

# 150è aniversari de la taula periòdica de Dmitri I. Mendeléiev: la contribució de les dones al seu desenvolupament

## 150th anniversary of Dmitri I. Mendeleev's periodic table: the contribution of women to its development

Pilar González Duarte

Institut d'Estudis Catalans

Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Química

**Resum:** D'acord amb la genialitat i la visió científica de Dmitri Ivànovitx Mendeléiev, àmpliament reconegudes per la comunitat científica, l'Organització de les Nacions Unides (ONU) ha proclamat el 2019 Any Internacional de la Taula Periòdica dels Elements Químics. Aquest article fa referència a aquest fet, a la pervivència de la taula periòdica durant els seus cent cinquanta anys de vida i a la plena vigència que té en l'actualitat. Tracta especialment de les dones científiques que han descobert elements químics o que han contribuït al desenvolupament de la taula periòdica, i descriu les circumstàncies i els reconeixements que les varen acompanyar. Finalment, considera les dificultats per al possible allargament de la taula periòdica més enllà dels 118 elements avui coneguts.

**Paraules clau:** Taula periòdica dels elements químics, Mendeléiev, AITP 2019, dones científiques.

**Abstract:** To honour Dmitri Ivanovich Mendeleev's genius and scientific vision, which are widely acknowledged by the scientific community, the UN has proclaimed 2019 to be the International Year of the Periodic Table of Chemical Elements. This fact, along with the recognized validity of the periodic table for the last 150 years, are described in this article, in which special reference is made to the women scientists who have discovered chemical elements or have contributed to the periodic table's development. Details are given of the circumstances of their work and of the recognition which they received. Lastly, the difficulties bearing on the possible extension of the periodic table beyond the 118 elements known today are considered.

**Keywords:** Periodic table of chemical elements, Mendeleev, IYPT 2019, women scientists.

## Introducció

«La république n'a pas besoin de savants ni de chimistes». Amb aquestes paraules es justificava l'arrest d'Antoine Laurent de Lavoisier, un científic de talla excepcional —avui considerat el fundador de la química moderna—, que fou guillotinat a la França revolucionària, el 8 de maig de 1794, als cinquanta-un anys. Lavoisier és un punt de partida excel·lent per parlar de la taula periòdica, atès que va definir el concepte *element químic* i va publicar una llista de 33 elements, 23 dels quals varen superar el pas del temps. Finalitzar aquesta primera col·lecció d'elements, ordenar-los per tal de sistematitzar-ne el comportament químic i entendre el perquè de tot plegat, va requerir que al llarg del segle i

mig posterior a Lavoisier científics eminents, des de Dalton —amb el concepte d'àtom— fins a Schrödinger —amb els orbitals atòmics i els nombres quàntics—, fessin contribucions científiques de primer nivell. En aquest context, Mendeléiev té una consideració molt especial, que és la de pare de la taula periòdica dels elements químics. Amb una visió científica excepcional, Mendeléiev va ordenar els elements segons els seus pesos atòmics i va anticipar l'existència d'elements que encara no havien estat descoberts i dels quals va predir les propietats físiques i químiques amb una precisió insuperable (figura 1). Cap dels autors que feren altres propostes d'ordenació dels elements no va tenir una visió semblant [1].

La taula periòdica de Mendeléiev ha estat un dels descobriments més importants en el món científic, ja que els elements químics són les unitats fonamentals de tota la matèria. La taula periòdica no sols va marcar un abans i un després, sinó que a més ha servit d'eix vertebrador dels coneixements posteriors, i encara avui és la referència indispensable dels professionals de la química i una eina molt valuosa per a l'aprenentatge d'aquesta disciplina. És important remarcar que, a diferència de la major part dels descobriments científics,

**D. I. Mendeléeïev**  
Tobolsk, 1834 – Sant Petersburg, 1907

Segona versió de la taula periòdica (1871)

Reihen	Gruppe I. R <sup>2</sup> O	Gruppe II. RO	Gruppe III. R <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	Gruppe IV. RH <sup>4</sup> RO <sup>2</sup>	Gruppe V. RH <sup>3</sup> R <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	Gruppe VI. RH <sup>2</sup> RO <sup>3</sup>	Gruppe VII. RH R <sup>2</sup> O <sup>7</sup>	Gruppe VIII. RO <sup>4</sup>
1	H = 1							
2	Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27,3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5	
4	K = 39	Ca = 40	Sc = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56, Co = 59, Ni = 59, Cu = 63
5	(Cu = 63)	Zn = 65	Ga = 68	Ge = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	
6	Rb = 85	Sr = 87	?Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	— = 100	Ru = 104, Rh = 104, Pd = 106, Ag = 108
7	(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	J = 127	
8	Cs = 133	Ba = 137	?Di = 138	?Ce = 140				
9	(—)							
10			?Er = 178	?La = 180	Ta = 182	W = 184		Os = 195, Ir = 197, Pt = 198, Au = 199
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	U = 240		
12				Th = 231				

FIGURA 1. La segona taula periòdica de Mendeléeïev, més entenedora que la primera de l'any 1869, on es destaquen els elements descoberts en els deu o quinze anys posteriors a la seva publicació. Elaboració pròpia.

ficats fets a mitjans del segle XIX, la taula periòdica ha mantingut, ampliat i consolidat la seva vigència. Aquesta característica només és pròpia de descobertes excepcionals. Per això, la taula periòdica pot comparar-se amb les lleis de Newton, la teoria de l'evolució de Darwin i la teoria de la relativitat d'Einstein. En conseqüència, Mendeléeïev mereix ser considerat un dels millors científics de tots els temps.

