

# La polèmica sobre la naturalesa de la llum a principi del segle XX

Un exemple del caràcter obert de la investigació científica



Paco Savall

Professor de Física i Química  
IES Número 1 -Xàbia

Massa sovint pensem que la finalitat de la ciència és el descobriment de la veritat. Concebem la recerca científica com un esforç d'escrutini de la realitat a través d'experiments que ens mostren com és el món i quines són les lleis que el governen. Imaginem els científics als laboratoris fent esforços per observar allò que encara ningú no ha observat, com si els descobriments estiguessen allí ocults, esperant ser desvetllats i comunicats. I quan la revelació té lloc, els protagonistes adquireixen notorietat. Qui no ha sentit parlar de Marie Curie com a descobridora del poloni o d'Isaac Newton com a descobridor de la llei de gravetat? Fins i tot, científics amb nomenada han manifestat públicament aquestes idees. Tot això va ser molt evident a finals del segle XIX, moment en què una part de la comunitat científica va reconèixer que la física era a prop d'estar enllestida.

Res més lluny de la realitat! Controvèrsia, disputes, diferències i investigació científica han anat sempre de la mà. I no només quan el desconeixement era manifest i acceptat, sinó també quan la comunitat científica estava plenament convençuda de la validesa dels avanços. Les darreries del segle XIX en són, possiblement, l'exemple més paradigmàtic.

A pesar de les manifestacions realitzades pels científics en aquella època, no va cessar l'intent de donar resposta als aspectes que, suposadament, quedaven per resoldre. Un entre tants, un estrany fenomen observat per Heinrich R. Hertz en els experiments que el van portar a la troballa de les ones electromagnètiques i que posteriorment seria conegut amb el nom d'*efecte fotoelèctric*.

## Què és la llum?

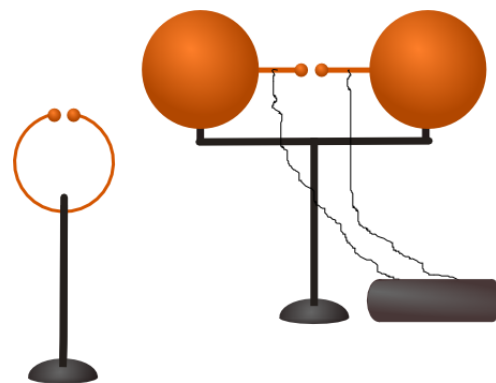
Aquesta és una pregunta que ha rebut respostes diverses al llarg de la història, des de les antigues concepcions de la llum con un conjunt de raigs,

fins als models quàntics moderns. Tenen especial notorietat les disputes del segle XVIII entre els partidaris del supòsit que la llum està formada per partícules, *liderats* per Isaac Newton, i els que la concebien com una ona, *lliderats* per Christian Huygens. Amb el pas del temps, la millora de les tècniques experimentals i el coneixement en profunditat dels fenòmens corpusculars i ondulatoris, la disputa es va cloure a favor dels partidaris de la imatge ondulatoria de la llum.

Tanmateix, no és fins les darreries del segle XIX quan es llança la hipòtesi que la llum podria ser una ona electromagnètica. Poc temps després, els experiments de Hertz corroboraven aquesta hipòtesi. Aparentment, el problema de la naturalesa de la llum restava resolt.

## Els experiments de Hertz i l'estrany fenomen

En els seus experiments, Hertz carregava elèctricament dues esferes metàl·liques unides a unes barres fins que l'excés de càrrega produïa una espurna entre els extrems de les barres. A una determinada distància situava un anell metàl·lic obert i observava que es generaven espurnes en l'espai buit que separava els dos terminals. La formació de les espurnes en els dos sistemes tenia lloc amb la mateixa freqüència, la qual cosa feia suposar que el camp electromagnètic que havia



Instruments usats per Hertz per a produir i detectar ones electromagnètiques.

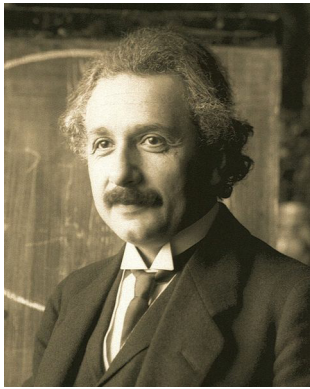
produït la primera espurna s'havia propagat per l'espai i havia donat lloc a la segona espurna.

