

Què diu i què no diu la Taula Periòdica

What does and does not the Periodic Table say

Resum

Des de la proposta de Mendelèiev l'any 1869, la Taula Periòdica ha consolidat plenament la seva vigència i ha esdevingut l'eix vertebrador de la química. Ara bé, la rellevància de la Taula Periòdica no implica que intrínsecament aporti informació química. Ben al contrari, la seva gran utilitat és funció directa dels coneixements previs que hom té, els quals un cop organitzats i sistematitzats en el marc de la taula permeten fer prediccions sobre les propietats, la estructura i la reaccionabilitat dels elements químics i de llurs compostos. Atès que la Taula Periòdica és un tema cabdal en l'aprenentatge de la química es fa una proposta de com abordar llur presentació a alumnes que inicien el seu camí en aquesta disciplina.

Paraules clau

Taula Periòdica, Llei Periòdica, Mendelèiev.

Abstract

Since Mendeleev's proposal in 1869 the Periodic Table has fully consolidated its validity and has become the central axis of chemistry. However, the relevance of the Periodic Table does not require that it intrinsically provides chemical information. In fact, the great usefulness of the Periodic Table is a direct function of the previous chemical knowledge one has. Once this knowledge is organized and systematized within the framework of the Periodic Table, prediction of the chemical behavior and properties of the elements and their compounds becomes possible. As the Periodic Table is a main topic in the learning process of chemistry a procedure for presenting it to students who take a chemistry course for the first time is here reported.

Keywords

Periodic Table, Periodic Law, Mendeleev.

Mendelèiev: el principal descobridor de la Llei Periòdica

La Taula Periòdica que avui s'utilitza habitualment i que inclou 118 elements prové de la Llei Periòdica descoberta per Dmitri I. Mendelèiev l'any 1869, quan només se'n coneixien 63 i els electrons encara no havien estat descoberts. És important remarcar que, a diferència de la major part dels descobriments científics 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 de la relativitat d'Einstein. D'altra banda, la comparació de la Taula Periòdica amb la pedra de Rosetta no és infreqüent a la literatura. En conseqüència, Dmitri I. Mendeléiev (1834-1907) mereix ser considerat com un dels millors científics de tots els temps.

Els amplis coneixements de química que tenia Mendeléiev i, per damunt de tot, la seva clarividència i tenacitat (P. Román Polo, 2002) expliquen que assolís l'ordenació dels 63 elements coneguts en funció de llur pes atòmic i que *anticipés de forma molt acurada les propietats d'elements encara no coneguts* (Col·lecció Clàssics de la Química, vol. 2 i 4). És a dir, la llei periòdica proposada per Mendeléiev a la Societat Russa de Química l'any 1869, publicada en rus (Mendeleev, 1869a) i de forma resumida en alemany el mateix any (Mendeleev, 1869b), complia amb els requisits intrínsecs de les lleis científiques: *permetre fer prediccions* (fig. 1).

Aquesta és la diferència cabdal amb les aportacions d'altres químics contemporanis (J. W. Döbereiner, A. B. de Chancourtois, J. A. R. Newlands, W. Odling, G. D. Hinrichs) que varen proposar ordenacions més parcials però relativament properes a la de Mendeléiev, essent Julius Lothar Meyer el que més s'hi va apropar (Scerri, 2011). De fet, algunes persones parlen de descoberta independent de la Taula Periòdica per part dels dos autors (Idhe, 1964; van Spronsen, 1969a). Aquesta opinió, però, no està d'acord amb el fet que, de les diferents propostes de Meyer, la taula periòdica que és molt propera a la de Mendeléiev és la que publica a *Liebigs Annalen* l'any 1870 (Meyer, 1870). En aquest article ell mateix estableix que la seva taula i la de Mendeléiev són molt semblants, el que palesa que Meyer tenia coneixement de la taula de Mendeléiev.

El camí tradicional dels descobriments científics no acostuma a partir del no res, ni és erràtic, ni fa salts d'acrobàcia. Ben al contrari, els científics dediquen força temps al seguiment de la literatura relativa al seu tema d'estudi. També estableixen col·laboracions científiques per tal d'enriquir els resultats. Però, d'això conclou que contribució i col·laboració són el mateix que *codescobriments* seria un error important. Sovint, persones que han rebut el Premi Nobel han col·laborat amb una àmplia llista de recercadors. També és cert que fer una bona recerca no necessàriament comporta fer un descobriment important. En resum, en el món científic treballar en la mateixa línia i fins i tot participar en la recerca d'un determinat autor no implica necessàriament esdevenir coautor dels seus descobriments.

