fa 100 anys

La radioactivitat i el Nobel de Física de 1903*

Xavier Roqué†
Universitat Autònoma de Barcelona

Introducció

El desembre de 2003 farà cent anys de la concessió del Premi Nobel de Física a Henri Becquerel, Pierre Curie i Maria Sklodowska Curie pel descobriment de la radioactivitat. El premi s'havia concedit en dues ocasions anteriorment, el 1901 a Wilhelm Röntgen pels raigs X, i el 1902 a Pieter Zeeman i Hendrik A. Lorentz per l'efecte Zeeman, però ni la popularitat dels raigs de Röntgen ni la magnificència d'Alfred Nobel havien aconseguit dotar el premi de la seva aura de prestigi i excel·lència. El premi de 1903 va contribuir molt a canviar aquesta situació, fins al punt que, amb permís de Becquerel, membre d'una coneguda nissaga de científics parisencs mancada de *glamour* periodístic, es pot dir que el Nobel va fer tant pels Curie com els Curie pel Nobel. La història dels Curie i el radi va captivar el públic, especialment els nombrosos lectors de premsa. Una parella de científics anònims, parella també a la vida real, havia descobert —en condicions miserables i gràcies a la seva perseverança— una font aparentment inesgotable d'energia: aquest era el teló de fons comú a lectures divergents del cas, que van respondre a estereotips ideològics i socials abans que a la realitat de la parella i les seves recerques. Així, mentre que els diaris conservadors van assumir que la senyora Curie havia tingut un paper crucial com a auxiliar del seu marit (tant a casa com al laboratori), per als mitjans progressistes, en canvi, la col·laboració científica dels Curie anunciava un futur d'igualtat per a homes i dones. Pel que fa al radi, el «metall conjugal», mai un metall no havia adquirit tanta notorietat en tan poc temps, i les seves propietats quasimàgiques el van dur a protagonitzar revistes musicals i festes de l'alta societat.[1]

Resulta sorprenent, doncs, que el nou element no fos esmentat pel Comitè de Física en la justificació del premi. Oficialment, Becquerel va rebre la meitat de les 100.000 corones de la dotació «pel descobriment de la radioactivitat espontània» i els Curie l'altra meitat «per les seves recerques sobre els fenòmens radiatius descoberts per H. Becquerel». Per què es va ignorar el radi i el poloni? Inicialment, el Comitè de Física havia acordat premiar els Curie «pel seu descobriment dels elements espontàniament radioactius», però a instància del Comitè de Química va preferir no tancar la porta a un futur Nobel de Química pel «descobriment d'un element tan singularment remarcable com el radi». És possible que en la marxa enrere del Comitè de Física influís també el fet que, el 1903, encara no s'havia pogut aïllar el radi i hi havia qui dubtava de la seva existència. En tot cas, la principal beneficiada del canvi va ser Marie Curie, que el 1911 va rebre un segon Nobel, el de Química, pel descobriment del radi i el poloni, l'aïllament del radi i l'estudi de la naturalesa i dels compostos d'aquest element. Aquest episodi evidencia la naturalesa ambigua d'una disciplina que va créixer en terra de ningú entre la física i la química, la qual cosa explica no tan sols el doblet de Curie, sinó també que Ernest Rutherford rebés el 1908 el Nobel de Química pel descobriment «de la desintegració dels elements i la química de les substàncies radioactives».

No deixa de ser paradoxal que Marie Curie, sens dubte la persona que va promoure més enèrgicament l'estudi de la radioactivitat, estigués a punt de quedar exclosa del premi de 1903 a causa de la complexitat del procés d'elecció. Cada any, abans de l'1 de febrer, havien d'arribar a Estocolm les propostes d'un grup selecte de nominadors que incloïa els membres de la Reial Acadèmia de Ciències sueca, els cinc membres del Comitè Nobel de Física, els guanyadors d'edicions anteriors, els catedràtics de Física de les universitats nòrdiques i un petit nombre de nominadors *ad hoc* renovats cada any. El procés de deliberació del comitè i de la secció de Física i Química de l'Acadèmia s'allargava fins a novembre, quan, en sessió plenària de la institució, s'escollia el guanyador.

Dels tres premiats, Becquerel era el candidat més sòlid perquè indiscutiblement havia estat el primer d'observar la nova radiació emesa per les sals d'urani. En canvi, la inclusió de la parella que havia introduït el ter-

* Aquest treball s'ha dut a terme dins el marc del projecte BHA2000-0434, *La cultura material de la ciència.*

† **Xavier Roqué** (Barcelona, 1965) és doctor en Història de la Ciència de la Universitat Autònoma de Barcelona (1993) i professor titular d'Història de la Ciència en aquesta mateixa universitat, on dirigeix el Centre d'Estudis d'Història de les Ciències (http://www.uab.es/cehic/).

[1] CRAWFORD (1984), pàg. 193-195.

