



Alvaro Velasco 2011

ANTIMATÈRIA, MÀGIA I POESIA

PAUL DIRAC, EL POETA DE LA FÍSICA

José D. Edelstein i Andrés Gomberoff

Il·lustracions a càrrec d'Aurora Valero

Dirac seia en un costat del saló. Observava minuciosament els moviments del seu amic Werner Heisenberg, un dels pares de la mecànica quàntica, que ballava amb entusiasme al costat d'un grup de dones. Era 1929 i eren a bord del vaixell que els havia de portar a una conferència al Japó. De sobte, va veure que Heisenberg s'allunyava del grup i retornava al seu costat. Els dos xicots de vint anys, que poc després guanyarien el premi Nobel de Física, es van mirar uns instants en silenci. Dirac el va interrogar: «Heisenberg, per què balles?». L'autor del principi d'incertesa va contestar: «Perquè fa goig fer-ho entre xiques tan agradables». Dirac es va quedar pensant uns llargs minuts. De sobte, es va aixecar i li va preguntar: «I com saps, per endavant, que són agradables?».

Aquesta anècdota retrata molt bé el més gran físic britànic del segle xx. Paul Dirac era tímid i d'una economia de paraules proverbial, però de precisió aclaparadora, excessiva per a una xarrada quotidiana. Va ser una espècie rara en aquest món. Una ment capaç de descobrir bellesa on ningú més la podia veure. Un poeta de la física. En la seua làpida es llig l'equació relativista de l'electró. Amb la precisió i elegància d'un haiku, l'epitafi gravat al marbre és el seu millor poema, l'equació de Dirac. No la va trobar provant de resoldre els enigmes que el món natural de la seua època presentava. La va trobar buscant la bellesa. En les seues paraules, «simplement examinant quantitats matemàtiques que els físics utilitzen, i intentant donar-los sentit de manera interessant, sense importar les aplicacions que el treball puga tenir».

És probable que pocs científics compartesquen la seua visió esteticista de la ciència, i amb raó, ja que és un luxe que només algú amb la seua intuïció i geni es podia permetre. Ningú és immune, però, a l'encís seductor, a la simplicitat perfecta de la seua feina. Més enllà de la motivació que va inspirar la seua gènesi, l'equació relativista de l'electró, en paraules del mateix Dirac, «dóna compte de gran part de la física i tota la química». Va



Més enllà que resoldre els enigmes que ens envolten, el físic britànic Paul Dirac el que buscava era la bellesa. La seua era una visió esteticista de la ciència.

«PAUL DIRAC ERA TÍMID I D'UNA ECONOMIA DE PARAULES PROVERBIAL, PERÒ DE PRECISIÓ ACLAPARADORA, EXCESSIVA PER A UNA XARRADA QUOTIDIANA. VA SER UNA ESPÈCIE RARA EN AQUEST MÓN, UN POETA DE LA FÍSICA»

Aurora Valero. *Matèria i espai*, 2011. Tècnica mixta, collage sobre paper, 21 x 29 cm.

LA REALITAT FÍSICA DE L'ART

AURORA VALERO

Quan la paraula *antimatèria* apareix en el nostre horitzó, ens sentim atrets cap a un excitant *no-lloc* inspirador de suggeriments. Als qui ens dediquem a les arts plàstiques aquest vocable ens deixa bocabadats i desconcertats per més que al llarg de la història hàgem buscat, entre els amagatalls del passat, relacions entre l'art i la ciència. Però el terme sens dubte exigeix estar proveïts d'un bagatge de coneixements científics als quals el nostre accés, en altres temps factible, avui és molt limitat perquè el camp en què es mou l'especulació científica és molt complex. Necessitaríem més temps que el d'una sola vida per poder comprendre l'amplitud de coneixements que permetera una aproximació a aquesta espècie d'enciclopèdia del saber.

«PER AL PINTOR, FINS I TOT PER AL MÉS INFORMALISTA, MAI SERÀ POSSIBLE REPRESENTAR L'ANTIMATÈRIA TAL QUAL ÉS. NO ES POT ARRIBAR MÉS LLUNY QUE EL 'QUADRAT BLANC SOBRE FONS BLANC' DE MALEVICH, I TOT I AIXÒ ESTÀ REALITZAT AMB MATÈRIA»

I no obstant això i segons sembla, alguns científics intenten trobar en la ciència altres imatges de la bellesa, d'allò viu, que ens identifica en la cerca mateixa. Perquè a mesura que es van desentranyant les relacions, la constitució de la matèria –i de l'antimatèria–, el cosmos i el món del qual formem part, ens adonem que tots perseguim un objectiu comú: revelar misteris i mostrar tot allò que intuïm. Per al pintor que treballa amb matèria *plàstica*, la seua obra es desenvolupa en unes condicions fisicoquímiques concretes que no tenen cap relació amb el tema que ens ocupa: amb l'antimatèria. Per a nosaltres tot és tangible, palpable. Els artistes plàstics no sabem el que és l'antimatèria, però ho pressentim.

