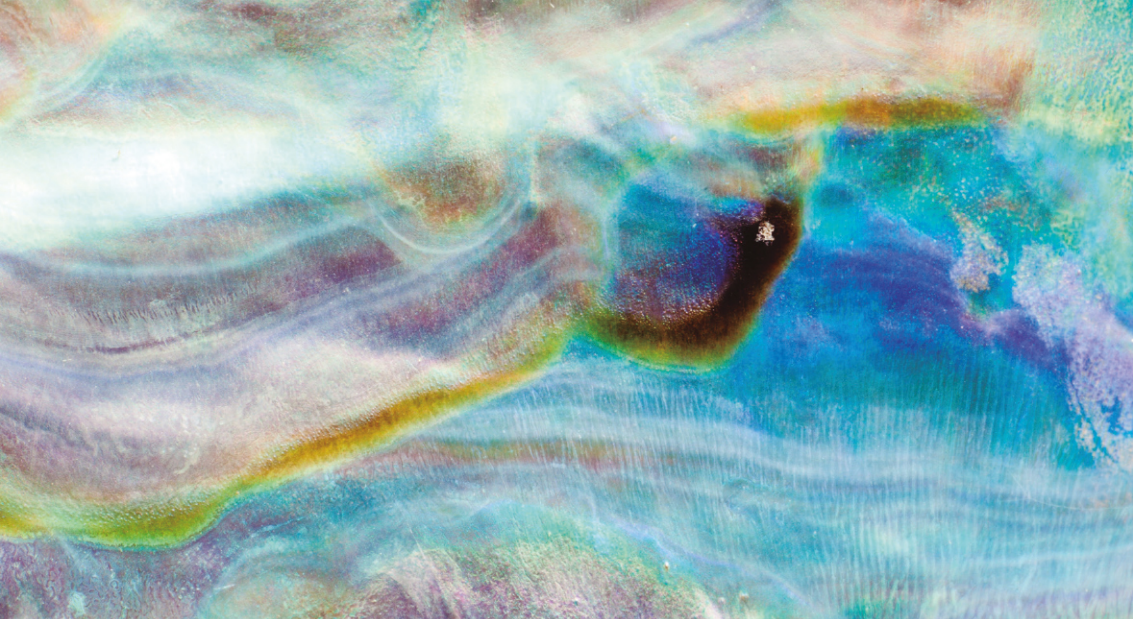




Pere Serra Coromina

Tots els colors de l'Univers

**Premi Joan Lluís Vives al millor llibre
de ciència i tecnologia 2025**



Tots els colors
de l'Univers

Pere Serra Coromina

Tots els colors de l'Univers



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Edicions

Collecció
Catàlisi

I així com la mera ciència humana
és capaç de dividir un raig de llum i
d'analitzar-ne la composició...

CHARLES DICKENS,
Una història de dues ciutats

Sumari

<i>Preludi</i>	13
Capítol 1. Una història de dos científics	19
Capítol 2. <i>Experimentum crucis</i>	37
Capítol 3. «... si hi pot haver colors en la foscor»	51
Capítol 4. La doble escletxa	71
Capítol 5. Qüestió de distància.	89
Capítol 6. Una mirada penetrant	113
<i>Epíleg</i>	135
<i>Bibliografia</i>	143

Aquesta és la història d'un descobriment inusualment llarg.

Des que se'n van obtenir les primeres evidències fins que es va donar per completat —si és que això es pot fer mai del tot— van passar dos segles i mig, una durada molt superior a la de la majoria de descobriments científics, que rarament superen l'espai d'una vida. En el transcurs d'aquells anys, la troballa anà prenent forma progressivament, com els esquelets que els paleontòlegs componen a partir dels fragments provinents dels registres fòssils. I igual que ocorre amb la paleontologia, durant el procés s'alternaren períodes en els quals les evidències se succeïen l'una rere l'altra amb temporades de calma i apatia.

Però quan anem a buscar les eines emprades per fer sortir el descobriment a la llum, ja no trobem les paletes i els cisells amb què furguen la terra els paleontòlegs, sinó un bon grapat d'experiments de les menes més diverses, els resultats dels quals aportaren les peces imprescindibles per bastir la descoberta.