Aquests aspectes justifiquen que, en el 150è aniversari de la presentació de la primera taula periòdica de Mendeléeïev, l'Assemblea General de l'Organització de les Nacions Unides (ONU) hagi proclamat el 2019 Any Internacional de la Taula Periòdica dels Elements Químics (AITP 2019).

Aquesta celebració prossegueix la que havia fet l'ONU anteriorment en proclamar l'any 2011 Any Internacional de la Química (AIQ 2011). Atès que aquest mateix any corresponia al centenari de la concessió del Premi Nobel de Química a Marie Skłodowska-Curie, l'ONU va recomanar l'organització d'activitats que mostressin la contribució de les dones a la ciència.

Seguint aquestes directrius, l'any 2011 la Societat Catalana de Química va dedicar un número monogràfic de la revista *EduQ* a la taula periòdica [2a], en què els articles de Santiago Álvarez [2b], P. González Duarte [2c], David Jou [2d] i Claudi Mans [2e] varen aportar-ne una visió àmplia, amb perspectives diferents i complementàries. Anteriorment P. González Duarte havia impartit la conferència *Les mil cares de la taula periòdica*, que també va ser objecte de publicació [3]. Per tant, en la bibliografia indicada [2a–e, 3] es dona àmplia informació sobre la taula periòdica.

Si ens centrem especialment en les dones científiques que han descobert elements químics o que han contribuït al desenvolupament de la taula periòdica, veurem que sovint han hagut de superar més dificultats al llarg de la seva vida professional i han tingut menys reconeixements que els seus homòlegs masculins. Les circumstàncies que varen acompanyar aquestes científiques i els resultats que varen assolir són l'objectiu principal de la descripció que segueix.

## Una mica d'història

D'acord amb la tradicional exclusió de les dones en l'àmbit públic, fins a finals del segle XIX les dones científiques passaven molt desapercebudes. No fou fins després de la Segona Guerra Mundial que les dones pogueren «començar» a integrar-se en el món científic amb plenitud de drets. Com i quan comença aquest procés d'integració?

Hi ha un consens general que el primer grup de pioneres està format per «les computadores humanes», també conegudes com «l'harem de Pickering», dones que varen treballar a l'Observatori Astronòmic de la Universitat de Harvard, als EUA, sota la direcció del professor Edward C. Pickering (figura 2). La necessitat d'ampliar substancialment el seu equip de treball va portar Pickering a contractar, des del 1877 fins al 1918, més de vuitanta dones, amb un sou de 25 a 50 cèntims de dòlar l'hora, el que corresponia al sou d'una dona de la neteja. La qualitat i quantitat de la feina d'aquestes dones va permetre catalogar, analitzar i classificar tot



FIGURA 2. Edward C. Pickering amb el seu «harem» davant l'Observatori Astronòmic de la Universitat de Harvard, als EUA, el 13 de maig de 1913. Imatge del Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics reproduïda a *Smithsonian.com*.

el cel nocturn de l'època; tanmateix, aquestes dones majoritàriament només han tingut un reconeixement col·lectiu [4].

Endinsats ja en el segle xx, s'obren camins en el món de la recerca que faciliten la incorporació de les dones. Les esclertes apareixen en camps interdisciplinaris nous on l'èxit i la glòria són més incerts que en àrees de recerca ben consolidades, i per tant liderats per homes joves, més agosarats i menys reticents a la incorporació de les dones. Així doncs, la bioquímica, la cristal·lografia i la radioactivitat permetran l'entrada de dones amb una motivació, coratge i qualitats intrínseques de primera classe, amb un bon entrenament per superar dificultats i sabedors que no els cal esperar reconeixements ni felicitacions [5a].

La recerca de les dones que han descobert elements químics o que han contribuït al progrés de la taula periòdica s'inscriu en el camp de la radioactivitat, llavors camp fronterer entre la física i la química i avui integrat en el camp de la física de partícules.

## Dones que han descobert elements químics

Quatre dones són autores o coautores del descobriment de 5 elements químics (figures 3 i 4). A continuació es descriu la seva activitat professional i es fa referència a les circumstàncies i els reconeixements que les varen acompanyar.

