

## ENSENYAMENT D'HISTÒRIES SOBRE COLOR I ELEMENTS EN L'ANY INTERNACIONAL DE LA TAULA PERIÒDICA

**ROSA M. MELIÀ;<sup>1</sup> M. TURA PUIGVERT<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> INS INFANTA ISABEL D'ARAGÓ I ASSOCIACIÓ DE PROFESSORES I PROFESSORS DE FÍSICA I QUÍMICA DE CATALUNYA.

<sup>2</sup> ASSOCIACIÓ DE PROFESSORES I PROFESSORS DE FÍSICA I QUÍMICA DE CATALUNYA.

Paraules clau: *color, pigments, colorants, indústria, segle XIX*

### Teaching stories about colour and elements in the International Year of the Periodic Table

Summary: *The use and scientific knowledge of coloured substances underwent significant development at the time when the periodic table was structured. This paper highlights the discovery of new elements and the synthesis of new pigments and dyes as a source of major changes in science, art, fashion, industry, and economics. These are stories for learning chemistry in its historical context.*

Key words: *colour, pigments, dyes, industry, 19th century*

### El context

A mitjans del segle XIX es produeixen grans canvis en l'estudi de les substàncies químiques i, des de diferents àmbits de treball, s'estructuren les bases de la química teòrica actual. El coneixement cada cop més extens sobre les propietats de les substàncies i la necessitat de posar-hi ordre amb una classificació coherent s'accentuà al llarg de moltes dècades.

El creixement de la química orgànica i la teoria dels tipus, els criteris de puresa, els conceptes *element*, *àtom* o *molècula* (Caamaño *et al.*, 2019) van ser molt debatuts i la seva acceptació, fonamental per a la construcció de l'ordena-

ment sistemàtic dels elements i el naixement de la química com a ciència al llarg del segle XIX. Es construïa a poc a poc l'àtom químic (Agudelo i Izquierdo, 2019) i la formulació orgànica.

### Relacions entre elements de la taula periòdica i el color

Com a resultat d'una primera cerca de narracions idònies per contribuir a ensenyar química en la commemoració del sesquicentenari de la taula periòdica, en les imatges mostrem relacions que actualment es poden establir entre els elements químics i el color (Puigvert, 2020): les substàncies simples acolorides (fig. 1), els noms d'elements que es relacionen amb el color (fig. 2), el descobriment de nous elements que donaran lloc a nous pigments (fig. 3), els elements que intervien en l'emissió de llum (fig. 4) i els elements que intervien en el color dels leds (fig. 5).

El desenvolupament de l'espectroscòpia i la recerca experimental en els laboratoris han estat fonamentals per a la interpretació de la naturalesa de les substàncies. En aquesta publicació ens centrem en la importància que ha tingut per a la química la síntesi de substàncies acolorides.

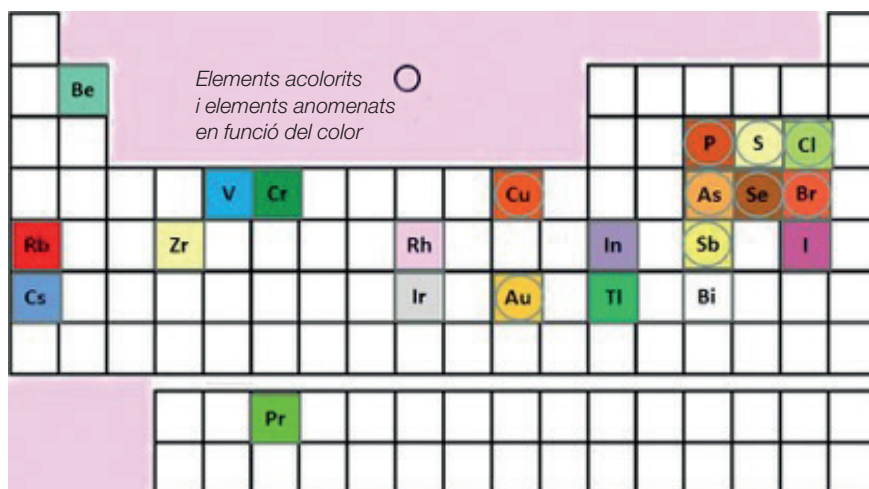


FIGURA 1. Substàncies simples acolorides i elements anomenats en funció del color.  
FONT: Elaboració pròpia.

