

# SOBRE LA FORMACIÓ ARTIFICIAL DE LA UREA

Friedrich Wöhler

*Traducció, introducció i comentaris  
d'Albert Moyano i Baldoire i Anton Vidal i Ferran*

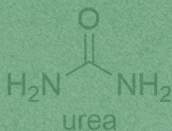
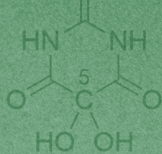
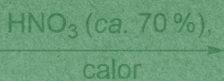
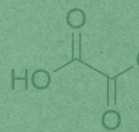
**Clàssics de la Química 12**

SOCIETAT CATALANA DE QUÍMICA

Filial de l'Institut d'Estudis Catalans



àcid cianic

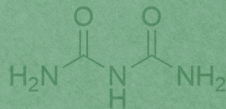
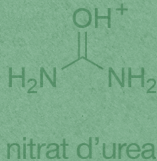
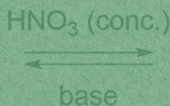
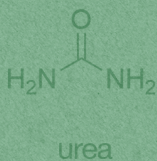


*Wöhler*

àcid  
al·loxànic

àcid  
benzoic

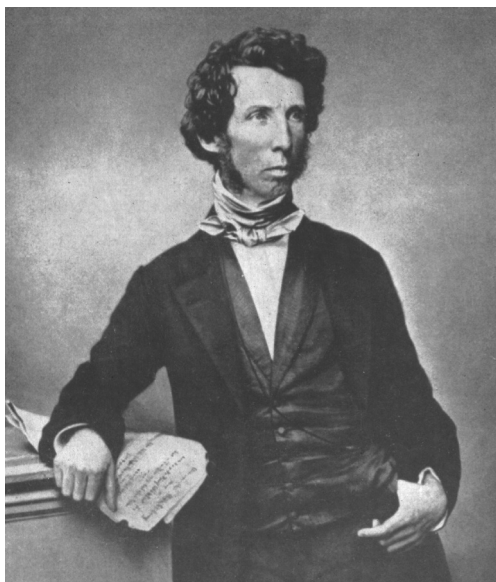
àcid úric



Institut  
d'Estudis  
Catalans



SOBRE LA FORMACIÓ ARTIFICIAL  
DE LA UREA



*Wöhler.*

Friedrich Wöhler (Eschersheim, 1800 - Göttingen, 1882).

Imatges procedents de la Col·lecció Edgar Fahs Smith,  
Kislak Center for Special Collections, Rare Books  
and Manuscripts, Universitat de Pensilvània,  
Estats Units d'Amèrica, de domini públic.

# SOBRE LA FORMACIÓ ARTIFICIAL DE LA UREA

Friedrich Wöhler

Traducció, introducció i comentaris  
d'ALBERT MOYANO I BALDOIRE i ANTON VIDAL I FERRAN

**Clàssics de la Química 12**

SOCIETAT CATALANA DE QUÍMICA  
Filial de l'Institut d'Estudis Catalans

Biblioteca de Catalunya. Dades CIP

**Wöhler, Friedrich, 1800-1882, autor**

Sobre la formació artificial de la urea. — Primera edició. — (Clàssics de la química ; 12)

Bibliografia

ISBN 9788499657646

I. Wöhler, Friedrich, 1800-1882. Über künstliche Bildung des Harnstoffs.

II. Wöhler, Friedrich, 1800-1882. Über künstliche Bildung des Harnstoffs.

Català III. Moyano i Baldoire, Albert, editor literari, traductor IV. Vidal i Ferran,

Anton, editor literari, traductor V. Societat Catalana de Química. VI. Títol VII.

Col·lecció: Clàssics de la química ; 12

1. Wöhler, Friedrich, 1800-1882. Über künstliche Bildung des Harnstoffs 2. Urea —

Síntesi 3. Compostos orgànics — Síntesi 4. Química orgànica — Història

547.495.2.057

547.057

547(091)

Editors de la col·lecció «Clàssics de la Química»:

Consol Blanch i Colat i Pere Grapí i Vilumara

© Albert Moyano i Baldoire i Anton Vidal i Ferran, per la traducció,

la introducció i els comentaris

Editat per la Societat Catalana de Química,

filial de l'Institut d'Estudis Catalans

Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: desembre de 2024

Text revisat lingüísticament per la Unitat d'Edició

del Servei Editorial de l'IEC

Disseny de la coberta: Estudi Barreras

Compost per fotocomposició gama, sl

Imprès a Ediciones Gráficas Rey, SL

ISBN: 978-84-9965-764-6

Dipòsit Legal: B 19648-2024

DOI: 10.2436/10.2003.05.1



Aquesta obra és d'ús lliure, però està sotmesa a les condicions de la llicència pública de Creative Commons. Es pot reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada. Es pot trobar una còpia completa dels termes d'aquesta llicència a l'adreça: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>.

## TAULA

Presentació, <i>per Consol Blanch i Colat i Pere Grapí i Vilumara</i>	7
Introducció	15
La síntesi de la urea com a mite fundacional de la química orgànica	15
Notes biogràfiques sobre Friedrich Wöhler	17
Primera part	25
Sobre la formació artificial de la urea	25
Über künstliche Bildung des Harnstoffs	31
Segona part	37
1. Comentaris a l'article de Wöhler des de la perspectiva de la química orgànica moderna	37

2.	Perspectiva històrica dels resultats de Wöhler sobre la formació artificial de la urea	46
3.	Influència del descobriment de Wöhler en el seguiment de la teoria del vitalisme	51
4.	Aportacions de Wöhler, Liebig i Kolbe a la química orgànica moderna	59
5.	Conclusions	88
	Referències	91



## PRESENTACIÓ

En el desè volum d'aquesta col·lecció dedicat a la metodologia general per a la síntesi orgànica de molècules complexes del professor Elias James Corey, a l'inici de la presentació esmentàvem que la síntesi de la urea per part de Friedrich Wöhler, el 1828, va marcar una fita en la síntesi de productes naturals i va donar origen a la disciplina de la química orgànica. El present volum està destinat a posar en relleu l'obra de Wöhler, la incidència que va tenir en el seu temps i com ha transcendit fins als nostres dies.

En la introducció d'aquest dotzè volum, els autors mostren que la conversió del cianat d'amoni en urea, descrita per Wöhler el 1828, va esdevenir el *mite fundacional* de la química orgànica. Mite del qual, molt elegantment, presenten la versió *canònica* que unificava el territori dels compostos inorgànics i el dels orgànics, i, per tant, eliminava la necessitat de concurrència de l'acció d'una *força vital* per a obtenir al laboratori compostos d'origen vegetal o animal, els quals

fins aleshores es creia que únicament es podien generar mitjançant la intervenció d'organismes vius.

De les notes biogràfiques que es descriuen, volem destacar alguns trets característics que emmarquen la personalitat d'aquest gran científic. Wöhler va ser un químic vocacional, tot i que l'any 1823 es va doctorar en medicina a la Universitat de Heidelberg. Animat pel seu professor d'institut va començar a fer experiments en un laboratori casolà; d'aquí va sortir la seva primera publicació sobre la determinació del contingut de seleni en fòssils. Durant l'època d'estudiant de medicina va treballar al laboratori del químic Leopold Gmelin i aquesta experiència ajudà Wöhler a focalitzar-se en la química. La formació com a químic va culminar amb l'estada de dos anys a Estocolm, on va treballar amb Jöns Jakob Berzelius en l'àmbit de la mineralogia. Els dos científics van començar una llarga i profunda col·laboració, i Wöhler va traduir a l'alemany una bona part de les publicacions del seu mentor.

De retorn a Alemanya, Wöhler va exercir de professor de química i mineralogia a Berlín (1825). Tenia el laboratori a l'edifici de l'Escola Municipal de Comerç, feia recerca en el camp de la síntesi inorgànica i va ser en aquesta època que va realitzar la síntesi *inesperada* de la urea, quan es proposava obtenir el cianat d'amoni (1828). És molt interessant la comunicació per correspondència que Wöhler manté amb Berzelius sobre la descoberta i la identificació de la urea. També d'aquestes dates és l'inici de l'amistat i la col·laboració entre Wöhler i Justus von Liebig, especialment en el període en què Wöhler va ocupar la plaça de professor a l'Institut de Tecnologia de Kassel (1831) i la de professor ordinari de química de la Universitat de Göttingen (1836-1857), on el seu mestratge va ser profitós fins a la seva mort. De la col·laboració entre ambdós

científics se'n deriven fites importants en el desenvolupament de la química orgànica, tant des del punt de vista experimental d'aïllament de nous productes naturals, com d'estudi de la seva reactivitat química i la identificació dels grups funcionals. Durant el període a Göttingen, Wöhler va sintetitzar, també, molts compostos inorgànics i va contribuir a aplicacions de la química analítica, tant amb mostres minerals com biològiques. Va formar un gran nombre de deixebles de gran talla científica. En resum, Wöhler va ser un químic i investigador excel·lent, experimentador nat, creador de coneixement i formador de nous científics que han transcendit fins als nostres dies, obert a la comunicació i a la col·laboració amb els col·legues i els mentors.

En la primera part d'aquesta obra es presenta la versió en català i la versió original de l'article de Wöhler «Sobre la formació artificial de la urea», que fou publicat el 1828 a la revista *Annalen der Physik und Chemie*. Si bé l'obtenció de la urea no va ser una síntesi programada com a tal, sí que és notori destacar que Wöhler va aïllar, caracteritzar i comprovar les propietats del producte de reacció que s'obtenia, i, a més, va comparar les propietats de la urea sintètica amb les de la urea aïllada i cristal·litzada de fonts naturals.

En la segona part podreu trobar, en el primer apartat, els comentaris dels autors a la traducció del text descriptiu de Wöhler, des de la perspectiva de la química orgànica moderna, il·lustrats amb les reaccions que no apareixien en el text de Wöhler, els mecanismes de reacció acceptats actualment que expliquen el descobriment de Wöhler i les reaccions que acompanyarien tots els assajos per a determinar les propietats i la reactivitat de la urea. Tot això, resseguint els treballs dels diversos científics que han aprofundit en l'obra de Wöhler al llarg dels quasi dos-cents anys que ens separen de la seva descoberta.

També fan referència a un aspecte cabdal de l'estructura dels compostos químics, la isomeria. Wöhler no en parla directament, però sí que presenta dades experimentals de la composició elemental de la urea i el cianat d'amoni, les quals són coincidents, tot i que ambdues substàncies presenten propietats diferents.

En el segon apartat, els autors posen de manifest la perspectiva històrica dels resultats de Wöhler sobre la formació artificial de la urea, tot analitzant els treballs anteriors durant la seva estada amb Berzelius a Estocolm.

En el tercer apartat els autors parlen de la influència del descobriment de Wöhler en el seguiment de la teoria del vitalisme, tant entre els seus contemporanis com pel que fa a les reflexions dels historiadors de la ciència d'avançat el segle xx. En aquest aspecte, els autors han fet palès que la memòria de Wöhler de 1828 no va suposar, ni de bon tros, el desbancament de la força vital com a interven-tora necessària per a la formació de compostos orgànics. El vitalisme, com a doctrina oposada al mecanicisme, va ser un corrent filosòfic complex amb moltes variants que van coexistir fins al segle xix. La troballa de Wöhler de 1828, malgrat el seu entusiasme, va representar per al vitalisme una anomalia incapaç de fer-lo trontollar. Probablement, la recerca de Wöhler va ser força més rellevant per a la química en relació amb l'emergent estudi de la isomeria, en trobar que la urea i el cianat d'amoni tenien la mateixa composició. L'origen del mite de l'enderroc del vitalisme, si més no del vitalisme químic, per la descoberta de Wöhler de 1828, cal buscar-lo en el relat que sobre aquest episodi va escriure el químic i historiador Hermann Kopp el 1843. La seva narració va tenir l'agreu-jant d'esdevenir una font de referència per als relats posteriors que van prendre aquest episodi com la fi del vitalisme.

En el quart apartat els autors destaquen, en primer terme, algunes de les investigacions que Wöhler i Liebig van fer conjuntament, seleccionades del llarg article que van publicar als *Annalen der Pharmacie* l'any 1838, com ara la síntesi de l'allantoïna, de l'al·loxana, de l'al·loxantina i d'altres productes relacionats. Tots són exemples representatius per a il·lustrar el gran desenvolupament d'una nova àrea de la química: la síntesi orgànica. Wöhler i Liebig pronosticaven que en un futur es podrien sintetitzar al laboratori grans molècules naturals complexes, tals com el sucre, la salicina i la morfina, tot i que aleshores no sabien quins en podrien ser els seus precursors, però confiaven que s'arribarien a conèixer. Els autors també han ressaltat de manera detallada en aquest apartat la síntesi de l'àcid acètic realitzada per Hermann Kolbe —deixeble de Wöhler— l'any 1845, que fou la primera síntesi d'un compost orgànic dissenyada a partir dels seus elements químics constituents.