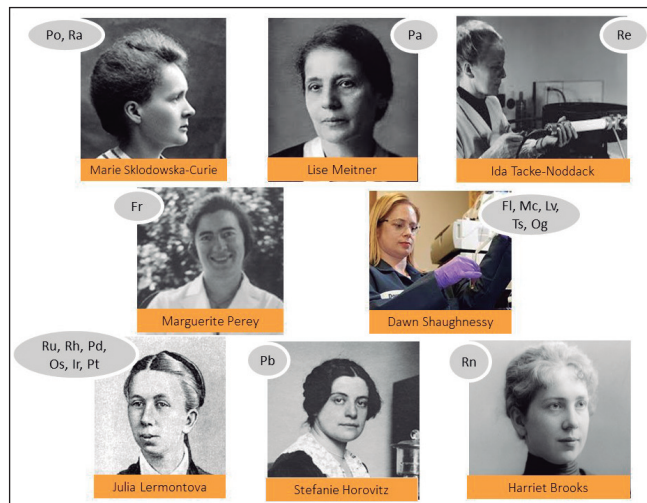


FIGURA 3. Dones descobridores d'elements químics: Marie Skłodowska-Curie, Lise Meitner, Ida Tacke Noddack i Marguerite Perey. Dones amb aportacions significatives per al progrés de la taula periòdica: Julia Lermontova, Stefanie Horowitz, Harriet Brooks i Dawn Shaughnessy. Els elements descoberts o estudiats s'indiquen a la part superior de la imatge corresponent. Elaboració pròpia a partir d'imatges reproduïdes a *Wikipedia*, la Fundació Nobel i [10].

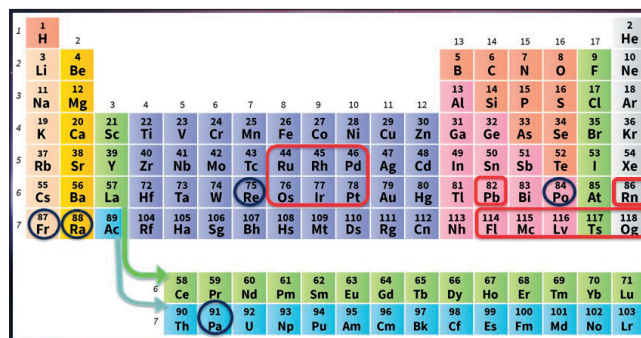


FIGURA 4. La taula periòdica amb els 118 elements avui coneguts. Els elements senyalats amb blau han estat descoberts per dones; amb vermell s'indiquen els elements que es coneixen millor gràcies a dones. Elaboració pròpia.

### Marie Skłodowska-Curie (1867-1934)

La millor presentació de Marie Skłodowska-Curie és l'obituari escrit per Albert Einstein [6], un fragment del qual es mostra a la figura 5.

Nascuda a Varsòvia en el si d'una família culta, profundament nacionalista, era la filla petita d'una família de cinc germans. La seva infància estigué marcada per la situació política del seu país, on Varsòvia patí una dictadura russa feixotge. La inhabilitació del seu pare com a professor, les dificultats econòmiques consegüents i la mort de la mare i de la germana gran abans que ella fes deu anys li quedaren al cor per tota la vida.

El fet que les dones a Polònia no tinguessin accés a la universitat fou la causa per la qual arribà a París als vint-i-quatre anys i es matriculés a la Facultat de Ciències de la Sorbona, on es llicencià en física i en matemàtiques amb unes notes excel·lents. Casada amb Pierre Curie, professor de física general de l'Escola Municipal de Física i de Química Industrials de París, el 1897 inicià la seva tesi doctoral, dedicada a l'estudi de les radiacions emeses pels minerals d'urani, descobertes per Henri Becquerel. Marie i Pierre treballaren conjuntament en unes condicions duríssimes, tant per les mancances del laboratori com per les tones de mineral d'urani que havien de manipular. Els resultats foren excel·lents, ja que descobriren 2 elements radioactius nous —el poloni i el radi—, els quals identificaren pels seus espectres d'emissió. Addicionalment, definiren el concepte *radioactivitat* i obligaren a reconsiderar la suposada integritat i estabilitat dels àtoms. Aquesta nova visió de l'àtom obrí la porta a l'existència del nucli, dels isòtops i del neutró, al fenomen de la fissió nuclear i a la síntesi



FIGURA 5. Fotografies de Marie Skłodowska-Curie en quatre etapes de la seva vida i fragments de l'obituari escrit per Albert Einstein amb motiu de la seva mort. Imatges cedides a l'IEC pel Museu Curie i l'Institut Curie (París) amb motiu de l'exposició «Marie Curie 1867-1934» (abril-desembre 2011).

d'elements artificials. D'altres conseqüències que en derivaren van ser la radioactivitat artificial i les aplicacions de la radioactivitat en medicina.

No és estrany que amb aquests resultats obtingués la concessió de dos premis Nobel, el de Física de l'any 1903 —compartit per H. Becquerel, Pierre i Marie Curie, pel descobriment de la radioactivitat natural— i el de Química de l'any 1911 —a Marie Skłodowska-Curie, pel descobriment del poloni i el radi, per l'aïllament del radi i per l'estudi dels seus compostos.