me *radioactivitat* i havia descobert el radi era negociable, com mostra el registre de nominacions. Des del 1974, l'any que la Fundació Nobel va obrir els seus arxius, sabem que Becquerel va rebre una nominació per al Nobel de Física el mateix any de la seva creació, i que el seu nominador, Marcelin Berthelot, va tornar a nominar-lo en solitari el 1902 i el 1903. També Pierre Curie va ser nomenat en solitari per al premi de 1902, però aquell any Becquerel i P. Curie van rebre dues nominacions més, en tots dos casos per compartir el premi amb Marie Curie. El 1903, però, Becquerel i Pierre Curie van ser nominats conjuntament per quatre membres de l'Acadèmia de Ciències francesa, en un gest que no resulta fàcil de comprendre atesa la familiaritat d'algun dels signants de la carta amb el treball de Marie Curie, i sobre l'autenticitat del qual hi ha dubtes.[2] En assabentar-se per Gustav Mittag-Leffer, el prestigiós matemàtic membre de l'Acadèmia sueca, que només ell havia estat nominat per al premi, Pierre Curie va escriure, el 6 d'agost de 1903: «Si és cert que sóc un candidat seriós al premi, voldria que se'm considerés juntament amb Madame Curie en relació amb les nostres recerques sobre els cossos radioactius.» Afortunadament, una nominació del patòleg Charles Bouchard —que com a membre estranger de l'acadèmia tenia drets de nominació permanents— va permetre al Comitè de Física fer justícia, sens dubte en la decisió retrospectivament més encertada de la seva curta història. P. Curie va argumentar també a Mittag-Leffer que premiar el matrimoni podria ser «més satisfactori, des d'un punt de vista artístic». No podia imaginar quanta raó tenia!

Becquerel i la fluorescència de les sals d'urani

Quan Henri Becquerel (1852-1908), nét i fill de científics i professor del Museu d'Història Natural de París, va comunicar a l'Acadèmia de Ciències francesa el març de 1896 que les sals d'urani emetien una nova radiació invisible i penetrant, no va impressionar el miler llarg de físics que hi havia en aquells moments a tot el món. Dos mesos abans, Röntgen havia anunciat el descobriment dels raigs X i el ressò de la notícia era lluny d'apaivagar-se. De fet el descobriment de Becquerel s'havia produït arran de la presentació dels treballs de Röntgen a París, i després que Henri Poincaré suggerís que els raigs X podien tenir el seu origen en la fluorescència dels tubs de raigs catòdics.

Becquerel va descobrir la nova radiació en examinar els efectes d'una sal fluorescent d'urani sobre una placa fotogràfica. La història, prou coneguda, s'inscriu en els mites dels descobriments accidentals: el dimecres 26 i el dijous 27 de febrer de 1896 París era núvol i el nostre home va haver de desar en un calaix les plaques fotogràfiques Lumière embolicades amb paper negre i cobertes amb unes làmines d'una sal d'urani que volia exposar al sol; en revelar les plaques l'1 de març, va sorprendre's que la silueta de la làmina d'urani es retallés nítidament. Becquerel pretenia estudiar els efectes de la fluorescència i per això havia il·luminat intensament els compostos d'urani; però el clima el va ajudar a adonar-se que l'urani era capaç d'impressionar una placa sense haver estat estimulat prèviament, i que el fenomen no tenia res a veure, doncs, amb la fluorescència. El descobriment va ser «afortunat però no accidental», en paraules de Helge Kragh que subscrivim. Becquerel era un expert en fluorescència i és molt probable que sabés, pel seu pare, que Nièpce de Saint Victor havia observat al mateix Museu trenta anys enrere que l'urani presentava una mena de fluorescència persistent; sense oblidar que la manipulació de les sals i les plaques responia a una hipòtesi definida referent a la causa de la radiació X.[3]

Fos com fos, Becquerel va presentar entre febrer i maig de 1896 sis comunicacions a l'Acadèmia sobre els *raigs urànics* (*rayons uraniques*), la tercera de les quals contenia l'observació crucial que els raigs urànics ionitzaven l'aire (el feien conductor).[4] L'acció elèctrica de la radiació oferia, si més no sobre el paper, la possibilitat de quantificar-ne l'estudi. Becquerel va mirar de mesurar l'efecte de la radiació sobre el temps de descàrrega d'electroscopis i electròmetres, amb resultats «grollers». Altres físics van provar-ho al llarg de 1896 i 1897, però ni tan sols William Thomson, Lord Kelvin, un consumat dissenyador i constructor d'aparells de mesura elèctrics, va fer progressos significatius. L'ínfima acció elèctrica de l'urani desafiava la sensibilitat dels electròmetres i la tenacitat dels investigadors. En aquells moments hi havia altres radiacions més dòcils, des dels raigs catòdics fins als mateixos raigs X, i els raigs urànics no constituïen un camp d'estudi prometedor.

Els Curie s'interessen per la radioactivitat

Quan Becquerel va anunciar el seu descobriment, feia quatre anys que Marie Sklodowska (1867-1934) havia arribat a París, procedent de Varsòvia, decidida a estudiar física i matemàtiques a la Sorbona, una de les poques universitats europees que admetien dones. L'estiu de 1895 s'havia casat amb Pierre Curie (1859-1906), un físic format a la Sorbona que treballava a l'Escola Municipal de Física i Química Industrials, i un home excepcional per als estàndards de l'època, perquè no va

[2] HURWIC (1995).

[3] KRAGH (1999), pàg. 30-34.

[4] Henri BECQUEREL, Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, **122**, 559-564 (9 de març de 1896). La primera comunicació de Becquerel, de 24 de febrer, encara pressuposa la il·luminació intensa del compost d'urani (Sur les radiations émises par phosphorescence, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, **122**, 420-421); la segona, de 2 de març, dóna compte de l'accident del calaix (Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, **122**, 501-503).

fer que la seva dona renunciés a una carrera científica. A la fi de 1897, llicenciada i amb una filla de tres mesos (Irène), M. Curie buscava un tema de tesi i va fixar la seva atenció en els raigs urànics, no —com va explicar anys després— perquè es tractés «d'una qüestió completament nova que no comportava cap bibliografia»,[5] sinó molt probablement perquè disposava dels instruments necessaris per mesurar l'*activitat* elèctrica dels raigs de Becquerel, instruments literalment familiars que el mateix Pierre Curie havia dissenyat, patentat i fet construir, tots ells aptes per a la mesura de càrregues molt petites: un electròmetre de quadrants en què el fregament amb l'aire estabilitzava els moviments de l'agulla, i molt especialment l'anomenat *quars piezoelèctric*, un rar aparell basat en el fenomen de la piezoelectricitat, que els germans Pierre i Jacques Curie havien descobert el 1880.