És curiós que la major preocupació per la matèria, o, com van dir els pintors i els crítics informalistes,



Aurora Valero. *Matèria i espai*, 2011. Tècnica mixta, collage sobre paper, 21 x 29 cm.



per *allò matèric*, es produïra a mitjan segle XX quan els artistes van començar els seus experiments entorn de l'abstracció amb l'*art brut*, el tachisme, l'informalisme, l'expressionisme abstracte... els quals tenien com a premissa deixar la matèria en llibertat perquè ella mateixa es constituïra en la seua pròpia poètica. La màgia de la matèria en acció es va desbordar i, per primera vegada en la història, el moviment va afectar tot el món. Sens dubte la matèria, aquella gran oblidada, reivindicava els seus drets. I de la mateixa manera que per al científic l'antimatèria és una realitat en aquells anys i en els següents –i fins i tot en les aplicacions que s'estan realitzant actualment en camps com la medicina– el pintor, en canvi, es va centrar en la matèria, tal vegada perquè ella és real, perquè pot palpar-la, estendre-la, aglomerar-la, abraçar-la, diluir-la... És l'eina amb què treballem. Fins avui, de moment, almenys, l'antimatèria només pot considerar-se en la superfície del quadre com l'espai que no conté matèria, com aquell *fons* sobre el qual cavalquen els esdeveniments plàstics.

Per tant, per al pintor, fins i tot per al més informalista, mai serà possible representar l'antimatèria tal qual és. I si ha de prendre com a referència el símbol, prompte descobrirà que aquest no funciona perquè l'art pot enamorar, pot causar desgrat o rebuig, pot existir negant i afirmant, però mai podrà prescindir de la seua dependència de la matèria sòlida; mai podrà arribar a manifestar realment aquell estat de l'esperit del qual ens han parlat els grans místics en què no existeix res perquè tot és. No es pot arribar més lluny que el *quadrat blanc sobre fons blanc* de Malevich, i tot i això està realitzat amb matèria.

Som éssers limitats que juguem a continuar investigant en el laberint de la vida i mai ens aturem. Sabem que aquest laberint és infinit, però hi caminem intentant obrir-nos a l'esperança i deixant el nostre rastre com altres van fer.

Els pintors continuarem treballant amb matèria, amb superfícies i espais que, d'alguna manera els relacionen tots dos –matèria i antimatèria– i continuarem buscant la bellesa i la veritat onsevulla que siguin, perquè podem triar una posició des dels nostres coneixements sensibles. I aquesta posició, per descomptat, com la del científic, és la vida en acció i la bellesa que es desprèn de la seua transformació i de la seua poesia. ●

Aurora Valero. Artista i doctora en Belles Arts. Acadèmica de la Reial Acadèmia de Belles Arts de Sant Carles de València.

ser capaç de descriure per primera vegada la interacció de la llum i la matèria, d'explicar unes quantes propietats misterioses d'àtoms i molècules, i de produir la seua predicció més inquietant: l'existència d'antimatèria. Per tal de gaudir de la poesia sintètica de Dirac, de la seua singular capacitat d'embastar arguments i equacions a fi de fer emergir la bellesa, com si d'un sonet es tractara, pensem per un instant en l'electró.

■ L'ELECTRÓ

L'electró és una partícula fonamental. No és composta per res. És la unitat bàsica i indivisible de la càrrega elèctrica. Posseeix una massa molt lleugera en comparació amb la del nucli atòmic, al voltant del qual té el seu parador habitual. Els electrons són tots idèntics i l'única característica distintiva és l'anomenat espín, que pot pensar-se com la possibilitat de girar sobre si mateix. Això ho pot fer només de dues maneres: en el sentit de les agulles del rellotge o en sentit contrari, però sempre amb la mateixa magnitud. Pot estar en tan sols dos estats. Per això, quan a mitjan anys vint es van establir les bases de la física quàntica, un electró havia

«L'EQUACIÓ DE DIRAC PRESENTAVA UN RESULTAT ABSURD. PERÒ EL PODER DE LA BELLESA MOBILITZAVA LA CREATIVITAT I PERSISTÈNCIA DEL SEU AUTOR»

de ser representat mitjançant dues quantitats distintes que donaren compte de cada un d'aquests estats.