La vessant humana de Marie Skłodowska-Curie fou tan extraordinària com la seva visió científica; de fet, la seva personalitat era una combinació excepcional de qualitat humana i excel·lència científica. Hi ha nombroses proves de l'interès nul que tenia pels honors o pels diners. L'aplicació de la radioactivitat en medicina marcà la seva activitat professional des del 1914, any de l'inici de la Primera Guerra Mundial, fins a la seva mort, l'any 1934, en un sanatori de l'Alta Savoia.

Malgrat les grans qualitats científiques de Marie Skłodowska-Curie, és àmpliament acceptat que va poder dedicar-se a la ciència i superar les dificultats derivades del fet de ser dona gràcies al seu matrimoni amb un científic francès de prestigi reconegut. Si un cop finalitzats els seus estudis a la Sorbona hagués tornat a Polònia, com era el seu desig, possiblement no hauria assolit l'estatus —molt ben merescut— de ser la dona científica més coneguda i valorada de tots els temps [6-8].

### Lise Meitner (1878-1968)

La vocació científica d'aquesta física austríaca queda palesa al llarg de tota la seva vida [5b]. Un cop acabats els seus estudis de doctorat l'any 1905 —fou la segona dona que obtingué el títol de doctora en física per la Universitat de Viena—, marxà a Berlín per ampliar els estudis. El 1907, s'incorporà a l'equip d'Otto Hahn, que acabava d'arribar al Departament de Química de la Universitat de Berlín, dirigit pel conegut químic orgànic Emil Fisher. Meitner fou contractada com a *col·laboradora sense sou* i —pel fet de ser dona— només tenia accés al seu laboratori, que estava ubicat al soterrani del centre. Durant cinc anys no va cobrar res, s'havia d'amagar en els darrers bancs de l'aula per poder escoltar conferències científiques als pisos superiors del centre i s'alimentà bàsicament de pa negre i te.

Traslladats a l'Institut Kaiser-Wilhelm de Química (1913), esdevingué *associada* i percebé un petit salari. En el context de la Primera Guerra Mundial, Otto Hahn marxà a formar part de l'exèrcit austrohongarès, mentre Lise Meitner feia d'infermera al servei de raigs X d'un hospital militar. A les estones lliures, Meitner tornava al laboratori per continuar el treball iniciat amb Hahn abans de la guerra: la cerca de l'element precursor de l'actini, és a dir, l'element que en el seu procés de desintegració es transforma en actini. En contacte amb Hahn per correspondència, Meitner identificà l'isòtop més estable de l'element *protoactini*,  $^{231}\text{Pa}$ . Aquest descobriment confirmava l'existència de l'esmentat element i permetia completar un dels últims buits de la taula periòdica de Mendelèiev del 1871, que anticipava l'existència d'un element amb nombre atòmic 91, que se situaria entre el tori (90) i l'urani (92), i que va anomenar *ekatantal* (figura 1).

Sorprenentment, però, l'article científic resultant del descobriment del protoactini tingué Otto Hahn com a investigador principal, malgrat que Lise Meitner havia dut a terme la major part de la feina.

Aquesta injustícia fou àmpliament superada en el cas del descobriment del fenomen de la fissió nuclear, el qual es deu a Meitner i el seu nebot, també físic, Otto Frisch. Per la seva condició de jueva, Meitner hagué de fugir a Suècia, des d'on mantingué correspondència amb Otto Hahn sobre la recerca conjunta que estaven duent a terme. Meitner i Frisch donaren resposta a les preguntes plantejades per Otto Hahn sobre els resultats obtinguts en bombardejar urani amb neutrons. Tan-

mateix, cap dels dos noms no constà en la publicació resultant, com tampoc Hahn no en feu cap referència quan se li atorgà el Premi Nobel de Química l'any 1944.

Per compensar la manca de reconeixement que va rebre en vida Lise Meitner, l'any 1955 Glenn T. Seaborg va proposar a la Unió Internacional de Química Pura i Aplicada (IUPAC) que l'element de nombre atòmic 109 fos anomenat *meitneri* en honor seu. Així es va acordar, com a reparació *post mortem* a la contribució científica de Lise Meitner, que, per la seva condició de dona jueva —factor doblement negatiu—, mai no va veure reconeguda.

### *Ida Tacke-Noddack (1896-1978)*

Aquesta enginyera química que va néixer, estudiar i treballar a Alemanya, és una bona representant de la situació professional d'algunes dones científiques de la primera meitat del segle xx que eren designades com a *esposa de científic*; és a dir, sempre a l'ombra del marit, amb unes condicions laborals contraposades. L'home tenia una bona posició acadèmica, un sou adient a la seva condició i, sovint, ocupava càrrecs de gestió importants. El temps que li requerien aquestes responsabilitats determinava que la dona, a la pràctica, fos la directora de recerca; tanmateix, a diferència de l'home, no tenia plaça fixa ni cap sou.