Per finalitzar, els autors també exposen les contribucions conceptuals que han aportat a la química orgànica l'obra de Wöhler i la realitzada conjuntament amb Liebig, tenint en compte el parer de Berzelius. Aquests conceptes són la *isomeria* —terme utilitzat en un inici per Berzelius (1831-1832)— i els *grups funcionals*, que els ajudarien a posar les bases del desenvolupament de la química orgànica estructural. En una publicació de l'any 1837, en què Wöhler i Liebig descriuen com van optimitzar l'obtenció de benzaldehid a partir de l'amigdalina, és on apareix per primera vegada el concepte de *radical*, com un grup d'àtoms que romanen inalterats a través d'una sèrie de reaccions; és a dir, que actuen com una unitat, en referència al radical benzoil. Tot plegat no deixa de ser un inici de racionalització de la reactivitat dins de la química orgànica.

Els autors del present volum són Albert Moyano, catedràtic d'universitat, i Anton Vidal, professor de recerca de la Institució Catala-

na per a la Recerca i els Estudis Avançats (ICREA), i ambdós membres del Departament de Química Inorgànica i Orgànica de la Universitat de Barcelona (DQIO-UB). Albert Moyano es llicencià en química a la Universitat de Barcelona (1978), on també es va doctorar en química orgànica, sota la direcció del doctor Fèlix Serratosa. Després d'una estada postdoctoral a la Universitat de Grenoble (1985-1986) amb el doctor Andrew Greene, durant la qual es va introduir en la síntesi asimètrica, tornà a la Universitat de Barcelona, on és catedràtic des del 2003. Les seves línies de recerca actuals se centren en nous mètodes de catàlisi asimètrica i en l'estudi dels processos de trencament espontani de la simetria especular. Anton Vidal es va graduar en química a l'Institut Químic de Sarrià el 1987 i va completar el doctorat a la mateixa institució amb el professor Pedro J. Victory. Va realitzar dues estades postdoctorals, una a la Universitat de Cambridge amb el professor Jeremy K. M. Sanders i l'altra a la Universitat de Barcelona amb el professor Miquel A. Pericàs, on va investigar diversos aspectes de química supramolecular i la catàlisi enantioselectiva. Va complementar la seva formació amb l'experiència industrial adquirida durant la seva estada en diversos departaments de recerca a Bayer AG (Leverkusen). És professor de recerca ICREA, a l'Institut Català d'Investigació Química (ICIQ) (2003-2019) i des de 2019 al DQIO-UB. Els seus interessos de recerca inclouen el desenvolupament de sistemes catalítics eficaços, fiables i selectius per a transformacions sintètiques d'interès, i l'estudi del seu ús per a preparar productes rellevants per a les ciències de la vida i la química fina.

L'expertesa en docència i en recerca en síntesi orgànica dels autors ha fet possible que tinguem a les mans una obra molt divulgativa, d'estil planer, en què s'explica des de la formació de la figura de

Wöhler i la síntesi artificial de la urea, fins a la discussió de gran abast de la seva obra i les repercussions que ha tingut com a baula en la construcció de la química orgànica fins als nostres dies.

CONSOL BLANCH I COLAT  
PERE GRAPÍ I VILUMARA  
Editors de «Clàssics de la Química»





# INTRODUCCIÓ

## LA SÍNTESI DE LA UREA COM A MITE FUNDACIONAL DE LA QUÍMICA ORGÀNICA

La conversió del cianat d'amoni en urea descrita per Friedrich Wöhler el 1828 ha esdevingut el *mite fundacional* de la química orgànica i apareix, gairebé sense excepció, en les primeres pàgines dels llibres de text d'aquesta matèria. Però, com tots els mites, consisteix en una mescla, sovint difícilment destriable, de veritat històrica i d'afegits i ornamentacions posteriors. La *versió canònica* del mite seria més o menys com s'explica tot seguit.

Abans de la síntesi de Wöhler, la química estava escindida en dues disciplines molt diferents: la química orgànica, que s'ocupava dels compostos provinents d'éssers vius, i la química inorgànica, que estudiava els compostos d'origen mineral. Els compostos orgànics, que provenien de fonts vegetals i animals, eren menys esta-

bles, es descomponien fàcilment, i tenien composicions elementals complexes, que no semblaven obeir a la llei de les proporcions definides de Proust. Els compostos inorgànics es podien analitzar més fàcilment i es podien preparar al laboratori a partir dels seus components (per exemple, les sals es podien obtenir per reacció entre els seus components àcids i bàsics). En canvi, els compostos orgànics es podien preparar només amb intervenció d'organismes vius (plantes o animals) en condicions suaus i mitjançant una misteriosa *força vital* que no es podia reproduir al laboratori. La síntesi de la urea de Wöhler a partir de materials inorgànics eliminava de cop la barrera divisòria entre la química orgànica i la química inorgànica. Els químics (entre ells, Jöns Jakob Berzelius, que havia atribuït les grans diferències que hi havia entre els dos tipus de compostos a l'acció d'una *força vital*) varen comprendre, aleshores, que els compostos inorgànics i els orgànics obeïen a les mateixes lleis, i així es va anar produint la unificació de la química. A més, atès que Wöhler havia demostrat que hom podia sintetitzar un compost d'origen animal a partir de compostos inorgànics, la força vital ja no era necessària i el vitalisme es podia llençar a la paperera de les teories falses. Així doncs, la síntesi de la urea de Wöhler es pot definir com un experiment crucial, que no solament unificà la química i elevà la química orgànica a la categoria de ciència, sinó que representà l'inici de l'enfocament reduccionista en l'explicació del fenomen de la vida.<sup>1</sup>

Aquesta visió mítica de la síntesi de la urea no va ser clarament formulada, però, fins quinze o vint anys després de la publicació de l'article original, i fou Hermann Kolbe (1818-1884) qui, el 1854, la

---

1. Ramberg, 2000.

va desenvolupar tal com la coneixem avui en dia en la introducció al seu llibre de text sobre química orgànica.<sup>2</sup>

## NOTES BIOGRÀFIQUES SOBRE FRIEDRICH WÖHLER

Passem ara a descriure la biografia de Wöhler i com la publicació sobre la formació artificial de la urea encaixa en la seva trajectòria investigadora. Friedrich Wöhler (31 de juliol de 1800 - 23 de setembre de 1882) fou un químic alemany, que va ser conegut per les àmplies i rellevants contribucions en els camps de la química inorgànica i orgànica.

Wöhler va néixer a Eschersheim (en l'actualitat, un districte de la ciutat de Frankfurt, a Alemanya) i va ser el fill del cavallerís al servei del príncep elector de Hessen-Kassel. Ja de petit va mostrar interès en els experiments i en el colleccionisme. Pel que fa a l'educació secundària, va anar a l'Institut de Frankfurt (Gymnasium zu Frankfurt), on va romandre fins que va entrar a la universitat. Durant l'estada a l'institut, Wöhler va començar a fer experiments químics en un laboratori casolà. En aquest període, el doctor J. J. C. Buch (un professor de l'institut) va influenciar Wöhler en camps científics diversos (química, física, mineralogia, etc.) i, d'aquesta col·laboració científica, en va sorgir l'any 1821 la primera publicació de Wöhler sobre la determinació del contingut de seleni en fòssils.

Wöhler va començar els estudis universitaris l'any 1820 a Marburg, on va estudiar el primer any, i després es va traslladar a la Universitat de Heidelberg, on l'any 1823 va aprovar els exàmens corres-

---

2. Kolbe, 1854.

ponents per a convertir-se en doctor en medicina, cirurgia i obstetrícia. Durant l'estada a la universitat va treballar al laboratori del químic Leopold Gmelin (1788-1853), que el va encoratjar a concentrar-se en la química. És en aquesta època, quan Wöhler començà a treballar en els cianats i publicà els resultats corresponents. Va ser Gmelin qui el va animar a ampliar els estudis amb el químic Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) a Estocolm. L'estada de Wöhler a Estocolm va començar l'any 1823 i, en col·laboració amb Berzelius, va treballar en compostos de fluor, silici, bor, seleni, liti, ceri i tungstè. Va contribuir, també, a l'estudi i al descobriment de nombrosos minerals. A més, va traduir a l'alemany algunes de les publicacions del químic suec. D'aquesta manera, va començar una llarga relació professional entre els dos científics.

L'any 1825, Wöhler es va traslladar a Berlín i va ser contractat com a professor de química i de mineralogia a l'Escola Municipal de Comerç (Städtische Gewerbeschule Berlin). El seu laboratori era a l'edifici d'aquesta escola, on va combinar els estudis sobre minerals amb la recerca química. En aquesta època s'enquadren els treballs que li van permetre millorar els mètodes d'aïllament de l'alumini, el beril·li i l'itri fins a obtenir-los en estat pur, i, també, els de preparació de pal·ladi sobre carboni, entre altres aportacions en el camp de la síntesi inorgànica. De l'època berlinesa, cal destacar-ne la síntesi de la urea l'any 1828. La formació artificial de la urea va ser un descobriment, en el veritable sentit de la paraula, que va fer època. Va ser, també, a finals dels anys vint, quan la seva amistat amb Justus von Liebig —un altre referent de la química orgànica (1803-1873)— es va anar consolidant, de manera que, amb el temps, aquests dos noms es varen anar fusionant íntimament en el camp de la química orgànica.

L'any 1831, Wöhler acceptà una plaça de professor a l'Escola Politécnica Superior de Comerç de Kassel (Höhere Gewerbeschule — Polytechnikum — in Kassel), on va estar ocupat fins a l'any 1832 en la construcció i l'adequació del seu laboratori. Va dedicar esforços a la producció d'oli d'ametlles amargants (conegut, actualment, com a benzaldehyd), que trobava aplicació en la medicina i la perfumeria, i del qual hi havia escassetat en aquells moments a Alemanya. D'aquest producte va estudiar-ne, també, en col·laboració amb Liebig, la reactivitat química i va identificar ja substituents i grups funcionals bàsics en la química orgànica, per exemple, els radicals benzoil i hidroxil, i molècules com ara els aldehids, els clorurs d'àcid, les amides, els nitrils, etc. Aquests nous conceptes sobre grups funcionals i reactivitat, així com el descobriment de nous compostos orgànics, varen tenir molt pes en el desenvolupament de la química orgànica. El fet de dedicar esforços al descobriment de noves reactivitats en química orgànica no va suposar l'abandonament de la recerca en el camp de la química inorgànica i la mineralogia. De l'època de Kassel provenen la síntesi de permanganats i arseniats metàl·lics, i l'estudi de les seves reactivitats, entre moltes altres contribucions.

L'any 1836, Wöhler es convertí en professor ordinari de química a la Universitat de Göttingen, càrrec en què va succeir Friedrich Stro-meyer (1776-1835). Va exercir de professor en aquesta universitat durant vint-i-un anys i va romandre-hi afiliat fins a la seva mort, l'any 1882. Durant aquest temps a la Universitat de Göttingen, el seu mestratge va influenciar nombrosíssims futurs químics. La col·laboració amb Liebig va arribar a la màxima expressió en aquest període i tots dos científics van assolir reptes molt importants en el camp de l'obtenció i la identificació de nous compostos orgànics, especialment si es té en compte la manca de mètodes moderns de puri-

ficació de compostos, com ara la separació cromatogràfica i els que permeten l'elucidació estructural. Per exemple, juntament amb Liebig, varen estudiar l'amigdalina, que s'obté de les ametlles, i en van preparar diversos derivats orgànics. Van obtenir, també, l'allantoïna a partir de l'àcid úric. Entre tots dos varen descobrir l'alloxana i en varen estudiar la reactivitat. A partir del rar exemple de cristall orgànic, la melilita o pedra de mel, Wöhler i Liebig van aïllar-ne derivats de l'àcid mellític (conegut com a *àcid grafitic* o *àcid benzenhexacarboxílic*). Wöhler va dedicar, també, esforços importats tant a aïllar compostos orgànics d'extractes naturals diversos provinents de plantes narcòtiques i aromàtiques, com a estudiar la reactivitat dels nous productes aïllats.

Wöhler va sintetitzar, a més, multitud de compostos inorgànics durant l'etapa de Göttingen. Sense voler donar una llista exhaustiva de les seves troballes en aquest text, per motius d'espai, hom podria destacar la preparació per part de Wöhler del carbur de calci, del bor en forma cristal·lina, amb la col·laboració del químic francès Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881), i del silà, amb la col·laboració del químic alemany Heinrich Ludwig Buff (1828-1872). També caldria esmentar que les aportacions de Wöhler d'aquesta etapa a altres disciplines de la química, o relacionades, varen ser múltiples. Aquestes no es poden mencionar en detall en aquest escrit, per manca d'espai, però cal destacar les aportacions en química forense (per exemple, la determinació del contingut d'arsènic en mostres biològiques) i en mineralogia (com ara, l'anàlisi mineralògica de meteorits).

Des del punt de vista conceptual, Liebig i Wöhler varen ser pioners del concepte *grup funcional*, que tant ha ajudat a estructurar de manera racional i a desenvolupar la química orgànica. A més a més, varen contribuir a encunyar el concepte *isomeria química*, és a dir, la

idea que compostos amb la mateixa fórmula empírica poden ser compostos químics diferents, atès que poden presentar algunes propietats diferents. Com a exemple a destacar, cal citar la isomeria entre els cianats i els fulminats metàl·lics que Liebig i Wöhler varen investigar amb les sals de plata corresponents. Així, mentre que el fulminat de plata és explosiu, el cianat d'aquest metall és estable.