Per tot això resulta difícil d'entendre l'opinió d'alguns historiadors de la ciència – desconec si en base als llibres de Idhe (Idhe, 1964) i/o van Spronsen (van Spronsen, 1969b) – que parlen del *codescobriments* de la Llei Periòdica, tot considerant que Mendeléiev ha de compartir el mèrit amb els autors citats i particularment amb en Lothar Meyer. Aquesta opinió no és compartida per la majoria de químics que consideren que una comparació detallada dels raonaments i propostes de Meyer i Mendeléiev palesa clarament que és Mendeléiev qui mereix la consideració de pare del sistema periòdic (Col·lecció Clàssics de la Química, vol. 2, pag. 47-55; Seaborg, 1996).

Sembla doncs que un possible repartiment de mèrits no només no estaria d'acord amb les dades que aporten les publicacions científiques dels diversos autors esmentats, sinó que lesionaria greument la genialitat i autoria de Mendeléiev (Gorin, 1996).

Després de Mendeléiev, Henry G. J. Moseley és el científic que més ha contribuït al desenvolupament i millora de la Taula Periòdica. Els seus experiments i la interpretació teòrica dels mateixos (1912-1914) varen donar la resposta que Mendeléiev, mort el 1907, hauria volgut conèixer: per què l'ordenació dels elements en base a llur pes atòmic permetia agrupar-los d'acord llur comportament químic. Alhora, la demostració de Moseley de que l'ordenació dels elements segons el pes atòmic és essencialment coincident amb la del nombre atòmic va ser l'origen de les taules periòdiques actuals, on els elements s'ordenen d'acord amb aquest segon paràmetre (Scerri, 2011).

Malauradament, ni Mendeléiev ni Moseley han rebut el reconeixement científic que mereixien. Mendeléiev va ser proposat per al Premi Nobel de Química l'any 1906, però el guardonat va ser Henry Moissant per haver assolit l'aïllament del fluor. Sorprenentment, va ser Svante Arrhenius (Premi Nobel de Química el 1903) qui va convèncer l'Acadèmia sueca perquè no s'atorgués el premi a Mendeléiev, cosa que va aconseguir, per un sol vot, en ajustada votació. Sembla que l'oposició provenia dels dubtes que havia plantejat Mendeléiev sobre la teoria d'Arrhenius de la dissociació electrolítica. Igualment injusta va ser l'opinió de molts científics occidentals justificant que la precària situació de la ciència a Rússia no es *mereixia* de tenir un Premi Nobel. Rússia tampoc va ser massa generosa amb un fill tan il·lustre, que mai no va ser anomenat membre de l'Acadèmia Imperial de Ciències Russa. En aquest cas, les seves idees massa lliberals expliquen que fos refusat quatre vegades (Col·lecció Clàssics de la Química, vol. 2, pag 66-7).

D'altra banda, Moseley (1887-1915), que tenia una intel·ligència preclara, morí als 27 anys d'un tret al cap quan estava fent de telegrafista en el bàndol anglès a la Primera Guerra Mundial. Probablement Moseley va morir massa jove per poder haver rebut el premi Nobel, però, a diferència de Mendeléiev, no té cap element químic amb el seu nom. A Mendeléiev se li va atorgar l'any 1955 quan la IUPAC, a instàncies de Glenn T. Seaborg i altres investigadors, va donar el nom de mendelevi (Md) a l'element 101.

Un científic que també cal destacar quan es parla de la Taula Periòdica és precisament Glenn T. Seaborg (1912-1999), que va donar nom a l'element 106, el seaborgi (Sg), i que va rebre el Premi Nobel de Química l'any 1951 per la seva contribució a l'estudi dels elements transurànids. Possiblement és el científic que més ha contribuït a l'allargament de la Taula Periòdica, atès que ha descobert o ha participat en el descobriment de molts elements pesants com, entre d'altres, des del plutoni ($Z = 94$) fins al nobeli ($Z = 102$). Alhora, Seaborg va saber resoldre els dubtes que hi havia als voltants del 1940 sobre la ubicació a la taula periòdica dels elements posteriors a l'actini(89) i a l'urani(92), tal com palesa la fig. 2. La seva proposta va ser considerar que no eren elements de transició sinó que formaven part d'una nova sèrie, la sèrie actínida, en paral·lel a la ja establerta sèrie lantànida (Seaborg, 1996; Scerri, 2011).