Alguns d'aquells experiments foren producte de l'atzar; altres, d'una estratègia planificada amb detall. N'hi hagué que naixeren d'una idea feliç i altres d'un raonament elaborat i complex. Hi va haver també el fruit d'algun prejudici i un experiment inspirat per les estrelles. I algú n'imaginà un que mai no arribà a realitzar, mal que l'hauria encertat de ple. Així mateix, n'hi hagué que caigueren en l'oblit i n'hi hagué que adquiriren fama immediatament; i fins n'hi va haver un que el seu autor ocultà entre plects i més plects de paper per temor d'una crítica despietada.

Els experiments es dugueren a terme en laboratoris de recerca i en estances privades, en institucions acadèmiques i en palaus luxosos, en cambres fosques i en jardins assolellats; i els portaren a cap investigadors professionals, professors universitaris, aristòcrates ociosos i científics aficionats de diferents orígens.

Aquesta és, en realitat, la història de tots aquells experiments.

Preludi

El diagrama de l'espectre de radiació electromagnètica és, junt amb la taula periòdica dels elements, un dels pòsters més habituals en les aules de ciència i laboratoris d'arreu del món (a la xarxa se'n poden trobar exemples per a tots els gustos). Per bé que el gràfic admet múltiples configuracions, la versió més popular consisteix en la representació de dues escales rectilínies paral·leles on es mostra la freqüència¹ d'oscil·lació del camp electromagnètic en una i la corresponent longitud d'ona² en l'altra. Els valors extrems de les escales no estan ben determinats, de manera que acostumen a variar en funció de les preferències del seu creador. En tots els casos, però, l'abast és tan gran que s'han de presentar sempre en escala logarítmica, és a dir, les marques de graduació es disposen amb un espaiat constant entre potències de 10 consecutives, en proporció geomètrica: 1, 10, 10^2 , 10^3 , 10^4 , etc.

Per regla general, les escales estan organitzades en seccions, de mides diferents les unes respecte de les altres, etiquetades amb el nom de la radiació a què correspon cadascuna: ones de ràdio, radiació infraroja, llum visible, etc. Sovint el diagrama s'acompanya de figures que en complementen el contingut amb informació de caire més visual. Així, és fre-

¹ La freqüència és la magnitud que mesura el nombre d'oscil·lacions que el camp electromagnètic de la radiació experimenta per unitat de temps. La seva unitat en el sistema internacional és el hertz (Hz). El període de l'oscil·lació —el temps necessari perquè el camp experimenti una oscil·lació completa— és l'invers de la freqüència. Per això, $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$.

² La longitud d'ona correspon a la distància que una ona recorre al llarg d'un període d'oscil·lació. Per tant, la freqüència i la longitud d'ona estan relacionades per mitjà de la velocitat de propagació, que en el cas de la radiació electromagnètica és la velocitat de la llum: el producte de la longitud d'ona per la freqüència és igual a la velocitat de propagació. Com en qualsevol altra distància, en el sistema internacional la longitud d'ona es mesura en metres (m).

qüent mostrar-hi objectes de dimensions similars a les longituds d'ona, els quals ajuden l'observador a fer-se ràpidament una idea de com són de grans o de petites aquestes longituds; o també s'hi afegeixen imatges d'aplicacions pràctiques de la radiació associada a cada secció. Un cop d'ull ràpid a la xarxa permet adonar-se que les possibilitats són inesgotables: s'hi poden trobar des d'espectres d'una austeritat espartana fins a *collages* veritablement embafadors.³

En les representacions més habituals de l'espectre, en què la freqüència s'ordena en progressió creixent, la part més baixa de l'escala l'ocupen les ones de ràdio (en algunes versions l'extrem final es considera com una secció a part, la de les microones). El rang de longituds d'ona de les ones de ràdio és immens, des de milers de quilòmetres fins a pocs mil·límetres. Per això és comú decorar la secció amb imatges d'objectes de grandàries diverses: línies elèctriques, edificis, figures humanes o petits animals, les mides dels quals casen bé amb la forquilla de longituds d'ona de la secció, les úniques de dimensions d'escala humana. Pel que fa a les aplicacions, ens trobem de ple en el reialme de les telecomunicacions.

El final de les ones de ràdio —de les microones, si es vol— marca el començament de la regió infraroja de l'espectre. Aquí penetrem al món microscòpic: les longituds d'ona abracen des de la mida del forat d'una agulla de cosir fins a la d'un bacteri més aviat petit. La radiació infraroja l'associem habitualment als fenòmens tèrmics, ja que a les temperatures que experimentem a la Terra els cossos emeten principalment aquesta mena de radiació; es pot dir que, de fet, vivim tothora submergits en un oceà de radiació infraroja.