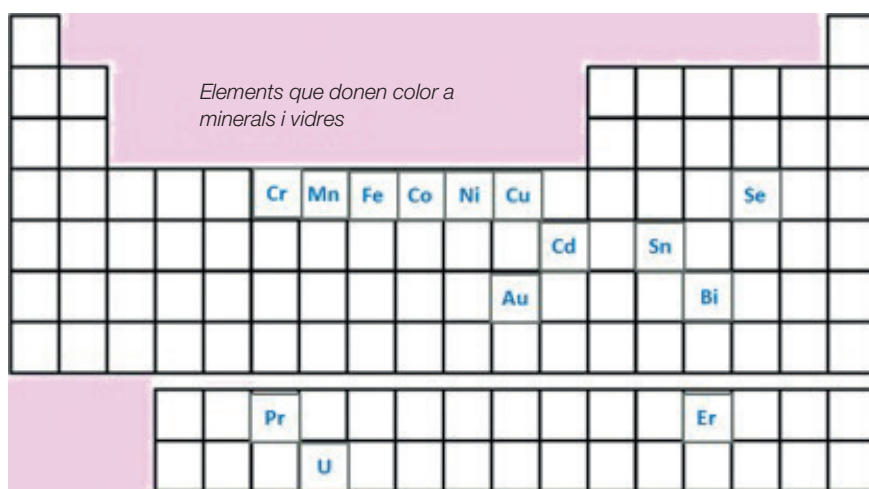


FIGURA 2. Elements que es relacionen amb el color de vidres i minerals.  
FONT: Elaboració pròpia.



### Descoberta de nous elements i síntesi de nous pigments

Des de mitjans del segle XVIII fins a mitjans del segle XIX van ser descoberts uns metalls de transició que van ser bàsics per produir nous pigments inorgànics (fig. 3). Abans ja era un fet freqüent que pintors i tintorers treballessin en equip amb artesans per aconseguir els millors colors, però, des del segle XVIII, sorgeixen amb força els químics que aïllen substàncies pures, descobreixen elements i n'estudien la seva reactivitat. Els nous compostos acolorits, produïts a escala industrial, van donar lloc als pigments que van provocar noves tendències en pintura: els impressionistes, els fauvistes i els iniciadors de la pintura abstracta (Ball, 2003).

Recordem l'any de descoberta dels metalls a què fem referència dins d'aquest període: cobalt, 1735; zinc, 1751; níquel, 1751; manganès, 1774; crom, 1780; molibdè, 1781; titani, 1792; vanadi, 1801; cadmi, 1817. Esmentem els pigments inorgànics sintetitzats en aquesta època: blau de Prússia o de Diesbach, hexacianoferrat(II) de ferro(III), 1704; verd de Scheele, hidrogenarsenit de coure(II), 1775; colors de crom, de Vauquelin, 1780; blanc de titani, diòxid de titani, 1792; blau de cobalt o de Thenard, aluminat de cobalt(II), 1807; verd maragda, acetoarsenit de coure(II), 1814; colors de cadmi o de Stromeyer, 1817; blau ultramar o de Guimet, 1826, entre d'altres.

El blau dels vitralls gòtics i la porcellana xinesa eren secrets molt ben guardats. A l'edat mitjana no s'havia descobert el cobalt, però els vitralls blaus que contenien sals de cobalt són els que han mantingut tota la intensitat del color al llarg dels segles. El vidriat de la porcellana xinesa es va estendre a tot el món àrab, al Japó i posteriorment a Europa.

Louis Jacques Thenard va rebre l'encàrrec de Jean-Antoine Chaptal, científic que va ser ministre d'Interior de França del 1801 al 1804, per trobar un substitut barat al lapislàtzuli. Thenard va estudiar el procés que se seguia amb el blau de la porcellana de Sèvres i va assajar els nous pigments que obtenia fent reaccionar amb proporcions diverses el fosfat i l'arseniat de cobalt amb alumina. El 1804, va publicar el procediment d'obtenció del pigment blau de cobalt, que es va poder emprar en pintura perquè era suficientment estable.

