic, l'energia que s'allibera en fusionar nuclis lleugers i la que s'emet en la fissió de nuclis pesants. Einstein obrí el camí de l'estudi de la constitució atòmica de la matèria. Això permet entendre que la massa és una forma d'energia continguda de tal manera que, si poguéssim transformar totalment la massa en energia, un quilogram de massa esdevindria 25.000 milions de kWh o 21 megatonnes de TNT. No ens ha de sorprendre que el descobriment d'Einstein sobre el potencial energètic de la massa es consideri una troballa rellevant. Aquesta aportació, tal com ell ho explica al final de la seva vida, estava dirigida a fer un món més pacífic i allunyat dels conflictes bèl·lics. El descobriment de l'energia continguda en la massa dels cossos ens mostra l'enorme potencial intern que tenen els objectes de la natura. Res del que coneixem no és mort o inert, sinó que tot té energia continguda i capacitat per generar moviment. Sembla que l'Univers, tal com el coneixem, és pura energia. No només l'Univers sencer pren el valor de ser energia, sinó que res del que hi és contingut n'és buit d'ella. Sota aquest concepte, amb Einstein, el moviment i el repòs són indistingibles. L'energia és l'Univers i tot el que s'hi mou.

Un altre punt central en l'univers conceptual del geni és que la llum sigui el límit absolut del moviment. Li és del tot indiferent que es tracti d'ones o de partícules. La seva simple equació de l'energia dels cossos posa el factor *temps* al límit de l'existència quan s'adopten velocitats properes a la llum. Sota aquestes condicions la matèria i l'energia es fan indistingibles. Vida, energia i moviment són camps propis de la biologia.

La teoria general de la relativitat és aplicable a tot el que es relaciona amb els efectes de la gravetat. Aquests efectes poden ser descrits com una deformació o curvatura del duet espai-temps que ens acosta a l'entorn de quatre

dimensions, en comptes de parlar dels efectes d'una força en un espai tridimensional. La concepció del món quadridimensional suposa un gir copernicà en la mentalitat humana. Amb raó podem dir que amb Einstein passem d'un plantejament físic a un altre de metafísic o filosòfic. En aquesta línia de pensament, Einstein proposà que l'espai-temps es corbava a causa de la matèria; així, els objectes en caiguda lliure es mouen en trajectòries rectes que anomenà *línies geodèsiques*. La teoria d'Einstein estableix que si hi ha una força que actua sobre un objecte aquest serà desviat de la geodèsica (la seva trajectòria) en l'espai-temps. I, al contrari, els humans, en tant que matèria que som, quan estem drets i quietes damunt el terra no mostrem cap inèrcia amb el planeta i no seguim cap trajectòria geodèsica. Einstein va descobrir les equacions de camp (que porten el seu nom) i que relacionen la presència de la matèria i la curvatura de l'espai-temps. Es tracta d'un conjunt de deu equacions diferencials no lineals i simultànies que poden ser agrupades en una única equació tensorial. Tot plegat ajuda a parametritzar cossos i distàncies en els camps de la física, les matemàtiques i el càlcul d'estructures en enginyeria. Un bon exemple d'aplicabilitat einsteiniana és la base de l'actual sistema d'orientació GPS.

Derivades de la teoria general de la relativitat, les ones gravitacionals són oscil·lacions pròpies de la curvatura de l'espai-temps. A diferència de les ones electromagnètiques, que són perturbacions dels camps elèctrics i magnètics i que les produeixen partícules amb càrregues accelerades, les ones gravitacionals les produeixen masses i acceleracions molt importants, talment com les que poden assolir les estrelles o els forats negres, estudiats per l'astrofísica. Esdeveniments catastròfics distants de l'Univers poden ser detectats mercès a l'observació d'aquestes ondulacions de l'espai-temps. Ben recentment, aquest tipus d'ones han pogut ser observades en produir-se durant l'última fracció de segon de la fusió de dos forats negres en un de sol. L'aportació del físic ajuda a explicar l'origen i la constitució de l'Univers en què vivim.

Les estadístiques Bose-Einstein ens introdueixen en el món dels bosons i de la constitució particulada de la matèria i descriuen més elements dins de l'espai subatòmic conegut. Aquest camp és el territori propici per al desenvolupament de les energies alternatives. L'aplicació de les estadístiques Bose-Einstein permet conèixer la distribució de l'energia de radiació d'un cos negre, que és un objecte teò-

ric que absorbeix tota la llum i tota l'energia que incideix a sobre seu. Malgrat el seu nom, un cos negre emet llum i és un sistema físic ideal per a l'estudi de la radiació electromagnètica, un tipus d'ona que es propaga amb un component elèctric i amb un altre de magnètic que oscil·la en angle recte respecte d'ambdós components i respecte de la direcció de propagació. El camp d'aplicació d'aquestes estadístiques es relaciona amb la freqüència de l'ona emesa, que s'estén des de les ones de ràdio fins a la radiació gamma. Les estadístiques Bose-Einstein suposen una gran contribució a la física estadística i, vistes des del món de la distribució de probabilitats, són útils actualment per conèixer l'evolució de molts sistemes complexos com el World Wide Web, les finances o les xarxes bibliogràfiques. Finalment, amb la formulació de la paradoxa EPR Einstein obria la porta perquè l'entrelligament quàntic fos la base d'una tecnologia que viurà en constant desenvolupament com la computació, la criptografia i la teletransportació quàntiques. Això estimula el desenvolupament de la ciència, que intueix la possibilitat que a altes energies el desplaçament es faci a velocitats superiors a les de la llum mitjançant un mecanisme que encara no abastem.