Per sobre de l'infraroig trobem la llum visible. En comparació amb les altres seccions de l'espectre, la franja que li correspon és tan estreta que

³ Un dels exemples més impressionants és el *Chart of electromagnetic radiations*, editat l'any 1944 per The Welch Company; una filigrana atordidora que sembla un retaule gòtic confeccionat per un il·lustrador de còmics. Val la pena anar a buscar-lo.

en les escales de freqüència i longitud d'ona seria impossible de veure si no fos perquè en el diagrama se la representa sempre a part, ben ampliada. Encara que sembli mentida, en un interval tan reduït de valors s'arreglaren tots els colors purs que els nostres ulls perceben, els quals, d'acord amb les sensacions que ens produeixen, hem indexat amb els noms de vermell, taronja, groc, verd, blau i violat. Els colors compostos (marró, morat, blanc, etc.) provenen de la superposició d'algunes d'aquestes tonalitats pures o de totes.

A mesura que seguim augmentant en freqüència (disminuint en longitud d'ona), després de la llum visible entrem en la regió ultraviolada de l'espectre, amb longituds d'ona de l'ordre de la mida dels virus i, per la banda baixa, de proteïnes més aviat grans, com ara els anticossos. A pesar que els ulls dels vertebrats generalment no responen a l'ultraviolat, hi ha força insectes que poden veure'l, si més no les freqüències més properes al visible. En el cas dels humans, l'efecte més evident de l'ultraviolat és el bronzejat que experimenta la pell després de l'exposició continuada a la radiació solar.

Més enllà de l'ultraviolat descobrim els raigs X. Les seves longituds d'ona s'estenen des de la mida de les molècules fins als àtoms. No cal dir que si a alguna cosa associem els raigs X és, amb tota seguretat, a les radiografies mèdiques, una prova diagnòstica per la qual qui més qui menys ha passat en alguna ocasió al llarg de la vida.

En l'últim tram de l'espectre, a les freqüències més elevades, trobem els raigs gamma. Tenen longituds d'ona des de la mida dels nuclis atòmics fins allà on vulguem de petites. Al capdavant, en ser a l'extrem final de l'espectre, no se sap mai fins on es pot arribar. La radiació gamma l'associem gairebé sempre a l'energia atòmica, ja que és un producte típic de les desintegracions nuclears.

Totes aquestes radiacions, des de les ones de ràdio fins als raigs gamma, són en essència la mateixa cosa: un camp electromagnètic oscil·lant que es propaga en l'espai. Totes són, doncs, ones electromagnètiques,

sense altra diferència entre si que la freqüència amb què oscil·la el camp. La diferència, però, és suficient per fer que es manifestin de les maneres més variades i que, per tant, les bategem amb noms diversos; la diferència és de fet suficient per fer que unes radiacions les emprem per comunicar-nos a llargues distàncies i unes altres per fer visible l'interior de la nostra anatomia, que amb unes ens escalfem des que vam aprendre a dominar el foc fa mil·lennis i amb unes altres siguem capaços d'eliminar patògens d'ençà que, tot just fa quatre dies, vam descobrir l'existència dels gèrmens; i, naturalment, la diferència fa que, a pesar que la majoria no les puguem veure, hi hagi unes poques, unes poquíssimes radiacions que de tant en tant ens proporcionin l'espectacle de l'arc de Sant Martí quan el sol ens visita després d'una estona de pluja.

L'arc de Sant Martí és, amb tota certesa, la manifestació més clara i evident de l'existència de l'espectre electromagnètic i, per tant, la primera que vam apercebre. De ben segur que el fenomen ja fascinava els homínids que ens van precedir en la contemplació del cel centenars de milers d'anys abans de l'eclosió de la nostra espècie. Però, encara que des de ben antic vam intentar trobar-hi una explicació —en tenim constància en els textos que han sobreviscut al pas del temps—, no va ser fins al segle XVII que, en un experiment llegendari dut a terme en una cambra a les fosques, un jove estudiant universitari anglès aconseguí identificar la clau que permetria començar a desxifrar aquella realitat oculta.

A la descoberta de l'espectre cromàtic la va seguir la de la radiació infraroja, després que un astrònom aficionat experimentés durant les observacions estel·lars una sensació d'estranya incomoditat a l'ocular del telescopi. I en un tres i no res, un científic amb una visió de la naturalesa una mica massa quimèrica es convencé que a l'altre extrem de l'arc iris, més enllà del color violat, hi havia d'haver una tercera radiació que fes de contrapunt a l'infraroig. I desvelà així l'existència de la radiació ultraviolada.