L'elèctrometre de quadrants l'havia concebut William Thomson el 1872 i l'havia comercialitzat hàbilment Thomson, Jenkin & Varley entre les companyies telegràfiques. Era un electròmetre molt sensible, capaç de mesurar diferències de potencial de només 0,01 V. Devia el seu nom a quatre quadrants metàl·lics coplanaris connectats dos a dos en diagonal. Una «agulla» (en realitat una làmina metàl·lica prima) carregada suspesa horitzontalment sobre els quadrants girava sobre el fil de suspensió en aplicar una diferència de potencial entre els quadrants, i s'aturava en el moment que la força elèctrica quedava compensada per la força de torsió. L'angle de torsió es determinava a partir del reflex d'un feix de llum sobre un mirall fixat al fil; per a angles petits, el desplaçament del feix reflectit sobre una escala graduada era proporcional a la desviació angular.

Pierre Curie va ser un dels investigadors que va perfeccionar el disseny original de Thomson, col·locant un segon grup de quadrants sobre l'agulla, cadascun dels elements del qual estava connectat al quadrant situat a sota. L'objectiu era esmorteir el moviment de l'agulla mitjançant la fricció de l'aire entre els quadrants. Segons les especificacions de l'electròmetre Curie, «amb un fil de suspensió de 50 centímetres de longitud i 1/50 de mil·límetre de diàmetre, i una agulla de 6 centímetres de longitud carregada a un potential fix de 50 volts, s'obté, sobre una escala situada a 1 metre, una desviació de 30 centímetres per a una diferència de potencial d'1 volt entre els quadrants».[6] L'agulla oscil·lava 16 segons abans no se'n podia fer la lectura.

Marie Curie, com Thomson, va decidir d'examinar l'urani amb l'electròmetre. S'instal·là en un barracó llegendari per les pèssimes condicions de treball, cedit per l'Escola Municipal de Física i Química Industrials. El 16 de desembre de 1897 en va consignar en un petit quadern les primeres observacions. A la Biblioteca Nacional de França se'n conserven tres, de quaderns dels Curie relacionats amb el descobriment del radi, encara que són massa radioactius per poder-los examinar i els investigadors s'han d'acontentar amb un microfilm o amb la descripció que en va fer Irène Curie el 1955. Els quaderns ens donen accés al laboratori, però, com que no deixen de ser notes esquemàtiques i sovint incompletes, a l'hora de reconstruir el procés de descobriment cal també recórrer a l'examen dels instruments utilitzats per Curie i a fotografies que mostren la disposició dels aparells.[7]

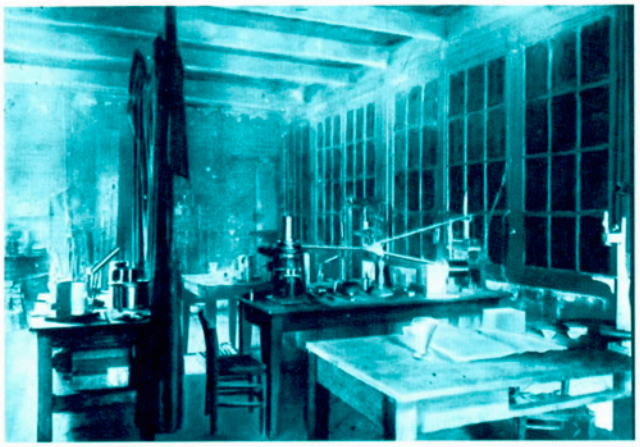

Figura 1: *Imatge de l'interior del barracó de l'Escola Municipal de Física i Química Industrials, a París, on Pierre i Marie Curie van descobrir el radi. Sobre la taula situada en segon terme es pot veure el dispositiu electromètric usat en les investigacions (vegeu fig. 2). L'*HANGAR DE LA DÉCOUVERTE*, enderrocat pocs anys després que s'hi fessin les investigacions, ocupa un lloc preferent en la llegenda dels Curie, perquè les condicions de treball hi eren pèssimes. No hem d'oblidar, tanmateix, que Marie Curie va utilitzar repetidament aquesta imatge per captar fons per a l'Institut du Radium, que des de la inauguració el 1914 va ser un dels laboratoris de radioactivitat més ben dotats del món. ACJC-Archives Curie et Joliot-Curie*

El descobriment del radi

M. Curie prova primer de mesurar la intensitat del corrent. Col·loca una mostra del compost que vol examinar sobre una de les plaques (B) d'un condensador, connectat a una bateria que el manté a tensió constant. Si la substància és *activa*, l'aire entre les plaques esdevé conductor i l'altra placa del condensador (A) es carrega; l'agulla de l'electròmetre, que té un parell de quadrants

[5] CURIE (1923).

[6] C. CHÉNEVEAU, Méthode et appareils de mesure de la radioactivité, *Le Radium*, **1**, 180-186 (1904).

[7] Irène JOLIOT-CURIE, «Les carnets de laboratoire de la découverte du polonium et du radium», apèndix a l'edició francesa de 1955 de CURIE (1923), pàg. 103-124. Ni els quaderns ni les fotografies, però, són del tot transparents i, com qualsevol altra font, s'han d'interpretar amb cautela.

connectats a la placa A, es desvia amb una velocitat proporcional a la intensitat del corrent d'ionització (i, per tant, a l'*activitat* de la substància en qüestió). Es tracta de mesurar el corrent de saturació, el límit al qual tendeix la intensitat del corrent a mesura que augmenta la diferència de potencial entre les plaques. La idea és tan senzilla com impracticable, perquè parlem de corrents de l'ordre de 10^{-12} A. Inspirada pels treballs dels germans Curie, a partir del 20 de gener M. Curie comença a combinar l'electròmetre amb el quars piezoelèctric, un tàndem formidable.