Això no obstant, no hi ha dubte que la contribució més important de Wöhler a la química fou el descobriment de la formació de la urea quan intentava preparar el cianat d'amoni. Avui en dia considerem que la síntesi de la urea de Wöhler, a partir de materials inorgànics, va contribuir de manera decisiva a la unificació de la química orgànica amb la química inorgànica, cosa que va evidenciar que els compostos inorgànics i els orgànics obeïen a les mateixes lleis. A més, en haver-se demostrat que hom podia sintetitzar un compost d'origen animal a partir de compostos inorgànics, la necessitat d'una *força vital* per a obtenir compostos orgànics quedava en entredit. La síntesi de la urea de Wöhler s'ha considerat com un experiment fundacional, que va establir les bases de la síntesi orgànica i va elevar la química orgànica a la categoria de ciència. Aquest veritable canvi de paradigma representa, també, l'inici de l'enfocament reduccionista a l'hora d'explicar el fenomen de la vida. L'anàlisi de la publicació de Wöhler sobre l'obtenció *artificial* de la urea és, precisament, l'objectiu d'aquest text.

El *Scientific American Supplement* de l'any 1882, en el número del 9 de desembre, poc després de la mort de Wöhler, es feia ressò de les paraules emprades en proposar-lo per a la Medalla Copley de la Reial Societat de Londres (Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge): «Per dues o tres de les seves investigacions, Wöhler es mereix els honors més alts que un científic pot

rebre, però la suma de tot el seu treball és absolutament aclaparadora. Si Wöhler no hagués viscut, l'aspecte de la química seria molt diferent del que és ara».<sup>3</sup> La llista de reconeixements científics que Wöhler va rebre seria molt llarga de detallar. Val la pena destacar que Wöhler va ser elegit membre de la Reial Societat de Londres, membre honorari de la Reial Societat d'Edimburg i membre de la Societat Filosòfica Americana, i va ser guardonat amb la Medalla Copley de la Reial Societat anglesa, la més alta distinció que aquesta entitat atorgava. Per acabar, la qualitat, la influència i el ressò científics d'un investigador acadèmic es poden mesurar també per la talla científica dels seus deixebles. En aquest sentit, químics posteriors molt influents, com ara Georg Ludwig Carius, Heinrich Limpricht, Rudolph Fittig, Adolf Wilhelm Hermann Kolbe, Albert Niemann, Vojtěch Šafařík, Wilhelm Kühne i Augustus Völcker, varen tenir el privilegi de gaudir del mestratge de Wöhler.

\* \* \*

En el text que segueix es detallarà la traducció de l'article original de Friedrich Wöhler («Über künstliche Bildung des Harnstoffs»), publicat el 1828 als *Annalen der Physik und Chemie*,<sup>4</sup> al català («Sobre la formació artificial de la urea»), acompanyada de la versió original

---

3. Desaix Munn, ed., 1882, p. 5767. El text original en anglès és: «for two or three of his researches he deserves the highest honor a scientific man can obtain, but the sum of this work is absolutely overwhelming. Had he never lived, the aspect of chemistry would be very different from that it is now». Totes les traduccions són dels autors.

4. L'article de Wöhler «Über künstliche Bildung des Harnstoffs» es va publicar el 1828 als *Annalen der Physik und Chemie*. L'any 1900, aquesta publicació va fusionar-se amb la publicació *Annalen der Physik*, amb els consegüents canvis en el nom de la revista i en el volum (Wöhler, 1828a). Actualment, l'article original es pot consultar i descarregar al web de Wiley Online Library sota la referència *Annalen der Physik*, 88 (2), p. 253-256.



en alemany. Cal destacar que es van publicar traduccions de l'article de Wöhler al francès<sup>5</sup> i a l'anglès.<sup>6</sup> En aquesta obra, es presentarà, també, l'anàlisi de la química inherent al descobriment de Wöhler des d'un punt de vista actual. A més, es posarà en perspectiva històrica el descobriment de Wöhler amb altres descobriments relacionats de la mateixa època, s'analitzarà la influència dels resultats de Wöhler en el seguiment de la teoria del vitalisme químic i en el desenvolupament de la síntesi orgànica, i, per acabar, es posaran en relleu les seves contribucions conceptuals a la química orgànica.

---

5. La traducció en francès està signada pel mateix Wöhler als *Annales de Chimie et de Physique* (Wöhler, 1828b).

6. La traducció en anglès es va publicar al *Quarterly Journal of Science* (Wöhler, 1828c). Una versió posterior apareix a Leicester i Klickstein, ed., 1952.



## PRIMERA PART

### SOBRE LA FORMACIÓ ARTIFICIAL DE LA UREA<sup>1</sup>

Versió en català de l'article de Friedrich Wöhler «Über künstliche Bildung des Harnstoffs», *Annalen der Physik und Chemie*, 12 (2) (1828), p. 253-256.

[253] En una petita nota anterior impresa en el tercer volum d'aquests *Annals*, vaig informar que, quan el cianogen actua sobre una dissolució aquosa d'amoníac, a part de molts altres productes, es formen també àcid oxàlic i una substància blanca cristal·litzable. Aquesta darrera substància no és certament cianat amònic, però, no obstant això, s'obté tantes vegades com s'intenta combinar l'àcid ciànic amb l'amoníac, per exemple, a través de l'anomenada *dobla descomposició*. El fet, pel qual aquestes substàncies durant la seva purificació semblaven canviar la seva naturalesa i, d'aquesta manera, formar un nou cos, va dirigir de

---

1. La paginació de l'article original es mostra entre claudàtors. Les notes són dels traductors.

nou la meua atenció sobre aquest tema, i aquesta investigació va donar el resultat inesperat que de l'associació de l'àcid cianic i l'amoníac en sorgeix la urea, un fet curiós en aquest context, atès que representa un exemple de la producció artificial d'una substància orgànica, més precisament d'origen animal, a partir de substàncies inorgàniques.

Vaig informar amb anterioritat que la matèria blanca cristal·litzada a dalt esmentada s'obté millor si es descompon òxid de plata cianat<sup>2</sup> [cianat de plata(I)] amb solució de clorur amònic, o òxid de plom cianat [cianat de plom(II)] amb amoníac en dissolució aquosa. Per aquest darrer mètode n'he preparat la quantitat gens menyspreable que s'utilitza per a aquesta investigació. Vaig obtenir el producte en forma de cristalls incoloros, transparents, sovint de més d'una polzada de llarg, que formaven prismes estrets, d'angles rectes, de quatre costats i sense punxes definides.

Amb potassa càustica o amb calç<sup>3</sup> aquesta substància no va alliberar cap traça d'amoníac, amb àcids no va mostrar en absolut els fenòmens de descomposició habituals [254] dels cianats que tenen lloc amb facilitat, és a dir, l'alliberament d'àcid carbònic i àcid cianic, ni tampoc no va conduir a precipitats de sals de plom i plata de la manera que ho fa un veritable cianat; per tant, [aquesta substància] no podia contenir ni cianat ni amoníac com a tals. Com que vaig trobar que amb aquest últim mètode de preparació no es va formar cap altre

---

2. Els termes *òxid de plata cianat* i *òxid de plom cianat* corresponen a la traducció literal del text en alemany, «cyansaures Silberoxyd» i «cyansaures Bleioxyd», respectivament. Com que Wöhler va descriure per primera vegada el cianat de mercuri(I) (vegeu Wallach, ed., 1966) i el va anomenar *cyansaures Quecksilber*, sembla doncs correcte establir que aquests dos productes corresponen als cianats de plata(I) i plom(II), tal com s'indica entre claudàtors.

3. A l'article original l'autor parla de «Kalk» ('calç') sense donar més detalls. L'autor pot referir-se a l'òxid de calci (*gebrannter Kalk*), a l'hidròxid de calci (*gelöschter Kalk*) o al carbonat de calci (*kohlensaurer Kalk*).

subproducte i que l'òxid de plom es va obtenir de forma pura, vaig imaginar que en el decurs de la combinació de l'àcid ciànic i de l'amoníac es podia produir una substància orgànica, i inicialment potser una substància similar a les sals vegetals;<sup>4</sup> des d'aquest punt de vista, per tant, vaig començar alguns experiments relacionats amb el comportament dels àcids amb el cos cristallitzat. Aquest va romandre, però, inalterat respecte d'aquests [àcids], amb l'excepció de l'àcid nítric, que en solució concentrada va conduir a la formació immediata d'un precipitat consistent en escates cristallines brillants. Aquests cristalls, després de ser purificats per recristal·litzacions successives, varen mostrar un caràcter molt àcid i jo vaig ja inclinar-me a considerar els cristalls un àcid específic, en descobrir que en neutralitzar-los amb bases conduïen a sals de l'àcid nítric, a partir de les quals, amb etanol, el producte cristallitzable es deixava recuperar amb totes les característiques que tenia abans de l'acció de l'àcid nítric. Aquesta similitud en el comportament amb la urea em va portar a fer experiments comparatius amb urea completament pura separada de l'orina, dels quals es va deduir de manera totalment inambigua que la urea i aquest cos cristal·lí o cianat amònic, si es pogués anomenar així, són substàncies completament idèntiques.

No faig cap més comentari sobre el comportament de la urea artificial, ja que aquest és completament coherent amb el que es descriu a la literatura per Proust, Proust *et al.*, sobre la urea derivada de l'orina, [255] i només observo una circumstància no esmentada per ells, i és que en destil·lar<sup>5</sup> la urea derivada de l'orina, així com l'artificial, a

---

4. La capacitat de les plantes per a formar sals (per exemple, oxalats) era ben coneguda.

5. La paraula original en alemany emprada per l'autor és «Destillation» ('destil·lació'), i així s'ha deixat. Sense una descripció detallada del procediment, no es pot dir si l'autor es refereix a una destil·lació pròpiament dita o a una destil·lació per arrossegament de vapor d'aigua.

part de la gran quantitat de carbonat amònic que es genera, s'allibera, finalment, també en un grau molt notable, l'olor picant de l'àcid ciànic, semblant a la de l'àcid acètic, tal com la que vaig trobar en l'escalfament del cianat de mercuri, o de l'àcid úric, i especialment de l'òxid de mercuri ureat.<sup>6</sup> En aquesta destil·lació de la urea també es produeix una substància blanca, aparentment desconeguda, la investigació de la qual encara m'ocupa.

Però si quan l'àcid ciànic i l'amoníac s'uneixen, realment només es produeix la urea, llavors la urea ha de tenir la mateixa composició que la que es pot calcular mitjançant el cianat amònic, d'acord amb la fórmula empírica que he donat per a les sals de l'àcid ciànic; i aquest és, de fet, el cas, si s'assumeix 1 àtom [molècula] d'aigua<sup>7</sup> en el cianat amònic, com és el cas a totes les sals d'amoní, i l'anàlisi elemental de Prout de la urea es considera la més correcta.

Segons ell,\* la urea consta de:

		Àtoms
Nitrogen	46,650	4
Carboni	19,975	2
Hidrogen	6,670	8
Oxigen	<u>26,650</u>	2
	99,945 <sup>8</sup>	

---

6. Wöhler emprà el terme «harnsaures Quecksilberoxid», traduït literalment com a *òxid de mercuri ureat*. Per analogia amb els comentaris de la nota 2, sembla que aquest compost correspon a l'ureat de mercuri(I).

7. A l'article original es parla d'«Atom Wasser» ('àtom [molècula] d'aigua'), que en el context actual s'ha de traduir per *molècula*.

8. Sembla haver-hi un error tipogràfic en la suma dels percentatges de l'anàlisi elemental publicats a l'article original. La indicada en aquesta traducció és la correcta.

El cianat d'amoní constaria, però, del 56,92% d'àcid ciànic, el 28,14% d'amoníac i el 14,74% d'aigua, la qual cosa suposa per als seus elements aïllats:

[256]		Àtoms
Nitrogen	46,78	4
Carboni	20,19	2
Hidrogen	6,59	8
Oxigen	<u>26,24</u>	2
	99,80**	

Per tant, hom podria haver calculat, sense haver estudiat la formació d'urea a partir de l'àcid ciànic i amoníac mitjançant aquest experiment, que el cianat amònic amb una molècula d'aigua té la mateixa composició que la urea. Quan l'àcid ciànic es crema sobre òxid de coure, s'obtenen 2 volums de diòxid de carboni i 1 volum de nitrogen gas, però quan es crema cianat amònic, s'haurien d'obtenir els mateixos volums d'aquests gasos, és a dir, la mateixa proporció que quan es crema la urea, i això és, de fet, el que va trobar Prout.

M'abstinc de totes les consideracions que es presenten de manera tan natural com a conseqüència d'aquest fet, especialment en relació amb les proporcions de la composició de les substàncies orgàniques, quant a la mateixa composició elemental i quantitativa en compostos de propietats molt diferents, com és el cas, entre d'altres, de l'àcid fulmínic i l'àcid ciànic, d'un hidrocarbur líquid i de l'etilè, i s'ha de deixar a experiments ampliat a diversos casos semblants la determinació de quines lleis generals se'n poden derivar.

\* *Annals of Philosophy*, vol. XI, p. 354.<sup>9</sup>

\*\* Els càlculs es basen en els nous pesos atòmics de Berzelius; això és:  
N = 88,518, C = 76,437, H = 6,2389, O = 100,00, aigua (H<sub>2</sub>O) = 112,479, cianat d'amoni = (NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + C<sub>2</sub>N<sub>2</sub>O i urea = (NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + C<sub>2</sub>N<sub>2</sub>O + H<sub>2</sub>O.<sup>10</sup>

---

9. Prout, 1818b, p. 352 (aquest article és un resum de l'article publicat pel mateix autor un any abans; vegeu Prout, 1817).