Les ones de ràdio foren descobertes en la solitud d'una sala de conferències sense públic, però tan bon punt es va donar a conèixer la troballa,

la notícia arribà ràpidament a les audiències de cap a cap del planeta. Poc després, en els jardins d'un palauet del nord d'Itàlia, aquelles ones inauraven una nova era en el món de les comunicacions.

Pels volts de les mateixes dates, un professor universitari observava, gairebé per casualitat, una resplendor que no sabia com explicar en una placa fluorescent. Els experiments que realitzà per tal de comprendre el fenomen el portaren a descobrir un nou tipus de radiació que semblava tenir el poder de penetrar-ho tot, els raigs X. I cinc anys més tard, un científic poc convencional trobà un efecte semblant amb una radiació misteriosa provinent d'un nou material radioactiu; eren els raigs gamma.

A tots aquests experiments caldria afegir-ne d'altres que, sense desembocar necessàriament en la descoberta d'alguna radiació concreta, van marcar el rumb que ho feu possible i ajudaren alhora a prendre consciència que totes aquelles radiacions, des de les ones de ràdio fins als raigs gamma, formaven part d'una mateixa cosa, del mateix espectre. Un descobriment així, realitzat al llarg d'un seguit d'experiments que s'entrellacen els uns amb els altres, amb èxits i fracassos, requereix temps, és clar. Un temps que hem acabat per comptar en centenars d'anys i que, travesant èpoques i geografies diverses, conforma una història digna de ser explicada.

CAPÍTOL 1

Una història de dos científics

De com un científic anglès que no en sabia gaire, de matemàtiques, va idear el concepte de camp electromagnètic; i de com un altre científic —un escocès que sí que en sabia— va desenvolupar, gràcies a això, una teoria que permetia explicar tots els fenòmens elèctrics i magnètics coneguts en aquell temps; i de com es va poder predir d'aquesta manera l'existència de les ones electromagnètiques.

El 28 de maig de 1850, Charles Dickens, que llavors ja era un novel·lista de renom, va fer arribar una curiosa carta al número 21 del carrer Albemarle de Londres, seu de la Royal Institution.¹ La carta començava amb la salutació següent:

Distingit senyor,

Em prenc la llibertat d'adreçar-me a vós com si us conegués en persona; confiant que puc donar per fet que excusareu l'atreviment.

¹ La Royal Institution va ser fundada l'any 1799 amb una orientació clara cap a les aplicacions de la ciència, en contraposició a la recerca més fonamental que es practicava a la Royal Society.

El destinatari que Dickens no tenia el plaer de conèixer era Michael Faraday, director del laboratori de la institució, i tot i que aquelles línies inicials no eren altra cosa que una simple cortesia, el text sí que contenia, més endavant, un veritable atreviment: l'escriptor sollicitava al científic les notes de les seves darreres conferències.

Feia poc que Dickens havia engegat un nou projecte, *Household Words*, una revista setmanal de baix cost on es publicaven des d'articles d'interès general fins a novelles per entregues. Impressionat per l'èxit que sempre tenien les conferències de Faraday, aptes per a tots els públics, Dickens va pensar que seria adient, d'acord amb la vocació formativa de la revista, incloure-hi petits relats basats en els temes de les xerrades, habitualment explicacions científiques de fenòmens domèstics, com ara la química d'una flama o el fonament termodinàmic d'una tetera. Vet aquí, doncs, que el novel·lista es decidís a demanar en préstec al científic els apunts que havia fet servir per preparar les conferències.

En un temps en què la còpia de qualsevol document que no anés destinat a la impremta s'havia de fer a mà, era extremament rar que algú conservés duplicats d'unes notes preparatòries. Per això la petició de Dickens era d'una gosadia poc usual: si acceptava, Faraday havia d'enviar-li els originals; i això va fer.

Tots dos, Dickens i Faraday, compartien un mateix afany per arribar al gran públic, especialment a la gent de classe treballadora, bona part de la qual havia estat pobrament escolaritzada i vivia en unes condicions que, quan no eren miserables, eren si més no precàries. En unes narracions farcides de sentimentalisme i personatges extravagants, Dickens denunciava les desigualtats que la societat victoriana tolerava amb indiferència. I gràcies a la justa proporció de sàtira i melodrama, l'escriptor va aconseguir triomfar no només entre la classe mitjana instruïda, sinó també —i aquí radicava la novetat— entre els obrers analfabets que pagaven mig penic perquè algú els llegís la propera entrega d'*Oliver Twist*. Per la seva banda, Faraday, amb les conferències que des de 1823 impartia a la

Royal Institution, havia dut l'art de la comunicació a un nivell desconegut fins al moment. Fent ús d'un llenguatge senzill i proper, i d'una munió d'experiències demostratives, el científic explicava a la gent del carrer la ciència que s'amagava al darrere dels fets més quotidians.