En aquella època, però, les lleis de la física quàntica no s'ajustaven a la relativitat especial que Albert Einstein havia desenvolupat, el 1905, per descriure objectes que es mogueren a velocitats comparables a la de la llum. Les equacions de la física quàntica, per tant, no eren vàlides per descriure un electró massa veloç. Dirac es va preguntar com havia de modificar-se la física quàntica perquè resultara compatible amb la teoria d'Einstein. Usant la seua concepció estètica i arguments purament teòrics, matemàtics, va elaborar l'equació que porta el seu nom en un article que, sota el majestuós títol *La teoria quàntica de l'electró*, va enviar a publicar el 2 de gener de 1928.

Si bé el treball va ser rebut amb gran entusiasme, hi havia un problema evident que no se li va escapar a Dirac: la seua teoria contenia, inexorablement, quatre

quantitats independents i no les dues necessàries per a descriure l'electró. Per a altres científics, això hauria estat prou raó per rebutjar la teoria. Per a Dirac, però, la bellesa matemàtica d'aquesta constituïa una ferma evidència que havia de tenir utilitat en el món natural. Va observar que les dues quantitats extra devien correspondre a una mena d'electrons d'energia negativa. És això admissible? En aparença no. Si una partícula poguera adquirir valors negatius de l'energia s'arribaria a un resultat paradoxal: un electró podria proveir energia il·limitadament a canvi que la seua fóra cada vegada més negativa, conservant en el procés l'energia total. Així, un únic electró podria ser utilitzat com a font energètica per a tot el planeta. Una perspectiva fabulosa, tan seductora com impossible.

■ NAIX L'ANTIMATÈRIA

L'equació de Dirac presentava un resultat absurd. Però el poder de la bellesa mobilitzava la creativitat i persistència del seu autor. En un moviment audaç, Dirac va imaginar que potser un electró no podia tenir energia negativa perquè tots aquells estats ja eren ocupats per altres electrons. El físic austríac Wolfgang Pauli havia descobert poc abans que dos electrons no poden estar simultàniament al mateix lloc i amb el mateix espín, per la qual cosa si els estats estigueren ocupats, en la pràctica seria com si no existiren. Aquesta solució tan enginyosa, és clar, tenia greus conseqüències. Dirac sostenia, en definitiva, que el buit, l'absència de matèria, lluny de ser el paradís de l'espai i el silenci, s'assemblava més a un teatre de gom a gom amb el cartell «no hi ha més butaques». El buit seria ple d'electrons ocupant les infinites butaques d'energia negativa, com un mar sense fons: el mar de Dirac. Aquest, per tant, tindria càrrega elèctrica i energia, totes dues infinitament negatives! Ningú estaria disposat a acceptar una bogeria semblant. Com contrastar una idea tan escandalosament poc intuïtiva?

Una forma de posar a prova la sorprenent idea de Dirac és la següent. Si existira aquest mar conjectural d'electrons d'energia negativa, hauria de ser possible lliurar a algun d'ells prou energia per portar-lo a tenir energia positiva. Si fóra així, deixaria arrere un lloc vacant o buit al mar de Dirac, una butaca buida perquè un espectador va abandonar la sala. Notablement, si ho pensem una mica, aquest buit té totes les propietats

**«EN UN MOVIMENT AUDAÇ,
DIRAC VA IMAGINAR QUE
POTSER UN ELECTRÓ NO
PODIA TENIR ENERGIA
NEGATIVA PERQUÈ TOTS
AQUELLS ESTATS JA EREN
OCUPATS PER ALTRES
ELECTRONS»**



Paul Dirac, a l'esquerra, passeja amb el seu amic Werner Heisenberg a Cambridge.

© AIP Emilio Segrè Visual Archives

d'una partícula amb càrrega positiva que es pot moure. La butaca buida, anunciada en la taquilla, atrau espectadors, tal com ho fan les càrregues de signe oposat. Pot moure's, a més, perquè els espectadors poden començar a canviar de seient, l'un darrere de l'altre. El buit en el mar de Dirac es comporta com una partícula idèntica a un electró, però de càrrega positiva.