Durant la major part de la seva vida, Ida Tacke-Noddack va treballar com a *convidada sense sou* al laboratori del seu marit, la qual cosa alhora va comportar que sovint es menystinguessin les seves opinions científiques [5c]. Si bé Meitner fou la primera persona que donà evidència i justificació del fenomen de la fissió nuclear, Ida Tacke-Noddack va ser la primera a proposar el concepte. Així, en un article del 1934 plantejava que els resultats que havia obtingut Enrico Fermi en bombardejar urani amb neutrons haurien d'haver tingut en compte la possibilitat d'un trencament nuclear, però la seva opinió va ser completament ignorada [5c].

L'element de nombre atòmic 75 —el reni— va ser descobert conjuntament per Ida Tacke, el seu marit Walter Noddack i Otto Berg, a Berlín. És un dels elements menys abundants de l'escorça terrestre, el qual varen aïllar a partir d'un mineral de molibdè. Atès que el reni és el tercer element del grup del manganès, també volien obtenir el segon del mateix grup, encara desconegut; tanmateix, la metodologia emprada no els

ho va permetre (figura 4). De fet, l'element 43 —el tecneci— fou el primer element a ser produït artificialment. Carlo Perrier i Emilio Segrè el varen obtenir l'any 1937 a partir d'una mostra de molibdè, enviada per Ernest Lawrence, que havia estat bombardejada amb nuclis de deuteri en un ciclotró a Berkeley [9].

### *Marguerite Perey (1909-1975)*

A diferència de les anteriors, aquesta científica treballà sola i, per tant, té l'honor de l'exclusivitat del descobriment, l'any 1939, del franci —el sisè membre del grup dels alcalins, de nombre atòmic 87 (figura 4).

Perey, nascuda en un suburbi de París, cursà estudis de tècnic de laboratori. Als dinou anys va entrar a treballar com a laborant a l'Institut Curie de París sota la direcció d'Irène Joliot-Curie i André-Louis Debierne, els quals, independentment, li encarregaren l'obtenció de mostres d'elevada puresa de sals d'actini i, també, de l'element pur. Ambdues fites suposaven un treball extremament laboriós, agreujat per la desintegració constant del mateix element. En el procés de purificació de l'actini, va observar la presència d'un producte de desintegració prèviament desconegut, amb un període de semidesintegració de vint-i-dos minuts i un comportament químic semblant al del cesi. Perey havia descobert un nou element que va anomenar *franci* (figura 4) en honor a la seva pàtria.

Veient la seva vàlua, Irène Joliot-Curie i André-Louis Debierne l'encoratjaren a prosseguir una carrera científica. L'any 1946 obtingué el títol de doctora en ciències físiques a la Sorbona, el 1949 esdevingué catedràtica de química nuclear a la Universitat d'Estrasburg i el 1962 fou la primera dona escollida com a membre de l'Acadèmia de Ciències de París, honor que no havien tingut les seves supervisores Marie Skłodowska-Curie i Irène Joliot-Curie. Com moltes de les persones que varen treballar amb materials radioactius, Perey va morir de càncer quan tenia seixanta-cinc anys [5d].

Marguerite Perey, que va passar de laborant a catedràtica, és la mostra d'una història de coratge i esforç, amb un entorn respectuós de l'autoria dels treballs, que pot tenir un final d'èxit.

## Dones que han contribuït al progrés de la taula periòdica

El nombre de dones científiques que han fet aportacions d'interès per al progrés de la taula periòdica és clarament superior al de les científiques que han descobert elements químics (figures 3 i 4). Si bé la bibliografia [5a, 10] recull aquestes contribucions, alguns casos mereixen una consideració especial.

### *Julia Lermontova (1846-1919)*

La impossibilitat de les dones russes per cursar estudis a les universitats del seu país explica que es desplaressin a universitats suïsses o alemanyes per obtenir títols acadèmics i prosseguir una carrera en el món de la recerca. Lermontova, molt motivada per la ciència i amb molt bones aptituds, estudià química a la Universitat de Heidelberg (Alemanya), on treballà sota la direcció de Robert Bunsen —qui, l'any 1860, juntament amb Gustav Kirchhoff, havia descobert el cesi i el rubidi— i fou la primera dona que obtingué a Alemanya el títol de doctora en química, l'any 1874.

Probablement, seguint el suggeriment de Mendelèiev, el primer treball de recerca de Lermontova estava dedicat a optimitzar el procés de separació dels elements del grup del plati (ruteni, rodi, pal·ladi, osmi, iridi i plati) per tal de poder determinar amb precisió el valor dels seus pesos atòmics, requisit imprescindible per posar-los en ordre a la taula periòdica. Malauradament, l'única referència a aquest treball es troba als arxius de Mendelèiev, juntament amb la correspondència que varen mantenir.

Després de l'obtenció del títol de doctora, Lermontova treballà en diverses àrees de la química orgànica a Alemanya i a Rússia, sota la direcció de professors reconeguts com A. W. Hofmann, V. V. Markovnikov i A. M. Butlerov. Problemes derivats de la seva relació amb la coneguda matemàtica russa Sofia Kovalevskaia, i desencorajada per les dificultats que trobà, pel fet de ser dona, a l'hora de trobar una plaça acadèmica, als quaranta anys va tornar definitivament a la casa familiar a prop de Moscou, on es dedicà a la fabricació industrial de formatge.