El quars piezoelèctric genera càrregues elèctriques per pressió sobre un cristall de quars. Pierre i Jaques Curie havien descobert, estudiat i batejat el fenomen de la piezoelectricitat en la dècada de 1880. A partir de l'observació que, per a una orientació determinada del cristall, la quantitat d'electricitat (igual, però de signes contraris) que s'acumula sobre dues cares oposades del cristall és proporcional a la pressió exercida, els germans Curie van concebre un instrument que, des de 1885, va produir Bourbouze i posteriorment la Société Centrale des Produits Chimiques.

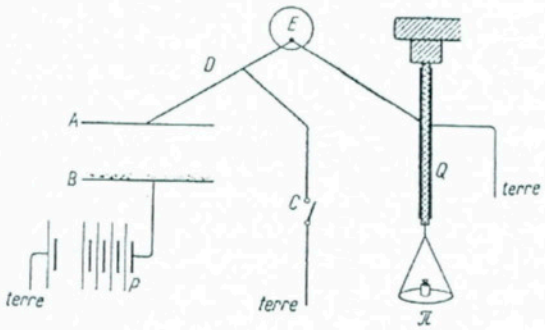

Figura 2: *Esquema del dispositiu electromètric amb què es va descobrir el radi. La substància radioactiva és sobre la placa* B *d'un condensador que es manté a tensió constant mitjançant la pila* p. *La placa* A *està connectada a un dels parells de quadrants de l'electròmetre* E. *L'altre parell de quadrants està connectat al quars piezoelèctric Q. L'activitat de la substància radioactiva es mesura per la intensitat del corrent d'ionització entre les plaques del condensador. Quan l'investigador (normalment M. Curie) està a punt, es tanca l'interruptor* C *i es comença a aplicar el pes a la safata del quars, mirant de mantenir l'agulla de l'electròmetre immòbil (vegeu figura 4). ACJC-Archives Curie et Joliot-Curie*

Aquest és l'instrument, tan precís com delicat a l'hora de manipular, que M. Curie incorpora al dispositiu original. En lloc de mesurar la velocitat de desviació de l'agulla de l'electròmetre, Curie connecta el quars piezoelèctric als dos quadrants lliures de l'electròmetre per tal de neutralitzar l'electricitat que arriba als altres dos quadrants procedent del condensador i evitar, així, que qualsevol diferència de potencial desviï l'agulla de l'electròmetre. El procediment per mesurar la intensitat del corrent d'ionització és el següent: es connecta l'electròmetre al condensador i simultàniament es posa en marxa un cronòmetre i es comença a aplicar pes al quars (a la pràctica, el que es fa és sostenir un pes amb la mà, i deixar-lo anar lentament sobre la superfície que tiba del cristall de quars). Sense perdre de vista el feix lluminós que indica la posició de l'agulla de l'electròmetre, s'allibera el pes gradualment procurant que l'agulla no es desviï. L'equilibri es manté fins que s'aplica al quars tot el pes i resulta impossible generar més electricitat. En aquell instant l'agulla de l'electròmetre es desvia irremissiblement i s'atura el cronòmetre. Un quars calibrat i un cronòmetre permeten saber quanta electricitat s'ha generat en un interval de temps determinat, i mesurar així la intensitat del corrent. Ja es veu que el mètode demana habilitat i destresa, i encara que Curie solia descriure aquesta operació en els termes més impersonals, els seus col·laboradors reconeixien que calia «habituar-se» al mètode abans d'adquirir «el toc de mà necessari per reeixir en aquesta operació». Pocs laboratoris confiaran en aquest mètode, que tan bons resultats donarà en els laboratoris de la nissaga Curie i Joliot-Curie.[8]

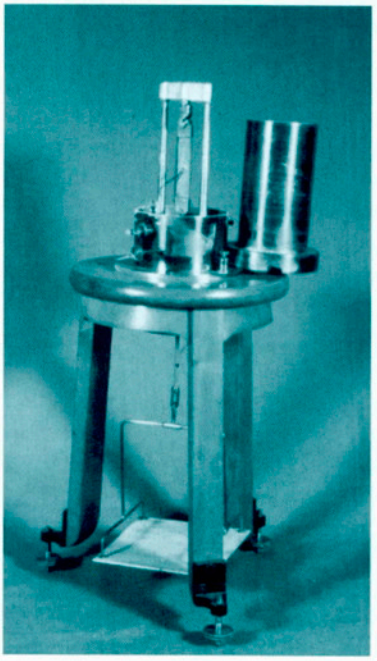

Figura 3: *El quars piezoelèctric. Dissenyat pels germans Pierre i Jacques Curie a partir del seu descobriment del fenomen de la piezoelectricitat, aquest instrument generava petites quantitats ben determinades d'electricitat, per la pressió que un pes dipositat en la safata exercia sobre una làmina de quars tallada de manera adient. Musée Curie-Bénédicte Vincent*

[8] C. CHÉNEVEAU, Méthode et appareils de mesure de la radioactivité, *Le Radium*, **1**, 180-186 (1904), pàg. 182.