Què diu i què no diu la Taula Periòdica

La majoria de llibres de química general i de química inorgànica dediquen una part important a presentar la Taula Periòdica, tot lloant la gran utilitat del seu ús i coneixement. Un cop explicats la seva gestació i el format actual, passen a descriure alguns paràmetres, que s'agrupen sota el nom *propietats periòdiques dels elements*, i que es refereixen als radis, energies d'ionització, afinitats electròniques i electronegativitats. A partir d'aquí, en la gran majoria de casos, deixen que el lector, sovint alumne, descobreixi que disposar de la Taula Periòdica no el porta a “saber química”, és a dir, a conèixer les propietats, la estructura i la reaccionabilitat dels elements i de llurs compostos. En d'altres paraules, la informació intrínseca de la Taula Periòdica no és suficient per assolir l'objectiu essencial de la pròpia química que és *conèixer les propietats i estructura de la matèria i llur regles de transformació*.

Aquesta situació molt poques vegades mereix atenció per part dels professors. De fet, l'analogia de la Taula Periòdica amb la pedra de Rosetta és molt atractiva però poc realista. Mentre que quan hom coneix l'escriptura jeroglífica té les portes obertes pel coneixement de la religió i cultura egípcies, tenir a mans la Taula Periòdica no comporta poder anticipar ni el comportament químic dels elements ni moltes de les seves propietats.

Es podria argumentar que a partir de la posició d'un element a la Taula Periòdica es dedueix fàcilment llur configuració electrònica en l'estat fonamental. Això és cert, però també ho és que per un gran nombre d'elements la configuració electrònica no permet deduir quins dels possibles estats d'oxidació són els més freqüents i quines condicions experimentals es requereixen per a llur estabilització. Un bon exemple de la dificultat de conèixer quins són aquests estats d'oxidació la donen els metalls de transició i també elements no metàl·lics com el nitrogen, el fòsfor i el sofre. Una primera conseqüència d'aquesta impossibilitat té repercussions importants en el procés d'aprenentatge de la química si aquest s'inicia amb la formulació de compostos químics en base a la memorització de la Taula Periòdica. Aquest intent pot esdevenir un exercici surrealista, és a dir es poden formular compostos que senzillament no existeixen o que només ho fan en condicions molt particulars.

La Taula Periòdica tampoc dóna resposta directa a preguntes tan significatives com:

Quina llargada, és a dir quants elements, pot arribar a tenir la taula?

Com trobem els elements a la Terra, en forma elemental, o combinats amb d'altres elements?

Quina quantitat hi ha de cada element a la Terra? I a l'Univers?

Quins elements són essencials als éssers vius?

Què diu doncs, de què informa, la Taula Periòdica? La resposta és força breu. *Dóna la relació de parentiu entre els elements químics*. En d'altres paraules, informa que els elements que són propers a la taula tenen configuracions electròniques també properes, el que es tradueix amb un comportament químic semblant, ara bé, no explicita quin és

aquest comportament i fins on arriba aquesta similitud. Així doncs, la millor forma de descriure la Taula Periòdica és comparar-la amb un arbre genealògic (Mingos, 1998), on la característica essencial és palesar la data de naixement i defunció de tots els membres d'una família i les relacions de parentiu entre ells. Ara bé a partir d'un arbre genealògic no es pot deduir si tots, o alguns, membres de la família tenien el mateix caràcter, una aparença física propera, o si compartien sentiments, aficions o habilitats. Ben diferent és el cas quan l'observador d'un arbre genealògic és especialista en la història d'aquell període. En aquesta situació l'observador disposarà d'una eina excel·lent per resumir, relacionar i contextualitzar els seus coneixements històrics.

Una primera conclusió és doncs que la Taula Periòdica és tant més útil com més química coneix l'observador. Com en el cas de l'historiador especialista de l'època a la qual es refereix un arbre genealògic, quan hom disposa d'àmplia informació conceptual i experimental en el terreny químic, la Taula Periòdica és l'eina que permet organitzar, sistematitzar i interrelacionar aquests coneixements. En d'altres paraules, la Taula Periòdica esdevé l'eix vertebrador de la química, és essencial per resumir la informació que hom disposa i és llavors quan, en base a les relacions de parentiu, es poden fer prediccions.

Una segona conclusió és que *iniciar* l'aprenentatge de la química memoritzant total o parcialment la Taula Periòdica no només pot donar pocs fruits, sinó que sovint l'esterilitat de l'esforç de memorització pot portar als alumnes a una important desafecció envers la química. Encara més difícil d'entendre és que avui hi hagi professors de química que organitzin concursos per tal que els alumnes disposin de "les millors frases" (o pot ser regles mnemotècniques) per recordar el símbol dels elements i llur posició a la Taula Periòdica. Cal notar que aquestes frases no tenen cap relació amb la química i difícilment comporten una millora de l'alumne en cap altra àrea de coneixement (A. Tomás Serrano, 2012).