### *Harriet Brooks (1876-1933)*

Mentre que l'escola francesa de radioactivitat se centra en Marie Sklodowska-Curie i es localitza a París, l'escola britànica té com a principal protagonista Ernest Rutherford, que va canviant d'ubicació al llarg de la seva vida professional. Aquest inicià la seva carrera a Montreal (Canadà), la continuà a Manchester (Anglaterra) i la finalitzà a Cambridge. Precisament a Montreal és on incorpora al seu grup de treball la canadenc Harriet Brooks, les contribucions de la qual foren essencials per a la química en general i per a Rutherford en particular.

L'arribada de Rutherford a la Universitat de McGill el 1898 coincidí amb la graduació de Harriet Brooks, una alumna excel·lent que rebé la invitació de Rutherford per realitzar la tesi doctoral sota la seva direcció. L'objectiu d'aquesta fou l'estudi de les *emanacions* procedents de compostos de tori, les quals podien correspondre a un gas o a un sòlid dividit finament. El treball de Brooks demostrà que l'emanació era un gas noble radioactiu, que avui coneixem com a *radó*. Aquesta dada aportà la primera prova relativa al fet que el procés de desintegració d'un element radioactiu comporta la seva transformació en un altre element. Fins aquell moment es creia que la desintegració radioactiva no representava la pèrdua d'identitat de l'element que emetia radiacions o, en altres paraules, que els elements eren immutables. Si bé la primera publicació incloïa el nom de Rutherford i Brooks, la segona, a la revista *Nature*, només contenia el de Rutherford.

El treball de Brooks va ser essencial perquè Rutherford formulés la teoria de la desintegració radioactiva, per la qual va rebre el Premi Nobel de Química de l'any 1908.

Harriet Brooks va tenir dificultats pel fet de ser dona. És un exemple dels casos de dones que varen patir l'avertiment que, si es casaven, el seu contracte de treball quedaria rescindit en aquell mateix moment. També va tenir dificultats per trobar una plaça fixa i, en conseqüència, poder tenir una línia pròpia de recerca. Cansada i decebuda, va abandonar la recerca als trenta-un anys.

## Stefanie Horovitz (1887-1940)

Nascuda a Varsòvia en el si d'una família jueva, estudià i obtingué el doctorat en química l'any 1914 a la Universitat de Viena. Treballant a l'Institut del Radi de Viena, sota la direcció d'Otto Hönigschmid, determinà amb gran precisió el pes atòmic del plom obtingut a partir o bé de la desintegració de l'urani o bé del tori. Les diferències observades en el valor dels pesos atòmics del plom segons la seva procedència demostraren que la creença en la invariància del pes atòmic d'un element era incorrecta i aportaren la primera prova de l'existència dels isòtops.

Dins la mateixa línia de recerca va fer publicacions importants, però l'any 1940, de tornada a Polònia, fou víctima de l'extermini nazi.

## Dawn Shaughnessy

Aquesta científica americana, d'uns quaranta-cinc anys (no s'ha trobat la seva data de naixement), és la investigadora principal del projecte d'elements superpesants del Laboratori Nacional Lawrence Livermore de Califòrnia i ha contribuït al descobriment de 5 elements artificials, del 114 al 118. La direcció d'un equip de recerca de significació indiscutible en el camp esmentat indica que la situació de la dona científica ha millorat amb el pas del temps.

L'element 118 —l'oganessó— és el darrer element de la taula periòdica actual. I això ens porta a una pregunta força interessant sobre el possible allargament d'aquesta taula.

## Cap on va la taula periòdica?

Un bon punt de partida per considerar el futur de la taula periòdica és analitzar el present. Avui, la taula periòdica conté 118 elements, habitualment ordenats segons el nombre atòmic creixent (figura 4). D'altra banda, les abundàncies dels 118 elements avui coneguts són extremament variables; l'estabilitat nuclear dels àtoms és la raó principal d'aquestes diferències. Els elements abundants són elements lleugers, o de pes atòmic baix, de manera que els 10 elements més abundants a l'escorça terrestre (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, H i Ti) constitueixen el 99,2 % del món que ens envolta. Tanmateix,

la inestabilitat que causa l'acumulació de protons en el nucli dels àtoms augmenta progressivament i, així, tots els isòtops de cadascun dels elements que segueixen el bismut ( $Z = 83$ ) són radioactius, i cap dels elements que segueixen l'urani ( $Z = 92$ ) no es troba a la Terra, motiu pel qual s'anomenen *artificials* o *sintètics*. Aquestes dades indiquen que l'allargament de la taula periòdica no és una qüestió trivial.