Tot el que hem vist fins ara són fites del físic que ens descriu i ajuda a comprendre i desenvolupar el món en el qual vivim. Es tracta d'un món físic que va més enllà del que és constitucional i s'endinsa en allò que és viu, el camp que és propi de la biologia.

Einstein, un premi Nobel per a la biologia

Per tot el que hem dit fins ara el nostre físic podria haver rebut un Premi Nobel de Biologia. Amb Einstein la realitat atòmica, la inèrcia, la gravitació i el comportament mètric no són fenòmens individualitzats o aïllats sinó més aviat interdependents en la constitució i el moviment i són descrits de manera global i sintètica. És el cas concret de la massa i l'energia, que esdevenen equivalents. Les partícules aïllades deixen de ser-ho per formar part d'un tot. El conjunt d'éssers vius, tots els objectes inanimats que els envolten i amb els quals interaccionen en l'espai i el temps, contenen una quantitat d'energia inimaginable, independentment de l'estat en el qual es trobin. Globalment considerat i als ulls d'Einstein, el món és energia i aquesta s'enquadra dins de quatre eixos en què el temps té un paper cabdal. La descripció d'aquest món és propi de la biologia. El llegat d'Einstein representa un dels fo-

naments per a la comprensió racional del comportament de la matèria, la llum i l'energia del món en el qual vivim. La vida discorre i es mou segons els postulats signats pel físic. El camp de treball on reposa l'obra d'aquest autor no és ben bé un món físic teòric i abstracte, sinó un món ben real, viu i dotat d'energia. El seu coneixement ens permet entendre i aplicar accions directes en el camp de les ciències de la vida, dins i fora del nostre planeta.

El tipus de coneixement desenvolupat en el camp de la constitució més íntima de la matèria i l'energia que se'n deriva, el moviment intern i extern d'aquella i la comprensió de com està organitzat l'Univers sencer, fan d'Einstein un home amb una aportació científica excepcional. El nivell de formulació de les seves teories és consistent i sistemàticament correcte. L'observació real i actualment possible de molts fenòmens que va saber predir amb molta antelació així ho corroboren. El nivell d'aplicabilitat de les seves aportacions és alt. Si bé és cert que va dotar a la física d'un formalisme matemàtic prou genèric per ser adoptat fà-

cilment per totes les ciències experimentals, també és veritat que va proporcionar les eines per a la interdisciplinarietat necessària que exigeix el coneixement humà. Einstein obrí la porta a entendre el comportament dels sistemes complexos.

Enllà de la biologia, el seu pensament pot repercutir de manera directa en molts camps com el polític, el filosòfic i fins i tot el religiós. El nostre físic fou un home tècnicament brillant, enamorat de la música i virtuós del piano i del violí, capaç fins i tot de plantejar-se el seu propi límit tècnic descrivint una paradoxa diabòlica que mai no va arribar a solucionar. És tot un exemple a seguir que els seus articles ofereixin una primera part d'exemples i de descripció pràctica i reservin l'argumentació teòrica per al final. Es fa difícil de creure que una persona amb aquest perfil tingués en el cap desenvolupar armes de destrucció massiva. Més aviat hauríem de situar Einstein entre aquelles persones que avui treballarien pel desenvolupament de polítiques globals dirigides, obertament, a la pacificació i al benestar

de tot el món, al coneixement íntim dels mecanismes de la vida cel·lular, al control i la racionalització dels recursos naturals mitjançant la reducció, l'estalvi i la sostenibilitat energètica.

Per tot el que hem dit fins ara, per la seva contribució a la biologia i a l'exobiologia, el nostre geni podria haver rebut el Premi Nobel de Biologia. Aquest guardó hauria fet d'Einstein un digne investigador de les ciències de la vida, atès que els seus descobriments són observables, empírics i visibles a l'ull humà. Això els fa propers i palpables, reals i vius. El seu llegat honoraria la biologia com a cos de coneixement que ja s'ha demostrat capaç de donar guardonats científics en tota mena de camps del saber humà.

Dedicatòria

El present article es dedica a les persones de bona voluntat que durant tota la història han tingut la intenció o han actuat en la direcció de construir un món més humà, lliure de barreres i físicament més pacificat del que els va tocar viure.

Bibliografia

- ASPECT, A. [et al.] (1981). «Experimental tests of realistic local theories via Bell's theorem». *Physical Review Letters*, 47: 460-463.
- EINSTEIN, A. (1986). *Autobiografía y escritos científicos*. Madrid: Circulo de Lectores.
- (2000). *Mi visión del mundo*. Barcelona: Fábula Tusquets.
- (2005). *El significado de la relatividad*. Madrid: Espasa Calpe.
- EINSTEIN, A. [et al.] (1935). «Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?». *Physical Review*, 47: 777-800.
- EINSTEIN, A.; INFELD, L. (1939). *La física, aventura del pensamiento*. Buenos Aires: Losada.
- FISCHER, E. P. (2016). *El gato de Schrödinger en el árbol de Mandelbrot*. Barcelona: Planeta.
- ROQUÉ, X. (ed.) (2000). *Albert Einstein: La teoría de la relatividad i altres textos*. Vic: Eumo.
- SUZUKI, S. (1986). *Vivre, c'est aimer*. Nieuwmoollen-Hallas: Corroy.