A mitjan febrer Curie ha adquirit prou pràctica per iniciar les mesures. La seva intenció és esbrinar si entre els metalls i minerals que li faciliten els col·legues de Pierre a l'Escola i al Museu, n'hi ha cap que tingui la mateixa activitat que l'urani. Els primers metalls examinats (coure, estany, plom, ferro) donen resultats negatius. Però el 17 de febrer una mostra de pechblenda, un mineral d'urani, dóna un corrent més intens que el de l'urani, en igualtat de masses. El resultat és sorprenent perquè, pel fet de ser un compost, la pechblenda conté *menys* urani que la mostra de referència, però Curie prefereix revisar el muntatge experimental abans de treure'n conclusions.

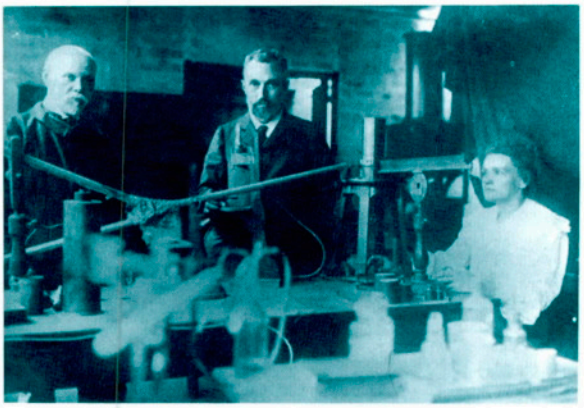

Figura 4: *El dispositiu electromètric dels Curie, acompanyats en la imatge per l'ajudant Pétit. Els tubs metàl·lics que uneixen els diferents components del sistema aïllen els fils conductors. Entre P. Curie i Pétit hi ha la cambra d'ionització que conté la substància radioactiva. M. Curie està a punt per prendre mesures: amb la mà dreta allibera lentament un pes sobre la safata del quars piezoelèctric, amb l'esquerra sosté un cronòmetre, i no aparta els ulls d'una escala graduada sobre la qual es projecta la imatge del feix lluminós procedent de l'electròmetre. Mentre dura la mesura, M. Curie mira de mantenir aquest feix immòbil manipulant el quars. En el moment precís que deixa anar tot el pes sobre la safata, atura el cronòmetre. La lectura combinada del quars (càrrega generada) i el cronòmetre (temps transcorregut) permet determinar la intensitat del corrent d'ionització, directament atribuïble a l'activitat de la substància examinada. ACJC-Archives Curie et Joliot-Curie*

L'estudi sistemàtic de diferents elements i compostos mitjançant el mètode electromètric distingeix el treball dels Curie, i en últim terme és aquí que cal buscar les raons del seu èxit. Les mesures continuen amb altres minerals i aviat condueixen als primers resultats publicables: els minerals de tori són actius, la qual cosa vol dir que el tori comparteix l'activitat de l'urani. Marie ho comunica a l'Acadèmia de Ciències francesa el 12 d'abril, en una nota que registra també les seves sospites que la pechblenda amaga un element desconegut.[9] La recerca d'aquest nou element comença immediatament. El 14 d'abril M. Curie mol 100 g de pechblenda amb un morter.

Pierre Curie se suma a les investigacions i a partir d'aquest moment la seva lletra s'alterna amb la de Marie als quaderns. La parella s'ocupa indistintament de les diferents tasques de recerca i no és possible discernir cap divisió del treball. Tot i això, M. Curie evita la veu passiva en les publicacions conjuntes i distingeix acuradament les contribucions de l'un i de l'altre, una actitud en absolut gratuïta tractant-se d'una dona de ciència, que probablement va contribuir al reconeixement dels seus mèrits.[10]

L'estratègia de concentració que segueixen és simple però laboriosa. La pechblenda és un mineral complex. Per analitzar-lo en els seus elements constituents cal conèixer-ne la química, però els Curie ho desconeixen gairebé tot, de l'element que persegueixen, llevat del fet que és *radioactiu*. L'única manera de seguir-li la pista és atacar químicament la pechblenda per obtenir dues fraccions de composició coneguda i determinar, *a posteriori*, quina de les dues és més activa i conté, doncs, l'element desconegut. Amb l'ajut de Gustave Bémont, cap de pràctiques de química a l'Escola, els Curie repeteixen un cop i un altre el mateix protocol. Combinant la química analítica amb el mètode electromètric concentren un element que no té nom, ni pes atòmic, ni lloc a la taula periòdica. Tot el que en saben, a banda que és molt més actiu que l'urani o el tori, és que «precipita en solució àcida pel sulfur d'hidrogen», que «les seves sals són solubles en àcid i l'aigua les fa precipitar» i que «l'amoníac el fa precipitar completament».[11] La seva confiança en l'existència d'un nou element és cada cop més gran, malgrat que les anàlisis espectroscòpiques no revelen cap ratlla característica.

A primers de juliol els Curie disposen d'una mostra 400 vegades més activa que l'urani i decideixen comunicar a l'Acadèmia el descobriment d'«una nova substància radioactiva continguda en la pechblenda», que anomenen *poloni*.[12] El títol de la seva nota introdueix el terme *radioactivitat*, que a partir d'ara denotarà el fenomen descobert per Becquerel en l'urani. En un article escrit poc després, M. Curie explica que «els raigs urànics s'anomenen sovint *raigs de Becquerel*. Podem

[9] M. Curie, Rayons émis per les composés d'uranium et de thorium, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, **126**, 1101 (12 d'abril de 1989). El físic alemany Gerhard Schmidt havia descobert independentment l'activitat del tori.

[10] H. M. PYCIOR, Reaping the benefits of collaboration while avoiding its pitfalls: Marie Curie's rise to scientific prominence, *Social Studies of Science*, **23**, 301-323 (1993).