Una de les persones que va anticipar les dificultats per allargar la taula periòdica fou Glenn T. Seaborg, qui l'any 1996 va publicar una taula periòdica futurista que conté 168 elements [11] (figura 6). Aquesta proposta implicava l'existència d'un vuitè període ( $n = 8$ ), encara avui totalment desconegut, el qual inclou una cinquena sèrie de transició de 10 elements (7d) i una sèrie superactínida de 32 (5g i 6f). Ara bé, el mateix Seaborg afirmà que en el cas del seaborgi, Sg ( $Z = 106$ ), s'havia treballat amb 7 àtoms, i que les dades teòriques sobre possibles estabilitats i configuracions electròniques per a elements més pesants no permetien ser optimistes. Els càlculs d'energia per saber si un nou element serà estable, on intervien factors relativistes, són molt complicats i, per tant, és molt difícil fer prediccions. De fet, els rendiments obtinguts en les síntesis dels darrers elements mitjançant reaccions de fusió nuclear són tan baixos com 1 àtom/setmana de bombardeig. Alhora, els isòtops caracteritzats entre els elements 106 i 109 superen el nombre de 200, i el període de desintegració es troba en l'ordre dels mil·lisegons o microsegons.

Les prediccions de Seaborg basades en els resultats obtinguts fins l'element 109 —el meitneri— no només s'han complert, sinó que a més les dificultats han augmentat de manera expo-

Taula periòdica futurista (Seaborg, 1996)


1 H																	2 He		
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne		
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar		
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			
		LANTHANIDES										ACTINIDES						SUPERACTINIDES	
		(119) (120) (121) (122) (123) (124) (125) (126)										(122) (123) (124) (125) (126)						(153)	

FIGURA 6. Les prediccions de G. T. Seaborg sobre l'allargament de la taula periòdica. Imatge elaborada a partir de [11].

Possible recepta per obtenir l'element 119

- Preneu uns quants mil·ligrams de berkeli ( $Z = 97$ ), un rar metall radioactiu que només es pot obtenir en els reactors nuclears
- Bombardegeu la mostra amb feixos d'ions de titani ( $Z = 22$ ), accelerats fins a una desena part de la velocitat de la llum aproximadament
- Manteniu-ho així al voltant d'un any i sigueu pacients
- Per cada deu trilions ( $10^{19}$ ) d'ions de titani que colpejaran la diana de berkeli -cosa d'un any de feixos-

***l'experiment produirà probablement un únic àtom de l'element 119***

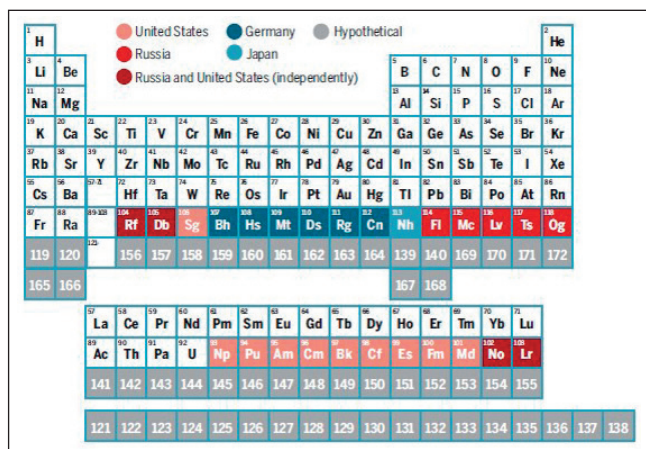


Philip BALL. *Nature*, 565 (2019), p. 553

FIGURA 7. La recepta de Philip Ball per obtenir l'element 119. Elaboració pròpia a partir de [13].

nencial. Per obtenir 3 àtoms de nihoni ( $Z = 113$ ), varen caldre nou anys de feina. El 2003 se'n va iniciar la síntesi, el 2004 es va obtenir un àtom, el 2005 se'n va aconseguir un segon i, finalment, el 2012 es va obtenir el tercer [12]. Avui el consens sobre el nombre d'àtoms i el temps de vida corresponent mínims necessaris perquè es pugui confirmar l'obtenció d'un nou element és de 3 àtoms i  $10^{-14}$  segons, respectivament.

Les probabilitats d'aconseguir els elements 119 i 120 semblen molt baixes segons l'opinió de Iuri Oganessian, cap de l'equip descobridor dels elements 112 a 118. Aquest darrer ha rebut el nom *ogannessó* en honor seu [12]. En el context del límit de la taula periòdica, és interessant conèixer la possible fórmula que ofereix Philip Ball per obtenir l'element 119 [13], la qual es mostra a la figura 7. Ras i curt, l'allargament de la taula periòdica més enllà de l'element 118 no té un futur gaire prometedor.



Legend: United States (red), Germany (blue), Hypothetical (grey), Russia (orange), Japan (cyan), Russia and United States (independently) (dark red).

1	2																	18	
3	4																	10	
11	12																	18	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138
139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158
159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178
179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218
219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238

FIGURA 8. Prediccions actuals, basades en càlculs teòrics de Pekka Pyykkö, sobre fins on pot arribar la taula periòdica. Reproduït de [12].