10. A la simbologia de l'article original (vegeu la nota \*\* al final de la pàgina 35 d'aquesta obra), un punt damunt del símbol indica que hi ha oxigen i el nombre dels àtoms amb una barra ha de ser doblat. En la versió traduïda al català, la simbologia química emprada per Wöhler s'ha canviat per la notació actual.



## ÜBER KÜNSTLICHE BILDUNG DES HARNSTOFFS

Friedrich Wöhler, *Annalen der Physik und Chemie*, 12 (2) (1828), p. 253-256.

[253] In einer früheren kleinen Notiz, die in dem III. Bande dieser Annalen abgedruckt ist, habe ich angegeben, dass beim Einwirken von Cyan auf flüssiges Ammoniak, außer mehreren anderen Produkten, auch Oxalsäure und eine kristallisierbare weiße Substanz entstehe, welche letztere bestimmt kein cyansaureres Ammoniak sei, welche man aber dessen ungeachtet immer erhalte, so oft man versuche, z. B. durch sogenannte doppelte Zersetzung, Cyansäure mit Ammoniak zu verbinden. Der Umstand, dass bei der Vereinigung dieser Stoffe dieselben ihre Natur zu verändern schienen und dadurch ein neuer Körper entstände, lenkte von Neuem meine Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand, und diese Untersuchung hat das unerwartete Resultat gege-

ben, dass bei der Vereinigung von Cyansäure mit Ammoniak Harnstoff entsteht, eine auch insofern merkwürdige Tatsache, als sie ein Beispiel von der künstlichen Erzeugung eines organischen, und zwar sogenannten animalischen, Stoffes aus anorganischen Stoffen darbietet.

Ich habe schon früher angegeben, dass man die oben erwähnte kristallisierte, weiße Substanz am besten erhält, wenn man cyansaures Silberoxyd durch Salmiak-Auflösung, oder cyansaures Bleioxyd durch flüssiges Ammoniak zersetzt. Auf die letztere Art habe ich mir die, zu dieser Untersuchung angewendete, nicht unbedeutende Menge davon bereitet. Ich bekam sie in farblosen, klaren, oft mehr als zolllangen Krystallen angeschossen, die schmale rechtwinklige, vierseitige Säulen, ohne bestimmte Zuspitzung, bildeten.

Mit kaustischem Kali oder mit Kalk entwickelte dieser Körper keine Spur von Ammoniak, mit Sauren zeigte er durchaus nicht die so leicht eintretenden Zersetzungserscheinungen [254] der cyansaurer Salze, nämlich Entwicklung von Kohlensäure und Cyansäure, und eben so wenig fällt er, wie es ein wirkliches cyansaures Salz tut, die Blei- und Silbersalze; er konnte also weder Cyansäure noch Ammoniak als solche enthalten. Da ich fand, dass bei der letztgenannten Entstehungsart desselben kein an deres Produkt mitgebildet und das Bleioxyd rein abgeschieden wurde, so stellte ich mir vor, es könne bei der Vereinigung von Cyansäure mit Ammoniak eine organische Substanz, und zunächst vielleicht ein den vegetabilischen Salzbasen ähnlicher Stoff entstehen; ich stellte daher aus diesem Gesichtspunkte einige Versuche über das Verhalten der Säuren zu dem kristallisierten Körper an. Er verhielt sich aber indifferent gegen dieselben, die Salpetersäure ausgenommen, welche in der konzentrierten Auflösung dieses Stoffes sogleich einen, aus glänzenden

Krystallschuppen bestehenden Niederschlag bildete. Diese Krystalle zeigten, nachdem sie durch mehrmaliges Umkrystallisieren gereinigt worden waren, sehr saure Charaktere, und ich war schon geneigt, sie für eine eigentümliche Säure zu halten, als ich fand, dass sie, bei der Neutralisierung mit Basen, salpetersaure Salze gaben, von denen sich durch Alkohol der kristallisierbare Stoff mit allen Charakteren, die er vor der Einwirkung der Salpetersäure hatte, wieder ausziehen ließ. Diese Ähnlichkeit im Verhalten mit dem Harnstoff veranlasste mich, vergleichende Versuche mit vollkommen reinem, aus Urin abgeschiedenem Harnstoff anzustellen, aus denen ganz unzweideutig hervorging, dass Harnstoff und jener kristallisierte Körper oder das cyansaure Ammoniak, wenn man es so nennen könnte, vollkommen identische Stoffe sind.

Ich führe das Verhalten dieses künstlichen Harnstoffs nicht weiter an, da es vollkommen mit dem übereinkommt, wie es, nach den Angaben von Proust, Prout u. A., von dem Urin-Harnstoff in den Schriften zu finden ist, [255] und bemerke nur den von Ihnen nicht angegebenen Umstand, dass der Urin-Harnstoff, gleich wie der künstliche, bei der Destillation, außer der großen Menge von kohlensaurem Ammoniak, zuletzt auch in einem ganz auffallenden Grade den stechenden, Essigsäure ähnlichen Geruch der Cyansäure entwickelt, gerade so, wie ich es bei der Destillation von cyansaurem Quecksilber oder auch der Harnsäure und besonders des harnsauren Quecksilberoxyds gefunden habe. Bei dieser Destillation des Harnstoffs entsteht zugleich noch eine weiße, wie es scheint, eigentümliche Substanz, mit deren Untersuchung ich noch beschäftigt bin.

Aber wenn beim Zusammentreten von Cyansäure und Ammoniak wirklich bloß Harnstoff entsteht, so muss der Harnstoff vollkommen dieselbe Zusammensetzung haben, die man durch Rech-

nung für das cyansaure Ammoniak, nach der von mir für die cyansauren Salze angegebenen Zusammensetzungsformel, findet; und dies ist in der Tat der Fall, wenn man im cyansauren Ammoniak, gleich wie alle Ammoniaksalze Wasser enthalten, 1 At. Wasser annimmt, und Prout's Analyse vom Harnstoff als die richtigste betrachtet. Nach ihm\* besteht der Harnstoff aus:

	Atome.	
Stickstoff	46,650	4
Kohlenstoff	19,975	2
Wasserstoff	6,670	8
Sauerstoff	<u>26,650</u>	2
	98,875	

Das cyansaure Ammoniak würde aber aus 56,92 Cyansäure, 28,14 Ammoniak und 14,74 Wasser bestehen, was für seine entfernten Elemente ausmacht:

[256]	Atom.	
Stickstoff	46,78	4
Kohlenstoff	20,19	2
Wasserstoff	6,59	8
Sauerstoff	<u>26,24</u>	2
	99,80**	

Man hätte also, ohne die Bildung des Harnstoffs aus Cyansäure und Ammoniak durch den Versuch gefunden zu haben, im Voraus berechnen können, dass cyansaures Ammoniak mit 1 Atom Wasser dieselbe Zusammensetzung hat, wie der Harnstoff. Bei der Verbren-

nung der Cyansäure durch Kupferoxyd erhält man 2 Volum Kohlen- säuregas und 1 Volum Stickstoff, aber bei der Verbrennung des cyansaure Ammoniaks müsste man gleiche Volumina von diesen Gasen erhalten, also auch dasselbe Verhältnis bei der Verbrennung des Harnstoffs, und so hat es in der Tat auch Prout gefunden.

Ich enthalte mich aller der Betrachtungen, die sich in Folge dieser Tatsache so natürlich darbieten, besonders in Beziehung auf die Zusammensetzungs-Verhältnisse organischer Stoffe, in Beziehung auf gleiche elementare und quantitative Zusammensetzung bei Verbindungen von sehr verschiedenen Eigenschaften, wie es unter anderen von der Knallsäure und Cyansäure, von einem flüssigen Kohlenwasserstoff und dem ölbildenden Gase, angenommen wird, und es muss erweiterten Erfahrungen über mehrere ähnliche Fälle überlassen bleiben, welche allgemeine Gesetze sich davon ableiten lassen.

\* *Annals of Philosophy*. T. XI. p. 354.

\*\* Es sind hierbei die neuen Atomgewichte von Berzelius zum Grunde gelegt; also ist N = 88,518, C = 76,437, H = 6,2389, O = 100,00, Wasser (H) = 112,479, cyansaures Ammoniak =  $\text{NH}^3 + \text{CNO}$  und Harnstoff =  $\text{NH}^3 + \text{CNO} + \text{H}$ .

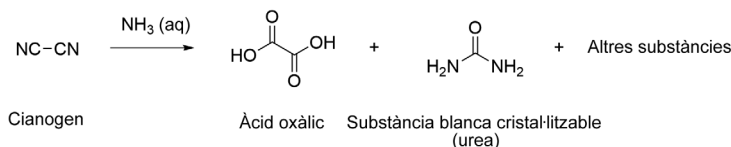


## SEGONA PART

### 1. COMENTARIS A L'ARTICLE DE WÖHLER DES DE LA PERSPECTIVA DE LA QUÍMICA ORGÀNICA MODERNA

El contingut d'aquest article de Friedrich Wöhler, «Über künstliche Bildung des Harnstoffs», així com la seva història, són coneguts per tots els estudiants de química orgànica. Tan gran fou l'empremta que aquest treball va deixar que molts professors de química orgànica, encara en els nostres temps, posen en perspectiva els resultats descrits en el treball original i expliquen, a les seves classes, històries i anècdotes que hi estan relacionades. Malgrat això, creiem que un comentari detallat de les diverses afirmacions fetes per l'autor, amb la perspectiva donada pel temps i pel desenvolupament del camp de la química orgànica després de quasi dos-cents anys, pot ser enriquidor i ajudar a entendre el ressò que aquest treball va tenir realment entre els científics de la seva època.

En aquesta publicació, Wöhler comença fent menció d'un article seu anterior, de l'any 1825, publicat a la mateixa revista,<sup>1</sup> en què es descriu que el tractament de cianogen (esquema 1) amb una dissolució aquosa d'amoníac condueix de manera totalment reproducible a una mescla de substàncies, d'entre les quals l'autor destaca l'àcid oxàlic i una «substància blanca cristal·litzable», i afirma que no és cianat amònic i que és en tots els aspectes idèntica a la urea (tot i que en aquest punt de la discussió no l'anomena així). Per tant, sembla que la primera síntesi de Wöhler de la urea s'ha de datar l'any 1825 (o fins i tot un any abans)<sup>2</sup> i no pas l'any 1828, que és la data de publicació de l'article que es comenta en aquest escrit i que normalment se cita a la bibliografia posterior.



ESQUEMA 1. Síntesi de la urea de Wöhler a partir de cianogen. Elaboració pròpia.

L'autor indica en aquest punt (i no al final del treball com a conclusió dels fets presentats i discutits) la rellevància de la troballa científica perquè representa un exemple de la producció artificial d'una substància orgànica d'origen animal a partir d'un material inorgànic.

L'article continua amb la descripció d'un mètode més adient per a preparar la urea: per acció del clorur d'amoní sobre el cianat de plata

1. Wöhler, 1825.

2. La publicació de Wöhler de 1825 és una traducció a l'alemany d'un article de l'any anterior publicat en una revista sueca (Wöhler, 1824a).



o per tractament del cianat de plom amb una dissolució aquosa d'amoniac (esquema 2). Cal destacar que la formulació feta per Wöhler dels productes de partida emprats és incorrecta des de la perspectiva de la química moderna i, així, esmenta que empra «òxid de plata cianat» i «òxid de plom cianat». Aquests compostos no tenen sentit des del punt de vista de la connectivitat atòmica i de l'estructura requerides pels cianats de plata i plom tal com els coneixem avui.<sup>3</sup> Això es deu al fet que la fórmula molecular de l'àcid ciànic, per a Wöhler, és  $(\text{CN})_2\text{O}$  (i no  $\text{CHNO}$ ), la qual cosa conduiria que l'òxid de plata en forma cianada tingués per estructura  $(\text{CN})_2\text{O} \cdot \text{Ag}_2\text{O}$  i el de plom  $(\text{CN})_2\text{O} \cdot \text{PbO}$ , de manera que serien equivalents a les fórmules moleculars empíriques correctes per als dos cianats emprats ( $\text{AgNCO}$  i  $\text{Pb}(\text{NCO})_2$ , respectivament). Cal esmentar que Wöhler, per a preparar els cianats de plom i de plata, empra els òxids corresponents, compareu:  $2 \text{CHNO} + \text{Ag}_2\text{O} = 2 \text{Ag}(\text{OCN}) + \text{H}_2\text{O}$ ;  $2 \text{HOCN} + \text{PbO} = \text{Pb}(\text{OCN})_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

En termes dels detalls experimentals donats en aquest treball, malauradament, Wöhler no fa cap descripció ni de les condicions de reacció emprades (procediment, temps i condicions de reacció, etc.), ni del rendiment obtingut, ni tan sols del procediment emprat per a la purificació de la urea. L'autor només descriu de manera molt detallada la forma dels cristalls obtinguts. Atesa la importància i la influència del treball de Wöhler en el camp de la síntesi orgànica, altres investigadors varen estudiar una altra vegada la reacció i varen descriure un procediment experimental detallat per a la comunitat científica.<sup>4</sup> Per exemple, D. Lloyd Williams i Anthony R. Ronzio<sup>5</sup>

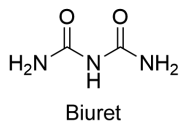
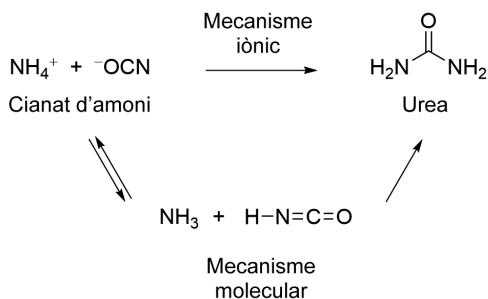
---

3. Söderbäck, 1957.

4. Walker i Kay, 1897.

5. Williams i Ronzio, 1952.

varen emprar aquest procediment per a preparar a mitjan segle xx la urea marcada isotòpicament amb carboni 14 a partir d'isocianat de plata radioactiu. Aquests autors descriuen que el rendiment de la reacció en cap cas no va ser superior al 85 % i que el producte obtingut abans de la purificació contenia d'un 10 % a un 15 % de biuret (vegeu l'esquema 2 per a l'estructura), un producte estructuralment relacionat amb la urea.