Si la interpretació inversemblant de Dirac fóra certa, hauríem de poder trobar una partícula idèntica a l'electró, però de càrrega positiva. La primera temptació va ser pensar en el protó, com van suggerir Hermann Weyl i el mateix Heisenberg el 1929, però la teoria invariablement obligava que ambdues partícules tingueren la mateixa massa. L'univers conegut no semblava albergar una partícula semblant. El seu amic Heisenberg, decebut, va qualificar la formulació de Dirac en una carta a Pauli com «el capítol més trist de la física moderna». Niels Bohr va sostenir que l'audàcia de l'anglès ja no tenia sentit. Però Dirac hi va insistir, el 1931 va postular l'existència d'elec-



Paul Dirac, recolzat sobre una barana, conversa amb Richard Feynman el juliol de 1962. Feynman era tot el contrari a Dirac en quant a personalitat: extravertit, excèntric i divertit.

trons positius o antielectrons com l'única interpretació possible de la seua teoria.

La tensa espera no es va prolongar gaire. El 2 d'agost de 1932 Carl Anderson va observar la primera evidència irrefutable dels electrons positius o positrons. Era precisament la partícula que Dirac havia predit. Els positrons són el primer exemple de l'antimatèria. Amb el temps es va concloure que no sols els electrons, sinó totes les partícules, tenen associada una antipartícula. Abans de donar-se a conèixer en un experiment, obeint al seu destí ineluctable, l'antimatèria va eixir a la llum en la pàgina en blanc del buit, en un audaç i bell sonet ordit pel lirisme i el geni matemàtic de Paul Dirac.

■ FEYNMAN, DIRAC I LA BELLESA

La teoria de Dirac es va imposar, però no per molt de temps. Com sol succeir en la ciència, els problemes no van trigar a arribar. En intentar fer càlculs més precisos i complexos, que involucraren moltes partícules i antipartícules, els resultats es tornaven absurds. Calia una teoria més general: l'electrodinàmica quàntica, que veuria la llum a finals dels quaranta. Un dels seus creadors va ser el cèlebre físic nord-americà Richard

Feynman. Tot i compartir amb Dirac el mateix geni i la mateixa necessitat de bellesa, Feynman era extravertit, divertit, excèntric i seductor. Feynman era a Dirac el que un electró al seu antielectró. Segons Freeman Dyson, un altre dels pares de l'electrodinàmica quàntica, Feynman no passava pels processos matemàtics ordinaris en els seus raonaments. Era capaç de descobrir coses com per art de màgia. Podia endevinar les respostes per un estrany procés que ni ell mateix entenia.

Richard Feynman solia fer els seus càlculs al *topless bar* del seu amic Angelo Gianone. Omplia els tovallons de paper amb fórmules i esbossos de les dones que ballaven a l'escenari. En el seu primer treball sobre l'electró i el positró, Feynman va proposar una nova interpretació per a l'equació de Dirac. Per a ell no hi havia energies negatives. Es tractava d'electrons que es movien cap arrere en el temps. Portar energia i càrrega negatives al passat és equivalent a portar-ne de positives al futur, de la mateixa manera que és equivalent portar diners del banc a casa o portar deute de casa al banc. Els positrons eren, així, electrons que viatjaven al passat. Com en la famosa escena de la pel·lícula *Yellow Submarine*, quan els Beatles passen pel Mar del Temps, veuen un submarí groc idèntic al d'ells, i John Lennon suggereix que aquest no és més que ells mateixos, «viatjant cap arrere en el temps».

Grans científics, tan dispars com Dirac i Feynman, van trobar en la bellesa una motivació essencial per a la construcció de les seues teories. Dirac afirmava que l'investigador, «en els seus esforços per expressar les lleis de la naturalesa, ha de preocupar-se principalment de la bellesa matemàtica. Ha de prendre la simplicitat en consideració, però subordinada a la bellesa». Paradoxalment, ell era incapaç d'apreciar la poesia. Una vegada li va dir al seu amic Robert Oppenheimer: «En física intentem explicar, en termes simples, alguna cosa que ningú sabia abans. La poesia fa exactament el contrari.» Feynman, per la seua banda, es queixava d'un amic artista que li deia que els científics reduïen tot a elements bàsics, desposseint-los de la seua bellesa. Li responia que, molt al contrari, ell podia apreciar en una flor la mateixa bellesa. No obstant això, també podia apreciar la bellesa de les seues cèl·lules, els seus processos biològics i la seua història natural. La bellesa, segons sembla, no és monopoli de l'art. ☺

Aquest article, modificació d'un d'anterior publicat en la revista xilena *Qué passa* (9 d'agost de 2009), ha estat guanyador del I Concurs de Divulgació Científica del CPAN 2010 (Centre Nacional de Física de Partícules, Astropartícules i Nuclear, Consolider-Ingenio 2010).

José D. Edelstein. Professor Titular del Departament de Física de Partícules. Universitat de Santiago de Compostel·la.

Andrés Gomberoff. Vicerector de Recerca i Doctorat. Universitat Andrés Bello (Santiago de Xile).