En cas que els científics poguessin superar els problemes tècnics per crear elements nous —cosa gens senzilla—, es plantejegen altres preguntes: té un límit la taula periòdica?; hipotèticament, quants elements podria incloure? Els càlculs teòrics publicats recentment apunten a la possible existència d'un màxim de 172 elements (figura 8), si bé es preveu algun trencament respecte a la periodicitat esperada d'acord amb la taula periòdica actual [14].

## Conclusions

La taula periòdica proposada per Mendeléiev l'any 1869, llavors amb 63 elements —i actualment ampliada fins a 118—, manté plenament la seva validesa, utilitat i vigència cent-cinquanta anys després del seu naixement.

El seu allargament, però, sembla tan difícil que alguns dels equips de recerca en elements superpesants (l'alemany i l'americà) s'estan plantejant si és millor obtenir quantitats més significatives d'algun dels darrers elements descoberts que no pas invertir esforços humans i costos econòmics elevadíssims per descobrir elements més enllà del 118.

D'altra banda, la situació de les dones que avui es dediquen a la ciència ha millorat considerablement respecte a la de les seves antecessores. Ara bé, la competitivitat ha augmentat i hi ha problemes pendents de resoldre. No és qüestió de paralles sinó de fets. Les dones amb vocació i aptituds mereixen camins accessibles, entorns favorables i finals reeixits, sense cap discriminació per raó de gènere.

## Referències

[1] BALL, P. *The elements: A very short introduction*. Nova York: Oxford University Press Inc., 2002.

[2] a) GONZÁLEZ DUARTE, P. «Per què un monogràfic sobre la taula periòdica?». *Educació Química: EduQ*, 15 (2013), p. 3. b) ÀLVAREZ, S. «La taula periòdica, una àgora de l'art i la ciència». *Educació Química: EduQ*, 15 (2013), p. 4-18. c) GONZÁLEZ DUARTE, P. «Què diu i què no diu la taula periòdica?». *Educació Química: EduQ*, 15 (2013), p. 19-24. d) JOU, D. «L'origen còsmic de la taula periòdica». *Educació Química: EduQ*, 15 (2013), p. 25-33. e) MANS, C. «Taulas periòdiques menys convencionals». *Educació Química: EduQ*, 15 (2013), p. 34-42.



- [3] GONZÁLEZ DUARTE, P. *Les mil cares de la taula periòdica* [en línia]. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Ciències, 2005. <<https://ddd.uab.cat/record/209855>>.
- [4] GEILING, N. «The women who mapped the Universe and still couldn't get any respect». *Smithsonian.com* [en línia]. <<https://www.smithsonianmag.com/history/the-women-who-mapped-the-universe-and-still-couldnt-get-any-respect-9287444/>>.
- [5] a) RAYNER-CANHAM, M. G. *Women in chemistry: Their changing roles from alchemical times to the mid-twentieth century*. Filadèlfia (EUA): Chemical Heritage Foundation, 1998.  
 b) RAYNER-CANHAM, M. G. *Women in chemistry*, 1998, p. 122-127.  
 c) RAYNER-CANHAM, M. G. *Women in chemistry*, 1998, p. 128-129.  
 d) RAYNER-CANHAM, M. G. *Women in chemistry*, 1998, p. 116-117.
- [6] KSOLL, P.; VÖGTLE, F. *Marie Curie*. Barcelona: Edicions 62: Caixa de Catalunya, 1991. (Col·lecció Pere Vergés de Biografies; 11)
- [7] CURIE, E. *Madame Curie*. París: Gallimard, 1934. (Collection Folio; 1336)
- [8] *Chemistry International*, 33 (1) (2011): *Marie Skłodowska Curie*. [Número especial]
- [9] PERRIER, C.; SEGRÈ, E. «Technetium: the element of atomic number 43». *Nature*, 159 (1947), p. 24.
- [10] TIGGELEN, B. van; LYKKNES, A. «The women behind the periodic table». *Nature*, 565 (2019), p. 559-561.
- [11] SEABORG, G. T. «Evolution of the modern periodic table». *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 1996, p. 3899-3907.
- [12] KEAN, S., «The quest for superheavies». *Science*, 363 (6426) (2019), p. 446-470.
- [13] BALL, P. «On the edge of the periodic table». *Nature*, 565 (2019), p. 552-555.
- [14] HABA, H. «A new period in superheavy-element hunting». *Nature Chemistry*, 11 (2019), p. 10-13.



P. González Duarte

Pilar González Duarte és doctora en ciències químiques, màster de química per la Universitat de Michigan (Ann Arbor, EUA) i catedràtica jubilada de química inorgànica de la Universitat Autònoma de Barcelona. La seva activitat docent i investigadora s'ha centrat en els camps de la química inorgànica i bioinorgànica. Ha estat presidenta de la Societat Catalana de Química de l'Institut d'Estudis Catalans (IEC) (1995-2002). El Govern de la Generalitat de Catalunya li va atorgar l'any 2004 la Distinció Jaume Vicens Vives a la qualitat docent universitària. Des de l'any 2004 és membre de l'IEC, adscrita a la Secció de Ciències i Tecnologia. Actualment, la seva activitat professional se centra particularment en la divulgació científica.