ESQUEMA 2. Síntesi de la urea de Wöhler a partir de cianats metàl·lics: estructures dels productes, reaccions i possibles mecanismes. Elaboració pròpia.

El mecanisme de la reacció s'ha estudiat profusament des que Wöhler la va descriure. Encara que s'ha generat molta informació cinètica i termodinàmica de la reacció en dissolució, la controvèrsia sobre el mecanisme encara és vigent.<sup>6</sup> En línies generals, s'han plantejat dos mecanismes per a la transformació del cianat d'amoni en urea, un d'anomenat *iònic* i un altre, *molecular* (esquema 2). Mentre que en el mecanisme iònic es proposa una etapa limitant de la reacció que involucra probablement un intermediari de reacció generat per enllaç d'hidrogen, en el molecular es postula que l'etapa limitant de la reacció té lloc per l'atac de l'amoniac al carboni de l'àcid isociànic ( $\text{H-N=C=O}$ ). Una discussió més detallada del mecanisme de la reacció cau fora dels objectius d'aquest escrit, de manera que, per a aprofundir en aquest tema, el lector ha de consultar la literatura recent.<sup>7</sup>

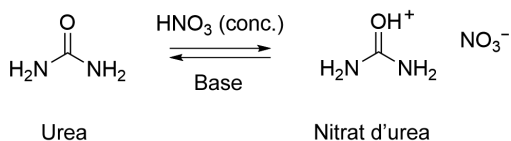
Wöhler descriu, també, un seguit d'assais referents a l'estabilitat i a les propietats àcid-base del nou producte obtingut. A excepció del tractament del sòlid obtingut amb àcid nítric concentrat, aquests assais no mereixen ser comentats, atès que el text original no deixa lloc a dubtes. Pel que fa al tractament de la nova substància amb àcid nítric concentrat, l'autor descriu la formació d'un derivat de la urea (avui sabem que és el nitrat d'urea; esquema 3), que, com a nou producte químic, té unes propietats clarament diferenciades de les del producte original (urea) i que, curiosament, reverteix a l'original (urea) mitjançant el tractament amb una base (no especificada en el text), de manera que es pot aïllar, finalment, del cru de la reacció amb etanol, un dissolvent en el qual el producte origi-

---

6. Shorter, 1978.

7. Tsipis i Karipidis, 2003.

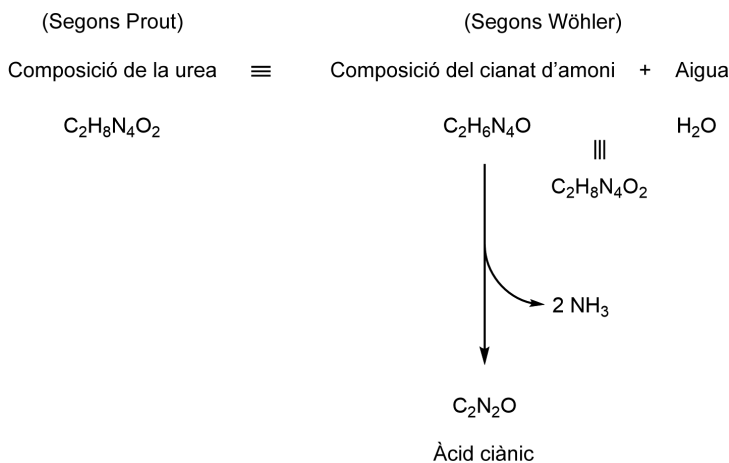
nal (urea) és soluble. Les conclusions que l'autor treu d'aquests assaigs sí que són dignes de comentari. Com que els resultats de reactivitat obtinguts amb la substància sintetitzada (urea artificial) a partir dels cianats de plom o de plata són els mateixos que els obtinguts de la urea de l'orina, l'autor conclou que els dos productes han de ser idèntics i que el producte que resulta dels cianats de plata i plom és la urea.



ESQUEMA 3. Transformació de la urea en el seu nitrat. Elaboració pròpia.

Sense cap mena de dubte, la part del treball que mereix una anàlisi més curosa és la que correspon a la composició que Wöhler creia que tenien la urea i el cianat d'amoni. Malgrat les dificultats òbvies per a analitzar l'estructura de les molècules abans esmentades només a partir de la composició elemental, i sense conèixer-ne la connectivitat, Wöhler va identificar que si de la combinació de l'àcid ciànic i l'amoniac en sorgia la urea, aquesta havia de tenir la mateixa composició que el cianat d'amoni, que ell ja havia estudiat i per al qual havia proposat la composició  $(\text{NH}_3)_2 \cdot \text{C}_2\text{N}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Wöhler assumia que les sals d'amoni contenien una molècula d'aigua (tot i que ell a l'article l'anomena «àtom d'aigua»). La composició molecular descrita per al cianat d'amoni a l'article (56,92 % de l'anomenat «àcid ciànic» per Wöhler, 28,14 % d'amoniac i 14,74 % d'aigua) encaixa amb la que es desprèn de  $(\text{NH}_3)_2 \cdot \text{C}_2\text{N}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$  (56,80 % del teòric àcid ciànic amb la composició elemental de Wöhler,

28,34% d'amoníac i 14,86% d'aigua), emprant les masses atòmiques mesurades per Jöns Jakob Berzelius i mencionades a l'article. L'anàlisi elemental de la urea segons les dades de William Prout,<sup>8</sup> que, en opinió de Wöhler, les havia determinat de manera curiosa i fiable, encaixen amb l'anàlisi elemental que Wöhler va calcular per al cianat d'amoní (compareu les dues taules de composició de nitrogen, carboni, hidrogen i oxigen publicades a l'article). L'esquema 4 resumeix les composicions elementals de la urea i del cianat d'amoní suposades per Wöhler i que ell va emprar en les seves argumentacions.



ESQUEMA 4. Composicions elementals de l'àcid ciànic i derivats, segons Wöhler. Elaboració pròpia.

---

8. Prout, 1817.

Aquesta composició elemental proposada per Wöhler per als diferents compostos químics involucrats en el treball és la que li permet trobar que la combustió completa de l'àcid ciànic condueix a dos volums de diòxid de carboni i a un de nitrogen (per formació del doble nombre de mols del primer respecte als del segon). D'altra banda, la combustió completa de cianat d'amoni, segons Wöhler, hauria de conduir a volums iguals dels dos gasos (o a un nombre igual de mols dels dos gasos, segons el llenguatge químic modern), de la mateixa manera que la urea porta a una relació molar igual dels dos gasos provinents de la seva combustió total. Cal assenyalar que, tot i l'error en la composició elemental de l'àcid ciànic proposada per Wöhler ( $C_2N_2O$ , en lloc de  $HNCO$ ), la relació d'àtoms de carboni i nitrogen és la mateixa i condueix a la formació del doble nombre de mols de diòxid de carboni que de nitrogen durant la combustió.

Per acabar, Wöhler alludeix —ja a principis del segle XIX— a un aspecte cabdal de l'estructura dels compostos químics: la isomeria (una propietat per la qual els compostos amb la mateixa fórmula empírica presenten estructures moleculars diferents). Amb les dades presentades per Wöhler en el seu treball, el cianat d'amoni i la urea tenen la mateixa composició elemental i es poden considerar isòmers (actualment, diríem *isòmers constitucionals*) o compostos químics que tenen la mateixa fórmula empírica, però diferent connectivitat atòmica. Tal com comentarem a l'apartat 4.1.2.1 de la pàgina 71, la transformació d'una sal en un compost no salí i haver establert que el cianat d'amoni i la urea compartien la mateixa fórmula empírica varen despertar més la curiositat dels químics contemporanis que no pas la construcció artificial d'un compost orgànic.

Malauradament, aquesta important afirmació es veu enterbolida per l'assumpció de Wöhler, totalment arbitrària, que totes les sals

d'amoni tenen una molècula d'aigua. En l'única nota de l'article, Wöhler assigna la fórmula  $(\text{NH}_3)_2 + \text{C}_2\text{N}_2\text{O}$  al cianat d'amoni pel que fa als components i afegeix que en la seva formació cal afegir una molècula d'aigua, «com és el cas a totes les sals d'amoni». Es veu obligat a fer això perquè la seva fórmula per a l'àcid ciànic és errònia. A la composició  $\text{C}_2\text{N}_2\text{O}$  li manca una molècula d'aigua per donar  $(\text{CHNO})_2$ , que correspon al dímer de la molècula de l'àcid ciànic. No li podem retreure a Wöhler no haver encertat la fórmula molecular de l'àcid ciànic, sense els coneixements necessaris d'enllaç químic i estructura, sobretot tenint present que estudis posteriors a Wöhler varen revelar que l'àcid ciànic ( $\text{H}-\text{O}-\text{C}\equiv\text{N}$ ) és menys estable<sup>9</sup> que el seu tautòmer, l'àcid isociànic ( $\text{H}-\text{N}=\text{C}=\text{O}$ ), que és el que normalment s'aïlla. La manca d'hidrogen en la fórmula de l'àcid ciànic no constituïa una errada evident, car hom creia encara, aleshores, que era precisament l'oxigen, i no l'hidrogen, l'element essencial dels àcids. De manera anàloga a la que proposa per a l'àcid ciànic, en el treball previ ja esmentat de 1825, Wöhler havia atribuït a l'àcid oxàlic la fórmula  $\text{C}_2\text{O}_3$ , a la qual manca, també, una molècula d'aigua per a donar la composició correcta ( $\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_2$ ). Cal recordar que no va ser fins a 1838 que Justus von Liebig va proposar una nova definició dels àcids, basada en els seus extensos treballs sobre la composició química dels àcids orgànics, en la qual proposava que un àcid era una substància hidrogenada en la qual l'hidrogen podia ésser desplaçat per un metall. Això va completar el canvi de paradigma dels àcids com a compostos oxigenats<sup>10</sup> al dels àcids basats en hidrogen, iniciat per Humphry Davy el 1810.

---

9. Poppinger, Radom i Pople, 1977.

10. En el període 1772-1780 Antoine Laurent Lavoisier va desenvolupar la idea, a partir de pocs casos, que tots els òxids no metàl·lics formaven àcids (Crosland, 1973).

Ara bé, ni que estigués basada en una fórmula molecular falsa, la conclusió que la urea i el cianat d'amoni són isòmers constitucionals va ser, de fet, un punt cabdal del treball de Wöhler, que ja de per si va influenciar tota la comunitat química durant dècades. Més encert va tenir a l'hora d'identificar i formular de manera correcta compostos químics isomèrics, ja a principis del segle XIX, com, per exemple, els fulminats i els cianats metàl·lics.

## 2. PERSPECTIVA HISTÒRICA DELS RESULTATS DE WÖHLER SOBRE LA FORMACIÓ ARTIFICIAL DE LA UREA

Tal com s'ha esmentat a l'apartat anterior, el treball de Wöhler comença fent referència a un altre treball seu anterior, de l'any 1825, en què descrivia els resultats de tractar el cianogen amb una dissolució aquosa d'amoníac. Aquesta publicació va aparèixer en suec el darrer any de la seva estada amb Berzelius a Suècia, l'any 1824, i va ser traduïda a l'alemany pel mateix Wöhler l'any 1825.<sup>11</sup> Wöhler va descriure que, en tractar el cianogen amb amoníac aquós, hom obtenia àcid oxàlic (figura 1), un producte natural present en el ruibarbre (*Rheum* sp.) i en altres vegetals. També va fer notar la presència d'un altre producte, una substància cristal·lina incolora no identificada, tot i que en l'article de l'any 1825 no l'anomena *urea*.

Essent l'àcid oxàlic un compost orgànic, com és que no és aquesta publicació, en què se'n descriu la síntesi artificial, la que es considera com la que va iniciar la fi de les teories vitalistes en química? Una

---

11. Vegeu les notes a peu de pàgina 1 i 2 d'aquesta segona part.



possible raó és que alguns químics, com ara Louis Joseph Gay-Lussac (1778-1850) o Johannes Peter Müller (1801-1858), no consideraven que l'àcid oxàlic fos un compost orgànic, car només constava de dos elements (tal com ja hem esmentat a l'apartat anterior, hom creia que la seva fórmula molecular era  $C_2O_3$  i semblava ser un compost intermedi entre el monòxid de carboni i el diòxid de carboni). En qualsevol cas, la majoria dels químics, entre ells, precisament, Berzelius, consideraven l'àcid oxàlic com un compost orgànic de ple dret, la qual cosa fa encara més difícil d'entendre, avui en dia, per què en aquell moment no va ser l'àcid oxàlic el que es va endur el protagonisme de ser el primer compost orgànic preparat a partir d'un compost inorgànic.