Una darrera conclusió va dirigida no a les primeres passes, sinó al propi procés d'aprenentatge de la química. Quan la quantitat de dades existents depassa àmpliament la possibilitat de conèixer-les totes, té sentit d'explicar química memoritzant reaccions, propietats, dades estructurals...? Quan es coneixen 118 elements i desenes de milions de compostos, es pot intentar descriure individualment el comportament químic dels 80-90 elements que es poden trobar al laboratori? Davant d'aquesta allau d'informació no hi ha gaires alternatives. A l'hora d'explicar química cal fer ús de la Taula Periòdica per tal de dipositar, resumir i sistematitzar la informació que s'està adquirint. Aquest procés es farà en sentit contrari quan hom vulgui fer prediccions o esbrinar la química d'un determinat element.

Com es pot abordar l'ensenyament de la Taula Periòdica?

A continuació es fa una proposta del procediment que es podria seguir per presentar la Taula Periòdica a alumnes que estan fent les primeres passes en el món de la química.

Òbviament, la Taula Periòdica és un tema essencial i imprescindible en els cursos de química general i de química inorgànica a nivell universitari. I cal dir que la manera de presentar-la tampoc és una qüestió banal (Mingos, 1998). Ara bé, atesa l'orientació preferent d'EduQ cap als primers nivells d'aprenentatge de la química, només considerarem la primera situació.

El primer que cal plantejar és quins coneixements previs cal tenir i com es pot transmetre, des del primer dia, l'interès de conèixer la Taula Periòdica. Els alumnes haurien de saber el següent, per aquest ordre: 1) els elements químics són les unitats fonamentals (podríem dir les lletres de l'alfabet) de la matèria, és a dir de tot el que ens envolta, fins i tot del que no veiem, com l'atmosfera, i de nosaltres mateixos; 2) els elements químics estan formats per àtoms que contenen un nucli central, uns electrons interns i uns de perifèrics, essent aquests els que determinen les propietats dels elements i llur capacitat de formar compostos; 3) a partir d'uns 90 elements (dels 118 coneguts) avui s'han descrit desenes de milions de compostos químics, el que indica la gran riquesa de comportament d'aquests elements i fa imprescindible posar ordre i sistematitzar els coneixements. Precisament per això és útil la Taula Periòdica.

Per tal d'augmentar la motivació es pot fer una mica d'història, parlar de la genialitat de Mendeléiev, de les circumstàncies del descobriment de la Taula Periòdica i de la seva evolució fins als nostres dies (González Duarte, 2005). Tot seguit es pot entrar pròpiament en matèria establint primer l'ordenació dels elements en funció de llur nombre atòmic, després la divisió de la taula en grups i períodes i, finalment, la classificació dels elements en tres grans blocs: metàl·lics, no metàl·lics i semiconductors (fig. 3). Els gasos nobles, que es poden esmentar, queden al marge d'aquesta classificació.

Per completar aquesta primera visió de la Taula Periòdica, també es poden considerar *qüestions que no troben resposta directa a la taula*, tals com la seva llargada i les abundàncies relatives dels elements, ambdues relacionades amb l'estabilitat nuclear. I també *palesar la proximitat de la química a la qualitat de vida* analitzant i comparant tres elements força diferents, tals com el coure (metàl·lic), el clor (no metàl·lic) i el silici (semiconductor), indispensables, respectivament, per a la conducció elèctrica, la potabilització de l'aigua, i la microelectrònica.

Es pot constatar que aquesta presentació de la Taula Periòdica no requereix memoritzar ni el nom, ni el símbol, ni la posició exacta de cap dels 118 elements. Tampoc exigeix saber formular, el que no vol dir que no es parli de compostos químics. Fins i tot per tal d'engrescar als alumnes se'ls pot demanar que portin mostres de matèries primeres a partir de les quals s'obté l'element pur i també objectes on l'element és protagonista. Per exemple, en el cas del coure: minerals de coure (calcopirita, atzurita...) fils elèctrics, estris de bronze i de llautó, monedes de centim d'euro; en el del clor: sal comú, lleixiu, sulfumant, Voltaren® (diclofenac sòdic); i en el del silici: sorra de platja, olia de silici, microxip, estris de vidre, massilla de silicona. Només amb aquestes mostres, es pot parlar molt de química!