Per observar millor l'espurna Hertz, va posar l'anell a les fosques i això va produir una disminució en la seua intensitat. La interpretació que en va donar va ser que l'absorció de llum per l'anell facilitava el bot de l'espurna, però, tot i que havia publicat resultats, Hertz no va explicar aquest fenomen. Investigacions posteriors del mateix fenomen, dutes a terme per altres científics,

### Una crisi en la física

La solució al problema no la donarien els investigadors de renom que treballaven als grans centres de recerca, sinó un jove desconegut que treballava com a revisor de patents i que coneixia amb detall els problemes científics d'actualitat, Albert Einstein. En un dels articles de 1905, Einstein va proposar que es podia donar compte de l'efecte fotoelèctric, si es considerava que l'energia de la llum no es distribueix per tot l'espai com ho fa una ona, sinó que es concentra en paquets indivisibles d'energia, als quals va anomenar *quàntums*. Malauradament, la hipòtesi d'Einstein recordava al model corpuscular de la llum, defés per científics del segle XVII i XVIII, però completament abandonat a favor del model ondulatori en el segle XIX.

Conscient del caràcter controvertit de la hipòtesi, Einstein va introduir la proposta amb gran prudència: en cap moment va parlar de partícules



Albert Einstein (1879-1955)

de llum. És més, Einstein va defensar el seu punt de vista com a heurístic<sup>1</sup> i en el congrés Solvay de 1911, sis anys després de proposar la hipòtesi del quàntum de radiació, encara indicava: *“insistesc en el caràcter provisional d'aquest concepte [el quàntum de radiació], que no sembla reconciliable amb les conseqüències experimentals de la teoria ondulatoria”*.

La comunitat científica va rebre la hipòtesi d'Einstein amb incredulitat i escepticisme. No els hi faltaven motius. La hipòtesi era contrària al que establia la teoria electromagnètica, que comptava



Participants en el I<sup>r</sup> congrés Solvay, en 1911, amb el tema “radiació i quàntums”.



Participants en el V congrés Solvay, en octubre de 1927, amb el tema principal “Electrons i fotons”. En aquest congrés s'establiren les bases de la moderna teoria quàntica.

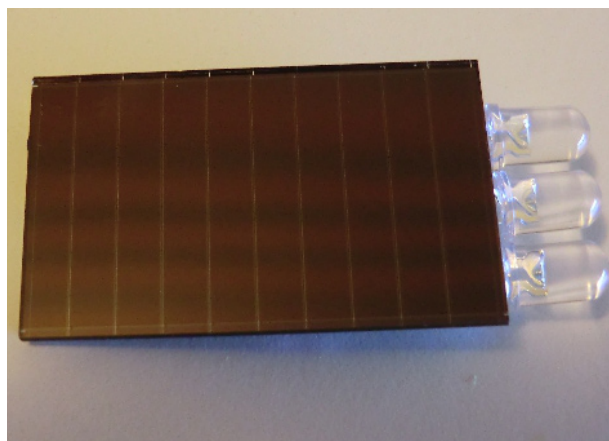
amb més de 40 anys de resultats positius. Einstein estava just en l'extrem contrari, no tenia mesures empíriques que confirmaren allò que defenia. A més, l'abast de la hipòtesi no es limitava a la llum, sinó que afectava a tota la física com a disciplina: l'acceptació de la idea que l'energia estava concentrada en paquets invalidava l'ús del càlcul diferencial i integral, instruments fonamentals en el desenvolupament de la física.

El rebuig a la hipòtesi d'Einstein va durar quasi 20 anys i es va donar tant en l'àmbit acadèmic com en situacions públiques. Així, el 1913, en ser proposat Einstein com a membre regular de l'Acadèmia Prussiana de Ciències, Max Planck, Walther Nerst i Heinrich Rubens indicaven:

*“Els sotasignats, membres de l'Acadèmia, tenen l'honor de proposar el Dr. Albert Einstein, professor ordinari de física teòrica de l'Institut Politècnic Federal de Zuric, per a la seua elecció com a membre regular de l'Acadèmia [...]. En resum, pot afirmar-se que, entre els problemes importants que tant abunden en la física moderna, és difícil trobar-ne cap en què Einstein no adopte una posició notòria. El fet que alguna vegada no encerte el blanc en les seues especulacions, com per exemple, la hipòtesi sobre els quàntums de llum, no ha de ser esgrimit en contra seua”*.