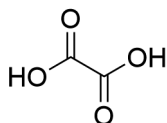


FIGURA 1. Fórmula desenvolupada de l'àcid oxàlic. Elaboració pròpia.

Després de tornar a Berlín el 1825, Wöhler va continuar treballant sobre la substància desconeguda que acompanyava la formació de l'àcid oxàlic i la va acabar identificant com a urea, tal com esmenta al primer paràgraf de la publicació de l'any 1828, traduïda en aquesta obra.<sup>12</sup> Concretament, Wöhler va establir que la substància desconeguda que acompanyava la formació de l'àcid oxàlic era el mateix compost que obtenia sempre que intentava produir cianat d'amoni, bé per combinació de l'àcid ciànic amb amoníac

---

12. Wöhler, 1828a, p. 253. Per a l'original, vegeu la pàgina 32 d'aquest volum, i per a la traducció, la pàgina 26.

aquós, bé per la doble descomposició del cianat de plata amb clorur d'amoni, bé pel tractament del cianat de plom amb amoníac aquós. Fins aleshores, la urea era coneguda només com una substància orgànica d'origen animal. El 22 de febrer de 1828 va escriure una carta a Berzelius en la qual, amb un peculiar sentit de l'humor, li anunciava:

[...] per dir-ho d'alguna manera, no em puc aguantar els pixats<sup>13</sup> i us he de dir que puc fer urea, sense necessitat de tenir ronyons, ni tan sols un animal, sigui un home o un gos.<sup>14</sup>

El fet que s'obtingués urea en aquestes condicions era totalment inesperat, car la reacció entre l'àcid ciànic i l'amoníac hauria de produir un compost salí. Però, tal com s'explica amb detall en la publicació de l'any 1828, traduïda en aquesta obra, la urea no era una sal i no mostrava cap de les propietats que hom esperaria per a un cianat d'amoni: no desprenia amoníac per tractament amb bases, ni àcid ciànic per tractament amb àcids.

En la mateixa carta, Wöhler explica que, per descriure aquest fenomen,

[...] vaig considerar la possibilitat que, mitjançant la unió de l'àcid ciànic amb l'amoníac, els elements es podien combinar en les mateixes propor-

---

13. L'expressió que fa servir Wöhler a la carta és «mein chemisches Wasser» ('la meua aigua química'), però pel context sembla clar que, fent un joc de paraules, es referia a no poder aguantar més l'orina. Ho hem traduït, doncs, per «pixats», per analogia amb la dita *agafar (algú) amb els pixats al ventre*.

14. La frase en alemany és: «[...] so zu sagen, mein chemisches Wasser nicht halten, und muss Ihnen sagen, dass ich Harnstoff machen kann, ohne dazu Nieren oder überhaupt ein Tier, sei es Mensch oder Hund, nötig zu haben» (Wallach, ed., 1966, p. 206).

cions, però d'una altra manera, i en fer-ho es podia produir, per exemple, una sal d'una base vegetal o quelcom semblant. [...] [La formació d'urea] seria, doncs, un exemple indiscutible del fet que dues entitats totalment diferents poden contenir les mateixes proporcions dels mateixos elements i que només el tipus d'unió diferent provoca les dissimilituds en les propietats.<sup>15</sup>

Sembla clar, doncs, que Wöhler considerava els seus resultats com una demostració del que ara anomenem *isomeria constitucional*.

Un altre descobriment important que cal esmentar en el marc de la perspectiva històrica de la publicació de la síntesi artificial de la urea per Wöhler, és que l'any 1823 Berzelius, Wöhler i Kindt, farmacèutic de Lübeck i amic de Leopold Gmelin, varen observar un residu negre en la preparació del potassi per reducció de l'hidròxid de potassi amb carbó. D'aquest residu, Gmelin, l'any 1825, en va aïllar l'àcid crocònic i la seva sal dipotàssica (vegeu la figura 2 per a les estructures, que els descriuen com a compostos orgànics).<sup>16</sup> El nom d'aquest d'àcid prové del grec (*κρόκος*, *krokos*) i indica que el seu color i el de les seves sals s'assembla al del rovell de l'ou o al del safrà.

De la mateixa manera que el cas de l'àcid oxàlic, aquest seria un altre exemple de síntesi artificial d'una molècula orgànica que es va fer amb anterioritat a l'any 1828. Cal tenir en compte, però, que no

---

15. El text en alemany és el següent: «[...] ich hielt es für möglich, dass durch die Vereinigung von Cyansäure mit Ammoniak die Elemente, zwar in derselben Proportion, aber auf eine andere Art zusammentreten könnten und hierbei vielleicht zu Beispiel eine vegetabilische Salzbase oder etwas Ähnliches gebildet werden könne. [...] Dies wäre also ein unbestreitbares Beispiel, dass zwei ganz verschiedene Körper dieselbe Proportion von denselben Elementen enthalten können, und das nur die ungleiche Art der Vereinigung die Verschiedenartigkeit in den Eigenschaften hervorbringt» (Wallach, ed., 1966, p. 206-207).

16. Gmelin, 1825.

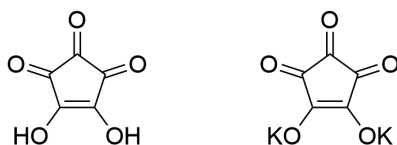


FIGURA 2. Fórmules desenvolupades de l'àcid crocònic (esquerra) i de la seva sal dipotàssica (dreta). Elaboració pròpia.

va ser fins molt més tard que hom va descobrir que l'àcid crocònic es pot obtenir per oxidació microbiològica d'un producte natural, el mioinositol;<sup>17</sup> d'altra banda, les estructures correctes de l'àcid crocònic i de l'anió croconat que es mostren a la figura 2 no es van proposar fins a l'any 1958.<sup>18</sup> Per tant, al 1825 Gmelin no tenia cap motiu per classificar l'àcid crocònic com un compost orgànic.

Així doncs, va ser la síntesi artificial de la urea de Wöhler l'any 1828 la que fou unànimement considerada com la primera obtenció al laboratori d'una substància orgànica. Per als científics actuals, és difícil entendre i justificar aquest fet, perquè els treballs esmentats de Gmelin i de Wöhler varen ser publicats a la mateixa revista (*Annalen der Physik und Chemie*), que estava dirigida pel mateix editor (Johann Christian Poggendorff), Gmelin i Wöhler provenien d'escoles de química altament prestigioses del panorama científic alemany i alguns científics de l'època consideraven aquests productes com a orgànics, en especial, l'àcid oxàlic. Possiblement, la raó de la prevalença del descobriment de la síntesi artificial de la urea respecte a la dels àcids oxàlic i crocònic rau en el fet que la diferència entre pro-

17. (1*R*,2*S*,3*r*,4*R*,5*S*,6*s*)-ciclohexan-1,2,3,4,5,6-hexol (West, ed., 1980; Kluwer, Hof i Boezaart, 1939).

18. Yamada, Mizuno i Hirata, 1958.

ducte orgànic i inorgànic era en aquells dies més difusa del que ho és actualment. En qualsevol cas, el fet que la urea fos una substància neutra sense cap característica pròpia d'una sal, la diferenciava dels àcids d'origen vegetal i la situava clarament entre les substàncies orgàniques.

### 3. INFLUÈNCIA DEL DESCOBRIMENT DE WÖHLER EN EL SEGUIMENT DE LA TEORIA DEL VITALISME

Per a situar el treball de Wöhler en el seu context històric<sup>19</sup> de manera adient, cal tenir present que en les primeres dècades del segle XIX hi havia una forta controvèrsia sobre si els éssers vius contenien o no una mena d'*esperit vital* i sobre la seva possible relació amb l'electricitat i la química.<sup>20</sup> Podem identificar dues posicions extremes, la dels vitalistes, d'una banda, i la dels materialistes, de l'altra. El vitalisme es basava en la suposició que cada entitat viva posseïa una força vital que li conferia la vida. Hom suposava que l'ànima s'introduïa en el cos per intervenció divina. Des dels experiments de Luigi Galvani (1737-1798) amb els efectes de l'electricitat sobre les cuixes de granes mortes, alguns químics, com ara Humphry Davy (1778-1829), van identificar l'electricitat amb l'afinitat química i van concloure que la força vital havia de tenir una estreta relació amb l'electricitat. L'expressió més popular actualment d'aquestes idees és la coneguda novel·la de Mary Shelley (1797-1851) *Frankenstein o el modern Pro-*

---

19. Per a una introducció històrica general sobre els orígens de la química orgànica, vegeu Wentrup, 2022.

20. Kinne-Safran i Kinne, 1999.

meteu, que es va publicar el 1818.<sup>21</sup> En contrast amb les teories de tipus espiritualista, la teoria materialista (que deriva de les idees mecanicistes de René Descartes) sostenia que no hi havia cap tipus d'esperit o de força vital, i que els cossos vius no són res més que una mena de màquines molt complexes. Un dels màxims representants d'aquest corrent de l'època fou el cirurgià Sir William Lawrence (1783-1867), que el 1816 publicà un llibre amb les seves classes com a professor d'anatomia, en què sostenia que el cos no és res més que una organització física de la matèria sense cap mena d'ànima i que la consciència i els pensaments dels humans són només fruit dels seus cervells. Això va encetar un fort debat amb un altre cirurgià, John Abernethy (1764-1831), un vitalista radical que va acusar Lawrence de blasfèmia i de postular la no existència de Déu.

En els anys immediatament anteriors a la síntesi artificial de la urea, la majoria dels químics consideraven que hi havia una diferència bàsica entre la matèria inerta i la d'origen biològic, que es manifestava en l'aparent impossibilitat d'obtenir compostos orgànics al laboratori i que, en darrer terme, derivava de l'existència de la força vital. Així, a la introducció del tercer volum de la versió alemanya del llibre de text de Berzelius *Lehrbuch der Chemie* de l'any 1827 (traduïda per Wöhler),<sup>22</sup> hom llegeix:

A la natura viva els elements semblen obeir a lleis totalment diferents de les que segueixen a la [natura] morta [...]. L'essència d'un cos viu no es basa, doncs, en els seus elements inorgànics, sinó en alguna altra cosa, que disposa els elements inorgànics [...] per produir un determinat resul-

---

21. Hindle, 1990.

22. La primera traducció a l'alemany del llibre de text de Berzelius sobre química (*Lärbok i Kemien*) de l'any 1816 no va ser feta per Wöhler.

tat, específic i característic de cada espècie [...]. Aquest quelcom que anomenem *força vital* [*Lebenskraft*] se situa totalment a part dels elements inorgànics i no és cap de les seves propietats originals, com ara la gravetat, la impenetrabilitat, la polaritat elèctrica, etc., però no sabem pas què és.<sup>23</sup>

Encara que això pot portar a la conclusió que Berzelius era un vitalista convençut, molts historiadors de la ciència creuen que Berzelius i la majoria dels químics contemporanis de Wöhler tenien una visió més aviat materialista de la química, car no dubtaven que els elements constitutius dels compostos orgànics i els minerals fossin els mateixos.<sup>24</sup> De fet, cal distingir dues vessants del vitalisme, que han estat anomenades per l'historiador de la ciència danès Bent Søren Jørgensen *vitalisme fisiològic* i *vitalisme químic*.<sup>25</sup> El vitalisme fisiològic nega que hom pugui crear un organisme viu a partir dels seus components inanimats, però que un cop generat, sigui per creació o per reproducció, ha de seguir les lleis de la natura, encara que amb un comportament molt complex. El vitalisme químic, d'altra banda, afirma l'existència d'una afinitat química específica que només actua en els cossos vius (o sigui, d'una força vital química) i que és totalment diferent de les afinitats químiques que governen les reaccions dels elements inorgànics. En una carta de 1831 al botànic Karl Adolph Agardh, Berzelius semblava negar l'existència d'una força vital química, quan deia que aquells que mantenien

[...] que les forces que actuen en els éssers vius no són forces químiques i que es basen en el fet que hom no pot reproduir artificialment els produc-

---

23. Berzelius, 1827.

24. Brooke, 1968.

25. Jørgensen, 1965.

tes de la natura orgànica estan equivocats, car qualsevol prova basada en no poder fer quelcom no és vàlida. Suposar que els elements en la natura orgànica estan dotats d'unes forces fonamentals diferents de les que operen en la natura inorgànica és absurd.<sup>26</sup>

Encara més, Berzelius, en la cinquena edició (1847) del seu *Lehrbuch der Chemie*, escrivia:

[...] certament, encara estem lluny de comprendre com tenen lloc els fenòmens de la vida, però, pel poc que en sabem, és clar que si en els fenòmens de la química orgànica hom entén per força vital quelcom que no sigui la concurrència particular de circumstàncies diferents en la intervenció de les forces naturals de la natura orgànica [...] hom comet un error.<sup>27</sup>

Per tant, en tot cas, hom podria qualificar la posició de Berzelius com a vitalisme fisiològic. D'una manera similar, quan en l'edició de 1827 del llibre de text *Elements of Chemistry*, d'Edward Turner, podem llegir que «una circumstància característica dels compostos orgànics és la impracticabilitat de formar-los artificialment per unió directa dels seus elements»,<sup>28</sup> cal entendre que hom feia referència a una dificultat pràctica més que a una impossibilitat apriorística. A favor d'aquesta interpretació es pot aduir el fet que en la tercera edició del mateix llibre, tres anys posterior a la publicació de Wöhler que ens ocupa ací, aquesta frase roman inalterada. Tal com veurem, fins a la síntesi de l'àcid acètic per Hermann Kolbe, el 1845, no es va

---

26. Berzelius, 1831 (per a la traducció d'aquesta frase a l'anglès, vegeu Jørgensen, 1965).

27. Berzelius, 1847 (per a la traducció d'aquesta frase a l'anglès, vegeu Jørgensen, 1965).

28. Turner, 1831 (per a la traducció d'aquesta frase a l'anglès, vegeu Brooke, 1968).



descriure cap altre exemple de formació al laboratori d'un compost orgànic a partir dels seus elements i continuava essent certa la dificultat d'obtenir al laboratori els compostos orgànics.