El 1765, es descobreix a Ekaterinburg la crocoïta, anomenada *plom vermell*. Louis Nicolas Vauquelin en va rebre una mostra per ser analitzada i hi va detectar un nou metall. El va anomenar *crom*, per la seva tendència a produir compostos acolorits. Va proposar el cromat de plom com a pigment. A partir d'aleshores, els principals pigments de crom produïts industrialment han estat el cromat de plom, groc; l'oxicromat de plom, taronja, i l'òxid de crom(III) dihidrat, verd viridià. Trobem colors de crom en l'obra de pintors importants, tot i la toxicitat del crom(VI) i la possible degradació posterior del color per agents atmosfèrics.

El blanc de titani és un pigment molt resistent que absorbeix les radiacions infraroja i ultravioleta, amb fluorescència. Ha pogut substituir els pigments blancs de plom, més inestables i tòxics. És el pigment més usat per pintar de blanc i per aclarir altres colors.

Amb el cadmi, descobert per Friedrich Stromeyer, es poden obtenir pigments de colors molt vistosos. El sulfur de cadmi, groc, opac i permanent, malgrat la seva toxicitat, va ser molt acceptat pels pintors del segle XIX. A més, es poden obtenir els colors verd, marró, taronja, vermell intens o vermell fosc, segons la quantitat d'impureses de sofre o seleni que contingui el sulfur de cadmi.

El blau ultramar s'anomenava així perquè la primera matèria provenia d'Afganistan i, via l'Orient Mitjà, arribava al port de Venècia. El pigment s'obtenia polvoritzant la lazurita, un cop separada del lapislàtzuli. El mineral era valorat com a gemma i, per tant, de preu elevat.

L'any 1826, el francès Jean Baptiste Guimet i, el 1828, l'alemany Christian Gmelin van arribar a l'obtenció industrial del blau ultramar a partir de caolí, sofre, sosa i carbó. Es va substituir l'ús de lapislàtzuli com a pigment. Modificant les proporcions en el procés de fabricació, s'obtenien variacions en el color blau a més clar, més lila o més verdós. En la composició de la latzurita  $[3\text{Na}_2\text{O}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 2\text{Na}_2\text{S}]$  sorprenia que la causa del color blau no fos la presència d'algun dels metalls de transició. L'explicació es troba en el sofre. En medi àcid el color desapareix i es desprèn olor d'àcid sulfhídric. El color es deu a la presència dels ions trisulfur distribuïts regularment en la seva xarxa cristal·lina (Puigvert, 2020).

### Producció industrial de colorants orgànics

Fins ben entrada la segona meitat del segle XIX, la recerca sobre colorants va ser totalment empírica. Encara no es coneixien les fórmules orgàniques. Es partia del benzè, el toluè, l'anilina, la toluïdina, la quinolina i productes relacionats. En els laboratoris es provaven les propietats i la reactivitat dels productes obtinguts. Amb els colorants es comprovava quines fibres es tenyien i quin procés de fixació estabilitzava millor el color de les fibres tenyides.

Un cas emblemàtic de les dificultats d'identificació de substàncies és el de l'anilina. El 1843, August Wilhelm von Hofmann identifica com la mateixa substància —anilina— els productes *crystalin*, *cianol*, *anilina* i *benzidam*, que s'havien obtingut separatament i per processos diferents en les dècades anteriors.

Va sorgir una generació de químics que s'arriscaven a fabricar productes químics a escala industrial. Molts colorants sintètics entrarien en competència amb les substàncies obtingudes d'extractes de vegetals i animals. Seleccionem quatre casos representatius: la fucsina, la mauveïna, l'alitzarina i l'anyil.

L'any 1856, el químic polonès Jacob Natanson obtenia la fucsina, un colorant de color fúcia, per l'acció del clorur d'etilè sobre l'anilina. Un xic més tard, François-Emmanuel Verguin va obtenir la mateixa substància per oxidació de l'anilina amb clorur d'estany(IV) i va escollir el nom de *magenta*. S'obriren fàbriques a Lió, Manchester i Ludwigshafen i es van comercialitzar els colors blau imperial, castany Bismark i blau de quinolina, però encara no es comprenia la seva química. La síntesi de la fucsina no es va aconseguir fins al 1878, amb Emil i Otto Fisher.