### Resultats favorables i adhesions

Els primers resultats experimentals sòlids sobre l'efecte fotoelèctric es van obtenir el 1915, quan Robert A. Millikan, després de 10 anys d'un treball rigorós i meticulós, encaminat a reafirmar la naturalesa ondulatoria de la llum, va demostrar la validesa de l'equació proposada per Einstein en l'article de 1905. Però, a pesar de l'adequació dels resultats experimentals a la llei d'Einstein de l'efecte fotoelèctric, Millikan afirmava: *“l'equació fotoelèctrica d'Einstein [...] sembla predir exactament en tots els casos els resultats observats [...] però la teoria semicorpuscular, mitjançant la qual Einstein va arribar a la seua equació, sembla completament insostenible”*.



Plaques fotoelèctriques connectades a 3 LEDs per a il·luminació.



Conferencia de Solvay, 2011. Fotografia: EL PAÍS.

“ La prova definitiva a favor dels quàntums la va proporcionar Arthur Compton, el 1923. L’explicació de l’efecte Compton va suposar la ràpida acceptació de la idea del quàntum de radiació com a partícula, que el 1926 rebria el nom de fotó.

Aquesta posició continuava sent generalitzada el 1919, i així ho reconeixia Einstein quan afirmava: *“Ja no dubte més de la realitat dels quàntums de radiació, encara que estic completament sol en aquesta convicció”*. Fins i tot, l’any 1921, Einstein va ser guardonat amb el premi Nobel *“pels serveis a la física teòrica i especialment pel descobriment de la llei de l’efecte fotoelèctric”*, però res no s’hi diu dels quàntums de llum.

La prova definitiva a favor dels quàntums la va proporcionar Arthur Compton i el seu equip el 1923, quan treballaven en una línia d’investigació que tenia com a objectiu demostrar que els raigs X eren un tipus de radiació electromagnètica i que, per tant, tenien el mateix comportament que la llum visible.

Tanmateix, quan van estudiar la dispersió dels raigs X en xocar contra una superfície de grafit, van veure que el seu comportament se separava clarament de l’esperat. La radiació dispersada tenia una freqüència diferent a la de la radiació incident i, a més, s’hi detectaven també electrons. Compton va suggerir que es podia donar compte d’aquests resultats si es considerava la llum com un feix de partícules. Sota aquesta hipòtesi, quan els raigs X interaccionen amb el grafit es produeix una col·lisió, semblant a la de dues boles de billar, entre un quàntum de radiació i un electró del grafit. Com a resultat de la col·lisió, l’electró absorbeix l’energia del quàntum i ix dispersat emetent, a més, un nou quàntum de radiació, diferent al quàntum

incident. S’explica així la presència dels electrons i d’una radiació diferent a la incident.

L’explicació de l’efecte Compton va suposar la ràpida acceptació de la idea del quàntum de radiació com a partícula, que el 1926 rebria el nom de *fotó*. Tot això a pesar d’algunes reticències entre les quals destaca la protagonitzada per Niels Bohr, Hans A. Kramers i John C. Slater i que va quedar plasmada a l’article *“La teoria quàntica de la radiació”* de 1924 en què continuaven rebutjant els fotons. Finalment, nous resultats experimentals demostraren un desacord profund amb les previsions de Bohr, Kramers i Slater.

#### Un problema obert

Acceptada l’existència del fotó, la polèmica estava lluny de considerar-se tancada. Existien dos models diferents per a la interpretació dels fenòmens lluminosos, ambdós absolutament necessaris però completament contradictoris entre si. Les paraules iròniques de William L. Bragg il·lustren perfectament la situació: *“Els físics usen la teoria ondulatoria dilluns, dimecres i divendres, i la teoria corpuscular dimarts, dijous i dissabte”*. La superació d’aquest problema va dur a l’establiment de la moderna teoria quàntica, el desenvolupament de la qual encara continua.



1. Solució no rigorosa, aconseguida per tempteig, amb validesa exclusivament empírica.