Cal, també, destacar el poc èmfasi que Wöhler va fer en el seu treball en aquests aspectes, car només comenta que la formació de la urea a partir del cianat d'amoni és

[...] un fet curiós en aquest context, atès que representa un exemple de la producció artificial d'una substància orgànica, més precisament d'origen animal, a partir de substàncies inorgàniques.

Al paràgraf final de l'article trobem les paraules següents:

M'abstinc de totes les consideracions que es presenten de manera tan natural com a conseqüència d'aquest fet, especialment en relació amb les proporcions de la composició de les substàncies orgàniques, quant a la mateixa composició elemental i quantitativa en compostos de propietats molt diferents [...].<sup>29</sup>

Tampoc no apareix a l'article cap referència explícita a qualsevol impacte de la seva síntesi sobre la teoria del vitalisme, més enllà de l'expressió «artificial» («künstliche»), que empra com a qualificatiu de la formació o de la natura de la urea. En la carta que escriu a Berzelius el 22 de febrer de 1828 hi trobem una referència una mica més explícita:

---

29. El text en alemany corresponent a aquestes dues frases apareix al primer paràgraf i a l'últim de la publicació de l'any 1828 traduïda en aquesta obra (Wöhler, 1828a, p. 253 i p. 256, respectivament). Per a l'original, vegeu les pàgines 32 i 35 d'aquest volum, i per a la traducció, les pàgines 26 i 29.

Aquesta formació artificial de la urea pot considerar-se com un exemple de la formació d'una substància orgànica a partir de substàncies inorgàniques? És curiós que la producció de l'àcid ciànic (i, també, la de l'amoniac) ha de tenir sempre una substància orgànica original, i un filòsof de la natura [*Naturphilosoph*] diria que l'orgànic no ha desaparegut ni del carbó animal, ni dels compostos cianats formats a partir d'ell, i que, per tant, un cos orgànic sempre es pot obtenir a partir d'aquests últims.<sup>30</sup>

Sembla, doncs, que Wöhler anticipa ací una possible crítica dels vitalistes a l'afirmació que la seva era una síntesi artificial (i no *natural*) d'un compost orgànic. El mateix Berzelius, en la resposta entusiasta a la carta de Wöhler (carta de Berzelius a Wöhler, del 7 de març de 1828), diu:

Després que hom ha començat la seva immortalitat amb l'orina, és probable que hi hagi totes les raons per completar l'ascensió al cel amb el mateix tema [...]. És una circumstància ben estranya que la naturalesa salina desaparegui completament quan s'uneixen l'àcid i l'amoniac, cosa que certament serà molt esclaridora per a futures teories.<sup>31</sup>

---

30. El text en alemany és el següent: «Diese künstliche Bildung von Harnstoff, kann man sie als ein Beispiel von Bildung einer organischen Substanz aus unorganischen Stoffen betrachten? Es ist auffallend, dass man zur Hervorbringung von Cyansäure (und auch von Ammoniak) immer doch ursprünglich eine organische Substanz haben muss, und ein Naturphilosoph würde sagen, dass sowohl aus der tierischen Kohle, als auch aus den daraus gebildeten Cyanverbindungen, das Organische noch nicht verschwunden, und daher immer noch ein organischer Körper daraus wieder hervorzubringen ist» (Wallach, ed., 1966, p. 208).

31. El text en alemany és: «Nachdem man seine Unsterblichkeit beim Urin angefangen hat, ist wohl aller Grund vorhanden, die Himmelfahrt in demselben Gegenstand zu vollenden [...]. Es ist ganz sonderbarer Umstand, dass die Salznatur so vollständig verschwindet, wenn die Säure und das Ammoniak sich vereinigen, was für künftige Theorien sicher sehr aufklärend sein wird» (Wallach, ed., 1966, p. 208).

Així doncs, Berzelius, encara que clarament entusiasmat per la troballa de Wöhler, no alludeix a cap mena d'implicació per al vitalisme ni per a les relacions entre la química inorgànica i l'orgànica. Encara més, en la introducció a la tercera edició del seu *Lehrbuch der Chemie*,<sup>32</sup> Berzelius continuava explicant (igual que el 1827) que els elements obeïen a lleis diferents en els compostos orgànics i en els inorgànics, continuava fent referència a l'existència d'una força vital («Lebenskraft»), que no tenia res a veure amb les lleis (gravetat, impenetrabilitat dels cossos sòlids, polaritat elèctrica) que governaven el comportament dels cossos inorgànics, i no esmentava en cap moment la síntesi de la urea de Wöhler ni tampoc qualsevol possible impacte en la teoria del vitalisme.

El 1830, el químic Jean-Baptiste Dumas (1800-1884) va manifestar que:

Tots els químics han aplaudit la brillant troballa del senyor Wöhler sobre la formació artificial de la urea. Més que ningú, he experimentat el sincer desig de veure aplicat el mateix principi [el del diferent arranjamnt dels elements en el cianat amònic i en la urea] a altres casos per als quals semblava proporcionar una clau.<sup>33</sup>

La «clau» que esmenta Dumas fa referència, però, al fet del diferent arranjamnt dels mateixos àtoms en dues substàncies, més que a l'impacte en la teoria de la força vital.

---

32. Berzelius, 1837.

33. El text en francès és el següent: «Tous les chimistes ont applaudi à la brillante découverte de M. Wöhler, sur la formation artificielle de l'urée. J'ai éprouvé, plus que personne, le désir sincère de voir appliquer le même principe à des cas analogues dont il semblait donner la clef» (Dumas, 1830, p. 273).

De fet, no va ser fins al 1837 que Liebig va indicar de manera clara que la importància de la síntesi de la urea de Wöhler residia en la producció artificial d'una substància orgànica a partir de compostos inorgànics:<sup>34</sup>

L'extraordinària i fins a cert punt inexplicable producció de la urea sense l'ajut de les funcions vitals [...] s'ha de considerar com un dels descobriments amb què ha començat una nova era de la ciència [...].<sup>35</sup>

La producció artificial de la urea no va tenir, doncs, un impacte inicial important en la desaparició del vitalisme químic (encara que constitueix una forta prova experimental en contra) i de cap manera no es podia emprar per a desacreditar o rebutjar el vitalisme fisiològic, que va continuar sent un corrent de pensament compartit per alguns científics (que sostenien, per exemple, la impossibilitat apriorística d'obtenir al laboratori un organisme viu, o la d'esbrinar com en el decurs de l'evolució química prebiòtica va aparèixer la vida).

En la primera dècada posterior a la publicació de l'article sobre la síntesi de la urea el 1828, si bé podem trobar algunes indicacions del reconeixement de la seva rellevància, la troballa de Wöhler estava encara lluny d'assolir l'estatus de mite fundacional de la química orgànica que li reconeixem (o atribuïm) avui dia i, de fet, la desacreditació de la teoria que la força vital era necessària per a la formació dels compostos orgànics va tenir lloc de manera gradual, principalment, al llarg de la segona meitat del segle XIX, quan es va sintetitzar al laboratori un nombre creixent de compostos orgànics.

---

34. Liebig, 1838.

35. Comentari citat i traduït a la pàgina 455 de Lipman, 1964.

## 4. APORTACIONS DE WÖHLER, LIEBIG I KOLBE A LA QUÍMICA ORGÀNICA MODERNA

### 4.1. INFLUÈNCIA EN LA SÍNTESI ORGÀNICA

#### 4.1.1. *Aportacions de Wöhler i Liebig*

La revolució química que va començar a finals del segle XVIII i que va perdurar fins a començaments del segle XIX va estar caracteritzada per una sèrie de fets. L'arribada de la teoria atòmica de John Dalton (1766-1844) i la pèrdua sostinguda de rellevància de la teoria del vitalisme varen crear les bases, entre molts altres fets, per al desenvolupament de la química i, especialment, de la química orgànica tal com les coneixem actualment. A més a més, els mitjans de comunicació de resultats varen créixer i es varen fer més habituals (per exemple, en la correspondència privada entre científics, a les publicacions, a les discussions a les acadèmies científiques que s'anaven creant i a les reunions dels seus membres que es varen anar organitzant). Òbviament, aquest intercanvi d'idees va portar en molts casos a desacords que es transformaren en veritables batalles. Ara bé, en alguns casos, les controvèrsies científiques varen ser l'origen de col·laboracions al llarg de molts anys i d'amistats profundes. Aquest és el cas entre Justus von Liebig i Friedrich Wöhler, que varen tenir una agra discussió arran del concepte *isomeria*; aquest fet, però, va forjar, també, una gran amistat entre ells, que es va traduir en una llarga cooperació al llarg de les seves vides. Durant la primera meitat del segle XIX, Alemanya va esdevenir una força capdavantera en el camp de la química, gràcies, en part, als treballs separats i conjunts d'aquests dos grans químics i dels seus deixebles.

Aquests dos científics tenien moltes coses en comú: ambdós eren alemanys, varen viure a la mateixa època, varen ser deixebles durant la seva joventut de grans mestres de la química (Liebig de Gay-Lussac i Wöhler de Berzelius). A més, tots dos varen treballar, amb molt èxit, en camps diversos de la química i tenien uns amplis coneixements que anaven més enllà d'aquesta disciplina científica.

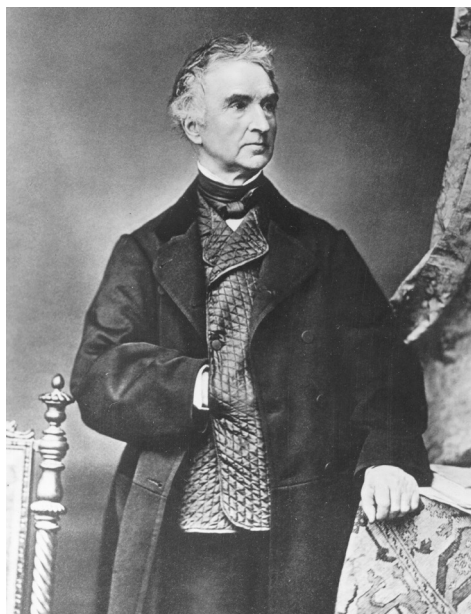
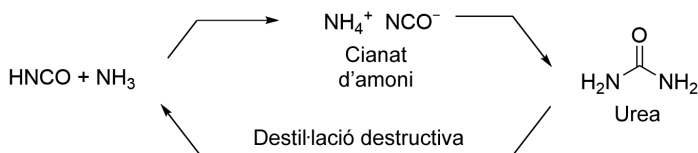


FIGURA 3. Fotografia de Justus von Liebig (Darmstadt, Alemanya, 1803 - Múnic, Baviera, 1873) procedent de la Col·lecció Edgar Fahs Smith, Kislak Center for Special Collections, Rare Books and Manuscripts, Universitat de Pensilvània, Estats Units d'Amèrica, de domini públic.

Pel que fa a les col·laboracions científiques entre Wöhler i Liebig relacionades amb aquest escrit sobre la síntesi artificial de la urea, cal esmentar que al cap de dos anys de la publicació original de Wöhler, ambdós de manera conjunta varen demostrar que, quan es mesclen en fase gasosa àcid isociànic ( $\text{HNCO}$ ) i amoníac ( $\text{NH}_3$ ), el primer producte que es forma és el cianat d'amoní cristal·lí ( $\text{NH}_4\text{NCO}$ ), que evoluciona a urea de manera molt fàcil i ràpida (vegeu l'equació superior de l'esquema 5),<sup>36</sup> ja sigui en fondre el sòlid o en evaporar una dissolució aquosa en què el cianat d'amoní estigui dissolt. També varen investigar de nou la síntesi artificial de la urea original a partir dels cianats de plata o de plom, i varen descobrir que, en les condicions de reacció emprades, el cianat d'amoní era el primer producte que es formava. Al cap d'uns quants anys, Wöhler va demostrar que la destil·lació de la urea a temperatures elevades conduïa a la seva fragmentació amb formació d'amoníac i àcid isociànic, que eren els mateixos compostos a partir dels quals havia estat sintetitzada.<sup>37</sup>



ESQUEMA 5. Reversibilitat en l'obtenció de la urea. Elaboració pròpia.