[11] Pierre i Marie CURIE, Gustave BÉMONT, Sur une nouvelle substance fortement radioactive contenue dans la pechblende, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, **127**, 1215 (26 de desembre de 1898).

[12] Pierre i Marie CURIE, Sur une substance nouvelle radioactive contenue dans la pechblende, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, **127**, 175 (18 de juliol de 1898).

generalitzar aquest nom i aplicar-lo no només als raigs uràmics, sinó també als raigs tòrics i a totes les radiacions de la mateixa naturalesa. Anomenaré *radioactives* les substàncies que emeten raigs de Becquerel».[13]

Les anotacions al quadern de recerca no es reprenen fins l'11 de novembre. Els Curie i Bémont ja saben en aquells moments que un dels residus de l'extracció del poloni és molt actiu, i es disposen a concentrar l'element responsable de tanta activitat. Primer ataquen la mostra amb àcids i comparen la solubilitat i l'activitat de les sals resultants. Si es tracta la pechblenda amb àcid sulfúric s'obté un residu actiu i insoluble que conté majoritàriament sulfats. Atacant el residu amb àcid clorhídric s'obté un clorur de bari soluble i molt actiu. Si s'afegeix alcohol a una solució d'aquest clorur, la part activa precipita parcialment. La major part del precipitat és bari, un element no radioactiu, però aquest *bari actiu* ha de contenir un altre element desconegut, perquè el bari no és radioactiu.

Repetint el procés de dissolució i precipitació posen setge penosament al nou element. Però les manipulacions químiques comporten la pèrdua inevitable de material, i finalment la pechblenda s'esgota quan disposen d'una mostra 900 vegades més activa que l'urani. Els Curie miren d'aconseguir residus de la producció d'urani entre comerciants de minerals d'arreu del món, als quals asseguren que les seves intencions són «purament científiques», amb la qual cosa volen dir que no persegueixen objectius econòmics. Els primers intents per determinar el pes atòmic fracassen per la presència de bari en proporcions indeterminades; sortosament, l'anàlisi espectral del *bari actiu*, que els Curie encarreguen a un espectroscopista expert, Eugène Demarçay, revela la presència d'una ratlla que no pertany ni a l'espectre del bari ni al de cap altre element conegut, la intensitat de la qual augmenta amb l'activitat. L'evidència espectroscòpica rebla el clau, i els Curie i Bémont anuncien a l'Acadèmia de Ciències, el 26 de desembre de 1898, l'existència d'una «nova substància fortament radioactiva continguda en la pechblenda».[14]

L'aïllament del radi

A partir d'aquest moment, l'aïllament del radi i la determinació del seu pes atòmic esdevenen l'objectiu prioritari dels Curie, especialment de Marie. Com que la determinació del pes atòmic del radi precedeix la concessió del Nobel i, d'altra banda, devia pesar en les consideracions del Comitè de Física, convé que ens hi aturem un moment.

La nota del descobriment fa esment de la tramesa a títol de gràcia per part del govern austríac de 100 kg de residus de mineral d'urani procedent de les mines de Joachimstahl, a Bohèmia. Els Curie havien passat en sis mesos de pesar la pechblenda en grams a pesar-la en kilos; uns mesos més i l'haurien de pesant en tones... La concentració del radi en els minerals d'urani és «prodigiosament feble»: els Curie han de tractar deu tones de mineral per obtenir alguns centigrams de clorur de radi i uns quants decigrams de productes menys concentrats.[15] Des d'un principi, Curie negocia i obté el suport d'industrials químics que es fan càrrec de les primeres etapes del procés de concentració. Tot i això, els treballs d'extracció adquireixen dimensions èpiques i requereixen de Marie Curie una dedicació gairebé absoluta. Alguns historiadors hi han volgut veure una obsessió que no seria aliena al recel d'alguns químics i físics de la vella guàrdia davant la ciència emergent de la radioactivitat. Així Rosalynd Pflaum, en una biografia titulada *Grand Obsession*, assenyala que: «Marie Curie estava obsessionada amb la idea que la comunitat científica dubtava que els elements que ella havia descobert... fossin realment elements. Curie es va dedicar [a produir radi pur] amb la mateixa resolució i obsessió amb què havia atacat els seus primers sacs de pechblenda.» Apreciacions com aquesta o com la de Lawrence Badash, que es pregunta si Curie va tornar a fer res de bo un cop descobert el radi («did Marie have occasion subsequently to use her head, or only her hands?»), ignoren dues qüestions crucials que no podem deixar de banda: la de la naturalesa de l'evidència a favor de l'existència de nous elements, i la de l'estatus acadèmic i intel·lectual de la disciplina de la radioactivitat.[16]

L'evidència espectroscòpica adduïda en la nota del descobriment no va convèncer tothom. Friedrich Giesel, un químic industrial pioner de la radioactivitat a Alemanya, va escriure el 1900 als Curie que era urgent concentrar el radi per no haver de dependre d'anàlisis espectrals equívoques.[17] Els Curie eren plenament conscients de la fragilitat de l'espectre del radi, però difícilment n'haurien pogut prescindir perquè, juntament amb l'activitat, l'espectre era l'única empremta d'un element que es comportava químicament de manera massa similar al bari. En la determinació del pes atòmic del radi tenen un paper determinant les comprovacions espectrals de mostres de *bari actiu* que cada cop són més actives i contenen menys bari. El juliol de 1900 Marie Curie conclou que el radi té un pes atòmic de 174, a partir d'una mostra que, segons Demarçay, conté tant radi com bari. A partir de març de 1902 Demarçay i M. Curie discuteixen per carta la puresa de les darre-

[13] M. CURIE, Les rayons de Becquerel et le polonium, *Revue Générale des Sciences*, **10**, 41 (1899).