El descobriment de la mauveïna és molt citat en història de la química. Com moltes altres serendipitats, no és fruit exclusiu de la casualitat, ja que no s'hauria derivat el mateix si William Henry Perkin hagués estat una altra persona. A mitjans del segle XIX, la indústria farmacèutica emprava grans quantitats d'opi, morfina, cocaïna i quinina per a tota mena de tractaments. Importar i processar aquestes drogues resultava costós, per la qual cosa farmacèutics i químics es van preguntar si no es podria aconseguir una síntesi que les abaratís. Hofmann imaginava que es podria obtenir quinina per addició del grup amina a la naftalina. Des de 1853, Perkin estudiava amb Hofmann al Royal College of Chemistry de Londres i investigava la síntesi de la quinina. Amb la idea que la molècula de la quinina es diferenciava del dímer de la d'alliltoluïdina en dues molècules d'aigua, va combinar alliltoluïdina amb dicromat de potassi i en va resultar una substància marró ben diferent de la quinina. En la reacció amb sulfat d'anilina va obtenir un precipitat fosc que va tenyir de lila el drap de laboratori i va comprovar que també servia per tenyir seda. Havia sintetitzat la porpra de tir o mauveïna. Hofmann desaconsellà al jove Perkin l'obtenció industrial del colorant. El veia molt jove per afrontar els problemes econòmics, d'enginyeria i de seguretat que implicava el muntatge a gran esca-

la. El 1856, Perkin inicià la fabricació de mauveïna després d'obtenir la patent legal per comercialitzar-la i l'ajut econòmic i humà de la seva família. Fou un descobriment en un moment oportú, ja que la classe mitjana europea gastava molt en vestits i tapisseria. El lila es va posar de moda a les classes altes i, posteriorment, entre les sufragistes angleses i les feministes de tot el món. Seguir l'evolució personal de Perkin, fins que el 1874 es retirà del negoci industrial i es tornà a dedicar a la recerca, és una narració interessant dins el context de la producció de colorants a Europa.

El 1829, Pierre Jean Robiquet va aconseguir aïllar la substància que actuava com a colorant en la rogeta, també anomenada *alitzarina* o *gransa*, però no es va aconseguir la síntesi de l'alitzarina fins l'any 1869, quan la química ja estava prou madura per dissenyar síntesi estructural de molècules noves. El 1866, Friedrich August Kekulé havia proposat l'estructura del benzè i s'iniciava una nova etapa per als colorants. Coneguda l'estructura del colorant natural, es dissenyava la síntesi molecular en el laboratori i, quan ja s'havia aconseguit l'obtenció, calia dissenyar la producció rendible a escala industrial. Tres grups independents van aconseguir per diferents camins la síntesi d'alitzarina. Aleshores s'iniciava la guerra de patents per dominar els mercats. La producció d'alitzarina sintètica va desplaçar les plantacions de rogeta, cosa que va representar un desastre per als agricultors francesos.

Descriure l'aventura personal d'Adolf von Baeyer per sintetitzar l'anyil sensibilitza sobre les dificultats de la recerca, la complexitat de la indústria química i les conseqüències de les grans produccions industrials. Adolf von Baeyer va descobrir la síntesi de la indigotina i va vendre a BASF (Badische Anilin und Soda Fabrik) els drets d'explotació comercial. Des de la identificació de la fórmula fins a la seva síntesi, l'aventura va durar trenta-dos anys i li va valdre el Premi Nobel de Química del 1905. En el discurs que va ser llegit davant la Reial Acadèmia Sueca de Ciències es ressaltà la sinergia entre ciència i tecnologia, la importància de la inversió en recerca científica i la influència de la indústria química en les balances econòmiques internacionals. L'anyil o indi natural, obtingut a partir de les plantes tintoreres, com el glast de França i les *indigoferes* d'Amèrica Central i l'Índia, va ser ràpidament substituït pel sintètic.