Conclusions

La Taula Periòdica dóna la relació de parentiu entre els elements químics, és a dir, indica que els elements que ocupen llocs propers a la taula tenen un comportament químic semblant, sense explicitar quin és aquest comportament i fins on arriba aquesta similitud.

La utilitat de la Taula Periòdica és funció directa del grau de coneixements de l'observador. Al llarg del procés d'aprenentatge, la Taula Periòdica permet dipositar, resumir i sistematitzar la informació que hom adquireix. Posteriorment, aquest procés es farà en sentit contrari quan hom vulgui fer prediccions o esbrinar la química d'un determinat element.

El fet que la Taula Periòdica no aporti intrínsecament coneixements de química és perfectament compatible amb que sigui una eina indispensable per a l'aprenentatge d'aquesta disciplina.

Per alumnes que s'inicien en l'aprenentatge de la química, l'esterilitat de l'esforç de memorització de la Taula Periòdica i de les valències dels elements, pot portar-los a un rebuig irreversible envers aquesta branca de la ciència.

Si bé la presentació de la Taula Periòdica requereix uns coneixements previs sobre què és la matèria i llur lleis de transformació no impedeix que, independentment del nivell del curs de química, es pugui explicar la seva essència i utilitat de forma assequible i entenedora (fig. 4).

Bibliografia

GONZÁLEZ DUARTE, P. (2005). *Les mil cares de la taula periòdica*; Facultat de Ciències de la Universitat Autònoma de Barcelona: Bellaterra (Barcelona).

GORIN, G. (1996). *J. Chem. Educ.*, 73(6): 490-493.

IDHE, A. (1964). *The Development of Modern Chemistry*; Harper and Row: New York; Cap. 9.

MENDELEEV, D. I. (1869a). *J. Rus. Chem. Soc.*, 1: 60-77.

MENDELEEV, D. I. (1869b). *Z. Chemie*, 12: 405.

MENDELÉIEV, D. I. (2005). *La relació entre les propietats dels elements i llur pes atòmic*. (Clàssics de la Química, 2) [Traducció i presentació de J. M. Llinàs i L. Victori] Barcelona: Societat Catalana de Química.

MENDELÉIEV, D. I. (2008). *La regularitat periòdica dels elements químics*. Clàssics de la Química; 4) [Traducció i presentació de J. M. Llinàs i L. Victori]. Barcelona: Societat Catalana de Química.

MEYER, L. (1870). *Ann. der Chem. und Pharm. Suppl.*, VII: 354-364.

MINGOS, D. M. P. (1998). *Essential Trends in Inorganic Chemistry*; Oxford University Press: New York.

ROMÁN POLO, P. (2002). *Mendeléiev, El profeta del orden químico*; Nivola: Madrid.

SEABORG, G. T. (1996). *J. Chem Soc., Dalton Trans.*, 3899-3907.

SCERRI, E. R. (2011). *The Periodic Table, A Very Short Introduction*; Oxford University Press Inc.: New York.

TOMÁS SERRANO, A. (2012). *Alambique*, 72: 99-104.

VAN SPRONSEN, J. W. (1969a). *J. Chem. Educ.*, 46(3): 136-139.

VAN SPRONSEN, J. W. (1969b). *The Periodic System of the Chemical Elements*; Elsevier: Amsterdam.

Peus de Figures

Figura 1.- D. I. Mendeléiev l'any de la presentació de la seva primera Taula Periòdica (1869) i la segona versió de la taula (1871), on es palesa la predicció de l'existència dels elements Sc (P. at. 44), Ga (P. at. 68) i Ge (P. at. 72).

Figura 2.- Taula Periòdica dels anys 1941-1944 on els elements transurànids, neptuni i plutoni, es consideren membres d'una sèrie "urànida" i els actínids formen una quarta sèrie de transició.

Figura 3.- La forma semi-llarga de la taula periòdica amb els elements descoberts fins el 2013. Una primera visió palesa la classificació dels elements en metalls i no metalls, amb una regió fronterera que inclou els set elements semiconductors.

Figura 4.- L'esforç de l'aprenentatge sempre té recompensa, i amb això la taula periòdica no és cap excepció.

Pilar González Duarte

És doctora en ciències químiques, màster de química per la Universitat de Michigan (Ann Arbor, EUA) i catedràtica emèrita 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 (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'Institut d'Estudis Catalans a la Secció de Ciències i Tecnologia. Actualment, la seva activitat professional se centra particularment en la divulgació científica.

A. e.: *Pilar.Gonzalez.Duarte@uab.cat*.