[14] P. i M. CURIE, G. BÉMONT, *op. cit.*

[15] P. i M. CURIE, Les nouvelles substances radioactives et les rayons qu'elles émettent, *Rapports présentés au Congrés international de Physique* (París, 1900), vol. 3, pàg. 79.

[16] R. PFLAUM, Grand Obsession. Marie Curie and Her World (Doubleday, 1989); L. BADASH, Decay of a Radioactive Halo, *Isis*, **66** 566-568 (1975), ressenya de REID (1974).

[17] F. GIESEL a P. i M. CURIE, [febrer] 1900 (Arxiu Curie, Biblioteca Nacional de França, n.a.f. 18434, pàg. 86-87).

res mostres de clorur de radi, 0,09 grams extrets de la pechblenda austríaca. El juliol, quan Curie és a punt de fixar el pes en 225 —un valor molt proper al correcte de 226—, Demarçay la tranquil·litza escrivint-li que també ell creu «que 225 ha de ser molt a prop de la veritat» i que continua creient «que la proporció de Ba en el vostre radi és insuficient per influir sobre la xifra de les unitats», una opinió que «no dubtaria a manifestar en públic i que em podeu atribuir a la vostra nota».[18]

Els dubtes sobre l'existència del radi o la incertesa respecte de les seves propietats —incloent-ne una de tan fonamental com el pes atòmic— eren deguts en última instància a l'extrema raresa de les substàncies radioactives. La feblesa i la impuresa de les fonts dificultaven la contrastació de resultats i col·locaven en posició avantatjosa Curie, que ben aviat va decidir fer de l'acumulació de radi i altres substàncies radioactives l'eix de la seva recerca. Aquesta estratègia d'acumulació ha estat sovint jutjada severament i menystinguda per la manca de significació científica, però els contemporanis de Curie no tenien cap dubte sobre el seu valor i la seva importància. F. Giesel ho va resumir perfectament el 1900, astorat davant l'activitat de les mostres radioactives dels Curie: «No cal dir que les seves investigacions són més efectives i que poden vostès observar fenòmens que ni tan sols són perceptibles aquí.» Poc després de rebre el Nobel —l'import del qual els Curie van destinar a la preparació «d'una quantitat major d'aquesta desafortunada substància»—, un visitant del laboratori Curie va descriure «wild scientific orgies in which 280 mg of pure radium bromide figured conspicuously».[19] Tanta opulència despertava admiració i enveja entre els col·legues radioactius, majoritàriament obligats a treballar amb «dosis homeopàtiques».[20] Sembla evident, en tot cas, que l'estratègia d'acumulació de Curie era perfectament apropiada al progrés de la radioactivitat.

Les cuites dels radioactius a l'hora de consolidar evidències ens remeten a una segona qüestió controvertida, la de l'estatus disciplinari de la nova ciència. En contraposició amb la química analítica convencional,

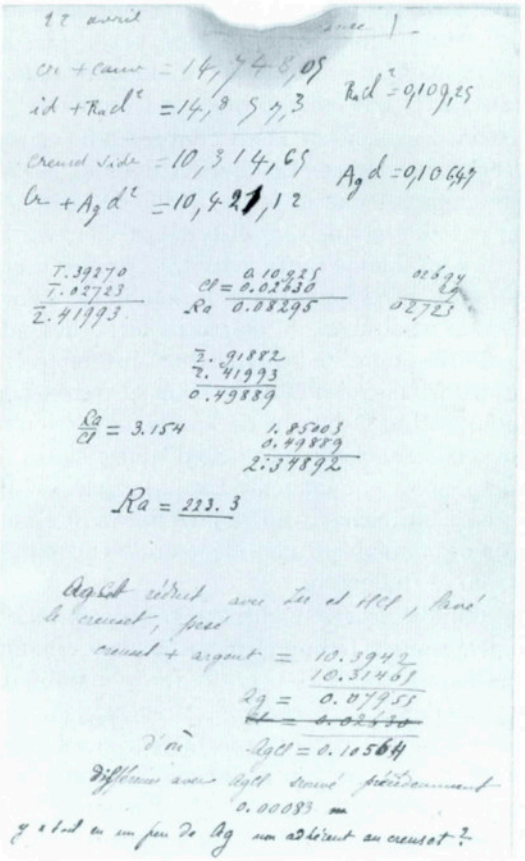

Figura 5: *Pàgina dels anomenats carnets de la découverte, els quaderns de laboratori que ens han permès reconstruir el procés de descobriment del radi. El 22 d'abril de 1902, M. Curie hi va consignar un nou càlcul del pes atòmic del radi a partir de l'anàlisi d'una mostra de clorur de radi de 0,10925 g. Curie va calcular la quantitat de clor en aquesta mostra desplaçant el radi per plata fins a obtenir 0,10647 g de clorur de plata. Això volia dir que la mostra original contenia 0,02630 g de clor i, per tant, 0,08295 g de radi (3,154 vegades més radi que clor). A partir del pes atòmic del clor (35,4) i tenint en compte que el radi era un element bivalent, el pes atòmic es podia estimar en 3,154 × 35,4 × 2 = 223,3. ACJC-Archives Curie et Joliot-Curie*

M. Curie considerava que la radioactivitat era la «química de l'invisible», perquè recorria a mètodes d'anàlisi procedents de l'arsenal dels físics (electròmetres, condensadors, espectres) que permetien *pesar* elèctricament meres traces d'elements. Ja ens hem referit abans a l'ambigüitat disciplinària de la radioactivitat, una ciència que semblava qüestionar principis fonamentals de la física (com ara el de la conservació de l'energia) i de la química (l'estabilitat dels elements). El que és més important, el criteri bàsic per a la certificació de l'existència d'un nou element —el seu aïllament i la determinació del seu pes atòmic— no es verificava per a cap dels nous elements radioactius, ni tan sols per al

[18] Demarçay a Curie, 11 de juliol de 1902 (Arxiu Curie, Biblioteca Nacional de França, n.a.f. 18434): «Je pense comme vous que 225 doit être bien voisin de la vérité et je persiste à croire que la proportion de Ba est insuffisante dans votre radium pour influer sur le chiffre des unités. Je ne hésiterais pas à manifester mon opinion en public, vous pouvez donc sans [crainte?] me l'attribuer dans votre note». M. Curie, Sur le poids atomique du radium, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, **135**, 161 (juliol de 1902).