### **De les empreses familiars de colorants als grans trusts del segle xx**

A mitjans del segle XIX van sorgir moltes iniciatives privades per constituir societats dedicades a la fabricació industrial de colorants artificials. Al Regne Unit, destaquen Leech, Neal and Co, fundada per produir pintures i òxids de ferro; Levinstein Ltd., dedicada a la producció de magenta i colorants azoics, i Read Holliday and Sons Ltd., dedicada a la destil·lació de quitrà de carbó, colorants d'anilina i colorants azoics. A Alemanya, Bayer AG, fundada a Wuppertal per Friedrich Bayer i Johann Friedrich Weskott com a fàbrica de tints; BASF, fundada a Ludwigshafen, per Friedrich Engelhorn, fàbrica de carbonat de sodi i colorants d'anilina; Hoechst, fundada per Wilhelm Meister, Eugen Lucius, August Müller i Gustav von Brüning a Höchst per produir colorants sintètics, i AGFA (Aktien-gesellschaft für Anilinfabrikation), iniciativa de Paul Mendelssohn Bartholdy i Carl Alexander von Martius, per fabricar anilina. Als Estats Units, l'imperi Dupont s'inicia el 1802, quan Eleuthère Irénée du Pont de Nemours, col·laborador de Lavoisier i fill d'hugonot escapat del terror revolucionari, construeix la fàbrica de pólvora a Willmington. Més tard fabricarà colorants i moltes més substàncies químiques.

Al cap de mig segle de producció, es van donar canvis considerables en el desenvolupament del model de negoci que s'havia iniciat en cada país (Homburg *et al.*, 1998). Des de 1856, les firmes britàniques van liderar el mercat durant vuit anys, però les alemanyes ho van fer durant dècades,

mentre que les coetànies americanes hi van tenir un paper secundari. Estudis d'aquest període, considerat com la segona revolució industrial, destaquen un complex procés de coevolució entrelaçant firmes, tecnologia i institucions nacionals (Murmman, 2003). Comparant els processos de transformació dels països es veuen fonamentals les diferències en les institucions educatives i en la política de patents així com el tipus de vinculació de les firmes prestigioses als centres de recerca en química orgànica.

Ja en el segle xx es van formar els grans càrtels industrials: el 1925, Bayer, BASF, Hoechst i AGFA constituïren IG Farben. El 1926, es creà ICI (Imperial Chemical Industries) a partir de la ja anteriorment fusionada British Dyestuffs Corporation Ltd., Brunner Mond, Nobel Explosives i United Alkali Company. El 1996, les suïsses ja prèviament fusionades Ciba-Geigy i Kern-Sandoz formaren Novartis. Totes elles havien començat produint colorants sintètics (Homburg *et al.*, 1998).

### **Conclusió**

Amb la perspectiva de cent cinquanta anys, un conjunt de relats sobre química i color en el segle XIX ens ajuda a construir aspectes fonamentals en educació química. Així com l'autoria de la creació de la taula periòdica no podem atribuir-la exclusivament a Mendelèiev (Bertomeu, 2019), en una aproximació científica a les substàncies acolorides, és fonamental mostrar la importància de la col·laboració professional entre científics, enginyers i artesans, la coevolució d'indústria, instituts de recerca i universitats i fer èmfasi que en el món laboral han d'estar presents els valors d'una responsabilitat corporativa global. Val la pena ensenyar històries que ajudin a comprendre la naturalesa de la ciència (Grapí, 2015) i que potenciïn una química responsable amb la salut de les persones i respectuosa amb el medi.



## Referències bibliogràfiques

- AGUDELO, C.; IZQUIERDO M. (2019). «La taula periòdica en l'ensenyament de la química, una invitació a pensar sobre els materials». *Educació Química EduQ*, 25, p. 41-46.
- BALL, P. (2003). *La invención del color*. Madrid: Turner - Fondo de Cultura Económica.
- BERTOMEU SÁNCHEZ, J. R. (2019). «El sistema periòdic i la pedagogia química del segle XIX: la creativitat col·lectiva de les aules de ciències». *Educació Química EduQ*, 25, p. 21-31.
- CAAMAÑO, A. GUITART J.; GRAPÍ P. (2019). «L'educació del concepte *element químic* i de la taula periòdica a l'educació secundària». *Educació Química EduQ*, 25, p. 32-40.
- GRAPÍ, P. (2015). «El repte de les narracions històriques en l'ensenyament de les ciències. El cas de la pila de Volta». A: GRAPÍ, P.; MASSA, M. R. (ed.). *Actes de la XIII Jornada de la Història de la Ciència i l'Ensenyament*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, p. 85-92.
- HOMBURG, E.; TRAVIS, S.; SCHRÖTER H. G. (1998). *The chemical industry in Europe, 1850-1914: Industrial growth, pollution, and professionalization*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- MURMANN, J. P. (2003). *Knowledge and competitive advantage: The coevolution of firms, technology, and national institutions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- PUIGVERT, M. T. (2020). «Els colors en la taula periòdica». *Atzavara*, 30, p. 15-26.