L'interès tant de Dickens com de Faraday per proporcionar accés a la cultura i al progrés a una classe treballadora ignorada fins llavors permet entendre a hores d'ara que el segon acceptés sense reserves cedir al primer els preuats originals de les notes de les conferències. L'11 de desembre d'aquell 1850, amb alguns «relats científics» ja publicats a *Household Words*, Dickens va enviar una altra carta a Faraday, aquest cop acompanyada d'un obsequi —un llibre— com a mostra d'agraïment. A pesar que el text de la carta no n'aclareix el títol, per la data en què fou enviada tot fa pensar que l'obsequi era un exemplar de la primera edició de *David Copperfield*, considerada avui una de les obres mestres de l'autor.

Si no hagués estat per aquest episodi, Dickens i Faraday, amb activitats tan diferents l'un de l'altre, segurament no haurien intercanviat ni una paraula al llarg de les seves vides. Però no fou així i és una sort, ja que s'ha de reconèixer que la història té un encant especial. Sobretot quan descobrim que la mateixa figura de Faraday sembla sortida de les planes d'una obra de Dickens. N'hi ha prou de donar un cop d'ull a la seva biografia per adonar-nos que no ha existit científic més digne de protagonitzar una novel·la dickensiana que Michael Faraday. És ben bé com si, en demanar-li les notes de les conferències, Dickens s'hagués estat adreçant des de la realitat a un dels seus propis personatges de la ficció.

Procedent del nord d'Anglaterra, la família de Faraday s'havia establert a Londres amb pocs mitjans uns mesos abans del naixement del futur científic. Fill d'un ferrer de salut fràgil, el petit Michael va passar la infantesa entre el carrer i l'escola, de la qual ell mateix ens feu saber que va rebre una «educació de la mena més ordinària, consistent en poc més que uns rudiments de lectura, escriptura i aritmètica». I quan ja es trobava a tocar

de l'adolescència, l'empitjorament de la salut del pare i la pujada del preu dels aliments va fer que el 1804, amb només tretze anys, hagués de deixar l'escola i s'hagués de posar a treballar per ajudar amb el seu salari a mantenir la família. Fou així com el jove Michael es va incorporar al taller d'un llibreter i enquadernador francès que s'anomenava George Riebau.

(L'origen humil, l'escolarització mediocre, les dificultats econòmiques, l'ingrés al món laboral a una edat encara tendra, un amo poc habitual —llibreter, enquadernador i francès—: a la recepta dickensiana no hi falta ni un sol ingredient. Ara, per anar bé, la narració hauria de continuar amb una història de superació personal que posés de manifest les virtuts del protagonista.)

Al començament, la feina consistia únicament a repartir els diaris; una tasca simple, escaient a un adolescent sense a penes estudis ni experiència. Però aviat la vivacitat del jove va cridar l'atenció de Riebau. Pensant que Faraday podria arribar a convertir-se en un bon artesà, el francès li va proposar que fos el seu aprenent d'enquadernador. Ningú hauria pogut imaginar aleshores les repercussions d'aquella oferta. A més de posar-los les cobertes, al llarg dels anys Faraday es dedicà a llegir tants llibres com va poder d'entre els que passaren per les seves mans, de qualsevol gènere i temàtica. Ràpidament descobrí que els que més li agradaven eren els de ciència i, encisat pels experiments que els llibres descrivien, habilità un racó del taller d'enquadernació per instal·lar-hi un petit laboratori casolà on poder reproduir-los. I per tal de completar el programa d'aprenentatge que s'havia imposat, assistí a tantes conferències com li fou possible, cada cop de científics més prestigiosos. Malauradament, la crua realitat de l'era victoriana tard o d'hora s'havia d'imposar i li havia de demostrar que certes pretensions no eren a l'abast d'un simple aprenent d'enquadernador.

L'hivern de 1812, Humphry Davy, el cèlebre químic de Cornualla, havia d'impartir a la Royal Institution —a quatre passes de l'establiment de Riebau— un seguit de lliçons destinades al públic no expert. Res hauria