[19] F. Giesel a P. i M. Curie, 12 de gener de 1900 (Arxiu Curie, Biblioteca Nacional de França, n.a.f. 18434); M. a J. Sklodovski, 23 de desembre de 1903, citat a E. CURIE, MADAME CURIE, Gallimard (1938), pàg. 226; B. B. Boltwood a E. Rutherford, 8 d'agost de 1904, citat a L. BADASH, ed., Rutherford and Boltwood, *Letters on Radioactivity*, Yale University Press (1969), pàg. 36.

[20] B. B. Boltwood a E. Rutherford, 11 d'octubre de 1908, citat a L. BADASH, ed., *op. cit.*, pàg. 193.

radi: «Ningú no ha manipulat prou radi per saber què és exactament», es planyia Henry Amstrong, professor de Química al Central Technical College de Londres, el 1906. L'estiu d'aquell any, William Thomson va dur la polèmica a les pàgines de *The Times*, en qüestionar públicament la llei de transformacions radioactives de Rutherford i F. Soddy i la naturalesa elemental del radi; durant el mes d'agost es van succeir les cartes de lectors informats (des del mateix Soddy fins a Oliver Lodge passant per Lord Rayleigh) que debatien l'evidència esgrimida pels estudiosos de la radioactivitat. Per als crítics, s'havia erigit «una vasta trama d'especulacions» sobre «una estreta base de fets experimentals sòlids». El 1907, Arthur Smithells va descriure la radioactivitat davant la British Association for the Advancement of Science com una «química fantasmagòrica».[21] No deixa de ser irònic que aquesta química es trobés ja aleshores a la base d'una nova indústria, la dels radioelements.

Epíleg

Pierre Curie va morir el 1906, Becquerel el 1908. Dels guardonats el 1903 només Marie Curie va poder transcendir els treballs que li van reportar tanta fama i més d'un maldecap. Fidel a la seva estratègia d'acumulació, Marie va continuar amassant radi i altres elements radioactius amb la col·laboració inestimable de la indústria del radi francesa, que fins que no es va arruïnar els anys 1920 per la irrupció al mercat del radi belga, es va nodrir d'experts formats *chez* Curie. Aquesta relació, eclipsada durant prop d'un segle per la imatge heroïca i solitària de Madame Curie, imatge que ella mateixa va crear i promoure amb la seva biografia de Pierre (1923), és crucial per entendre l'èxit de Curie i els Joliot-Curie i la història de la radioactivitat, però si de cas la deixarem per a un altre article. El fruit més evident d'aquests esforços va ser la mostra de radi metàl·lic pur que Curie va obtenir el 1910 i que li va reportar l'any següent el Nobel de Química. En ocasió de la recepció d'aquest segon premi, i qui sap si amb l'ànim de corregir l'omissió del radi en la concessió del primer, Curie va afirmar que l'aïllament del radi era «la pedra angular sobre la qual descansa l'edifici de la ciència de la radioactivitat».

Referències

BOUDIA, S., *Marie Curie et son laboratoire: sciences et industrie de la radioactivité en France*, Editions des Archives Contemporaines (2001).

BOUDIA, S. i ROQUÉ, X. R. (ed.), *Science, Medicine and Industry: The Curie and Joliot-Curie Laboratories*, Número monogràfic (4) de *History and Technology*, 13 (1997).

CRAWFORD, E., *The Beginnings of the Nobel Institution: The Science Prizes, 1901-1915*, Cambridge University Press (1984).

CURIE, M., *Pierre Curie*, Macmillan (1923).

HURWIC, A., *Pierre Curie*, Flammarion (1995).

KRAGH, H., *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*, Princeton University Press, 1999.

NOBEL FOUNDATION, *Nobel Lectures, Physics, 1901-1921*, Elsevier (1967).

QUINN, S., *Marie Curie. A Life*, Heinemann (1995).

REID, R., *Marie Curie*, Salvat (1995). [1a ed. anglesa, Collins (1974)].

REINHARDT, C. ed., *Chemical Sciences in the Twentieth Century. Bridging Boundaries*, Wiley-VCH (2001).

SÁNCHEZ RON, J. M., *Marie Curie y la radiactividad*, Consejo de Seguridad Nuclear (1998).

SÁNCHEZ RON, J. M., *Marie Curie*, Crítica (2000).

Marie Curie and the Science of Radioactivity, exposició virtual de l'American Institute of Physics (http://www.aip.org/history/curie/romleg.htm).

The Nobel Prize in Physics, 1903, pàgina oficial de la Fundació Nobel amb articles biogràfics sobre els guardonats (molt simples historiogràficament parlant), i transcripcions de les conferències llegides durant la recepció del premi (http://www.nobel.se/physics/laureates/1903/index.html).

[21] Vegeu X. ROQUÉ, From Radiochemistry to Nuclear Chemistry and Cosmochemistry, dins RHEINHARDT (2001), pàg. 119-130, i la resta d'articles inclosos a la part II d'aquesta obra.