La síntesi química de la urea per Wöhler a partir del cianat d'amoní va suposar una fita molt important per al desenvolupament de la

36. Liebig i Wöhler, 1830.

37. Wöhler, 1829.

química orgànica moderna. Els químics de l'època es van anar adonant de manera progressiva que la divisió natural que fins llavors havia separat compostos orgànics i inorgànics no tenia cap sentit ni base científica. Cal fer esment, un altre cop, que fins llavors es creia que els compostos orgànics eren d'una natura diferent dels inorgànics i que es podien obtenir només de cossos vius o que havien estat vius. La possibilitat que totes les substàncies es poguessin sintetitzar a partir de components estructuralment més simples va anar guanyant pes dins la comunitat científica. Així, Wöhler i Liebig van publicar l'any 1838 la idea que una nova disciplina de la química, la síntesi orgànica, s'estava desenvolupant i que ho hauria de fer amb uns conceptes i/o coneixements encara per establir:

La filosofia de la química traurà la conclusió d'aquest treball que la producció de tota la matèria orgànica als nostres laboratoris, en la mesura que ja no pertanyi a l'organisme, s'ha de considerar no tan sols com a probable sinó com a certa. El sucre [s'entén que es referien a la sacarosa, que és el sucre amb una estructura de disacàrid més comuna], la salicina, la morfina [figura 4] es crearan de manera artificial. Per descomptat, encara no sabem de quina manera es pot aconseguir aquest resultat final, perquè els precursors a partir dels quals aquestes matèries es generen ens són desconeguts, però els arribarem a conèixer.<sup>38</sup>

---

38. El text en alemany és el següent: «Die Philosophie der Chemie wird aus dieser Arbeit den Schluss ziehen, dass die Erzeugung aller organischen Materien, in so weit sie nicht mehr dem Organismus angehören, in unseren Laboratorien nicht allein wahrscheinlich, sondern als gewiss betrachtet werden muss. Zucker, Salicin, Morphin werden künstlich hervorgebracht werden. Wir kennen freilich die Wege noch nicht, auf dem dieses Endresultat zu erreichen ist, weil uns die Vorglieder unbekannt sind, aus denen diese Materien sich entwickeln, allein wir werden sie kennen lernen» (Wöhler i Liebig, 1838).



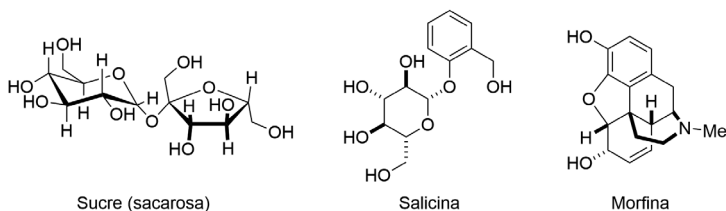


FIGURA 4. Possibles molècules objectiu a ser sintetitzades per la comunitat científica segons Wöhler i Liebig. Elaboració pròpia.

En els anys posteriors a la síntesi artificial de la urea de Wöhler, aquest autor i Liebig varen descriure la síntesi de nous productes químics a partir de productes orgànics que s'havien aïllat de fonts naturals. Els estudis sobre la reactivitat de l'àcid úric (per a l'estructura d'aquest compost, vegeu l'esquema 6) i la seva transformació en altres molècules orgàniques en són un exemple. De fet, Wöhler<sup>39</sup> n'havia estudiat la descomposició mitjançant destil·lació seca i havia observat que conduïa a l'àcid cianúric.<sup>40</sup> En relació amb aquest estudi, cal destacar-ne de posteriors,<sup>41</sup> en què Wöhler i Liebig varen sotmetre l'àcid úric a l'acció d'un conjunt molt divers d'oxidants i reductors, d'àcids i de bases, per estudiar-ne el comportament químic. Això els va permetre obtenir un ventall gran de nous productes orgànics; els va possibilitar, també, determinar de manera correcta la fórmula empírica de productes que altres científics havien ja aïllat i, per acabar, va facilitar que la comunitat científica disposés de mètodes sintètics més eficients per a productes d'interès en aquells temps. Com que aquests objectius són encara de màxima actuali-

39. Wöhler, 1829.

40. Àcid cianúric:  $C_3H_3N_3O_3$ ; 1,3,5-triazina-2,4,6-triol.

41. Liebig i Wöhler, 1837; Wöhler i Liebig, 1838.

tat en el camp de la síntesi orgànica moderna, a continuació se'n descriuen alguns exemples representatius que il·lustren les diverses problemàtiques en síntesi orgànica d'aquells temps i com Wöhler i Liebig les van resoldre en la mesura de les seves possibilitats.

#### 4.1.1.1. Síntesi de l'allantoïna

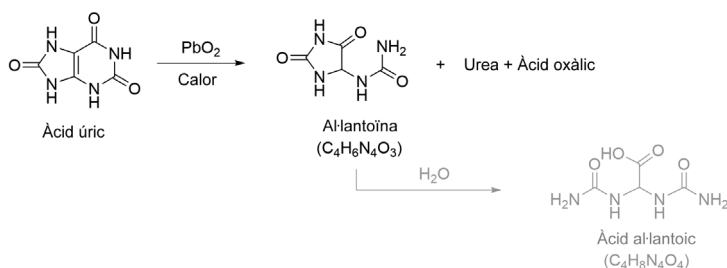
Wöhler i Liebig varen estudiar el comportament de l'àcid úric amb diòxid de plom com a oxidant. Aquests autors van descriure que el tractament d'àcid úric pur obtingut de fonts naturals (més concretament, d'excrements de serps) amb diòxid de plom seguit d'un tractament extractiu amb aigua calenta conduí a l'aïllament de l'allantoïna. Curiosament, el químic francès Jean Louis Lassaigne (1800-1859) havia observat la presència d'aquest producte en el líquid de la membrana allantoide de les vaques<sup>42</sup> i el va anomenar *àcid allantoic*. Wöhler i Liebig esmenten el producte obtingut de fonts naturals en els seus treballs, i indiquen que a partir d'aquell moment l'anomenaran *allantoïna*, en lloc del nom previ, perquè el producte aïllat no tenia un caràcter àcid. L'anàlisi elemental descrita per Wöhler i Liebig encaixava amb l'allantoïna i no pas amb l'àcid que se'n deriva. Creiem que aquesta confusió pot provenir del fet que l'àcid allantoic s'obté per hidròlisi de l'allantoïna (esquema 6) i en algun moment de l'aïllament del producte de fonts naturals realitzat per Lassaigne es devia produir aquesta hidròlisi.

Tal com es pot esperar, la reacció d'oxidació de l'àcid úric amb diòxid de plom no va ser selectiva i els autors varen observar, també,

---

42. Lassaigne, 1821.

el despreniment de diòxid de carboni en el procés d'oxidació i varen poder aïllar urea de les aigües de cristallització de l'allantoïna i àcid oxàlic del residu que contenia les sals de plom (esquema 6). És important destacar que el mètode desenvolupat per Wöhler i Liebig va suposar un procediment alternatiu per a la preparació d'aquest compost.



ESQUEMA 6. Preparació de l'allantoïna a partir de l'àcid úric (en gris, s'indica el producte que en deriva per hidròlisi). Elaboració pròpia.

#### 4.1.1.2. Síntesi de l'al·loxana, l'al·loxantina i altres productes relacionats

En el treball de l'any 1838, esmentat anteriorment, Wöhler i Liebig varen descriure, també, el resultat de l'oxidació de l'àcid úric amb àcid nítric. Varen observar que els productes d'oxidació obtinguts depenien de la temperatura i de la concentració de l'àcid nítric. Per exemple, el tractament d'àcid úric amb una solució diluïda d'àcid nítric, neutralitzada amb amoníac aquós, seguida d'evaporació del dissolvent i refredament de la dissolució concentrada resultant, condueix a la formació d'un sòlid cristal·lí groguenc que Wöhler i Liebig

varen identificar com la sal d'amoni de l'àcid oxalúric (per a l'estructura d'aquest compost, vegeu l'esquema 7).

Quan l'àcid úric es feia reaccionar amb àcid nítric més concentrat (densitat relativa al voltant d'1,4),<sup>43</sup> s'obtenien altres productes en forma pura després de nombroses cristallitzacions en aigua. Aquests productes els van identificar com a al·loxana i productes relacionats amb aquesta (esquema 7), i van observar que cristallitzava en dues formes, una d'anhidra, quan la cristallització tenia lloc en calent, i una d'hidratada. Els autors descriuen que l'estructura cristal·lina de la forma anhidra era similar a la de l'augita (mineral del grup dels silicats),<sup>44</sup> mentre que l'estructura cristal·lina de la forma hidratada era semblant a la de la barita (mineral de la classe dels sulfats constituïda per sulfat de bari). La segona forma cristal·lina de l'al·loxana descoberta per Wöhler i Liebig, la que està hidratada, possiblement no corresponia al compost carbonílic amb aigua de cristallització sinó a l'hidrat del carbonil en la posició 5 de l'al·loxana (esquema 7; aquest producte va ser caracteritzat i sintetitzat<sup>45</sup> o recristallitzat de forma selectiva amb posterioritat).

Els autors varen estudiar l'efecte d'emprar àcid nítric fumant (contingut en àcid nítric proper al 100 % i densitat superior a 1,5 g/cm<sup>3</sup>) en l'oxidació de l'àcid úric i varen obtenir, també, al·loxana conjuntament amb el purpurat d'amoni (o murexida), l'estructura del qual s'esmentarà més endavant.

---

43. Els autors parlen de «spezifiches Gewicht», que en alemany es pot referir tant al pes específic (unitats en el sistema internacional de N/m<sup>3</sup>) com a la gravetat específica que reflecteix la densitat relativa d'una substància respecte a la de l'aigua a 4 °C (nombre adimensional). Els autors d'aquest escrit han suposat que Wöhler i Liebig es referien a la densitat relativa respecte a l'aigua. L'àcid nítric, amb una densitat d'1,425 g/cm<sup>3</sup>, conté un 70,98 % en pes de HNO<sub>3</sub> i correspon a una concentració de 16,1 M en aquest àcid.

44. Cal recordar, tal com s'ha indicat a la introducció, que Wöhler era un profund coneixedor del camp de la mineralogia.

45. Holmgren i Wenner, 1952.

Els estudis del comportament de l'al·loxana amb bases en medi aquós (per exemple, hidròxid de bari) van portar els autors a concloure que es formava un altre producte: l'àcid al·loxànic. L'àcid al·loxànic prové de la saponificació del grup carbonil en C4 amb formació de la forma lineal o oberta seguida de ciclació per portar a l'àcid al·loxànic (vegeu l'esquema 7 per a l'estructura).

Els autors varen estudiar la reacció de l'àcid úric amb àcid nítric diluït sota condicions d'evaporació suaus. En aquestes condicions, s'obtenia un sòlid lleugerament groguenc que els autors varen anomenar *al·loxantina*. Tot i que els autors desconeixien l'estructura de l'al·loxantina, varen observar que al·loxana i al·loxantina es podien convertir l'una en l'altra emprant un agent reductor (sulfur d'hidrogen o una barreja de zinc en àcid clorhídric) sobre l'al·loxana o un d'oxidant (àcid nítric) sobre l'al·loxantina.

Pel que fa a l'estructura de l'al·loxantina, la comunitat científica va estar dividida fins a l'any 1950, atès que es dubtava entre una estructura hemicetàlica (això vol dir, un hemicetal entre l'al·loxana i l'àcid dialúric, essent aquest últim producte el que deriva de la reducció del grup carbonil en C5 de l'al·loxana) o una estructura de tipus pinacolínic (això vol dir, la provinent de l'acoblament dels dos carbonis C5 de dues unitats d'al·loxana; figura 5). L'any 1950, Radwan Moubasher i Abdel Magid Othman<sup>46</sup> varen establir que l'estructura de l'al·loxantina es corresponia amb l'estructura pinacolínica (figura 5), atès que aquesta està més d'acord amb la reactivitat química observada que no pas l'hemicetàlica. L'al·loxantina s'obté amb dues aigües de cristallització.<sup>47</sup> Aquest fet està d'acord amb els resultats de

---

46. Moubasher i Othman, 1950.

47. Nightingale, 1943.

Wöhler i Liebig, atès que la fórmula molecular que descriuen a partir de l'anàlisi elemental és coherent amb el que s'espera per a l'al·loxantina amb dues molècules d'aigua. A les bases de dades químiques modernes (per exemple, Reaxys<sup>®</sup> o SciFinder<sup>®</sup>) no es troba cap compost de tipus hidrat derivat de l'al·loxantina, la qual cosa fa pensar que les dues molècules d'aigua són realment de cristallització i no estan enllaçades de manera covalent a la molècula.

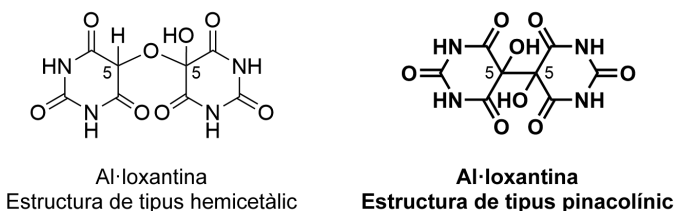


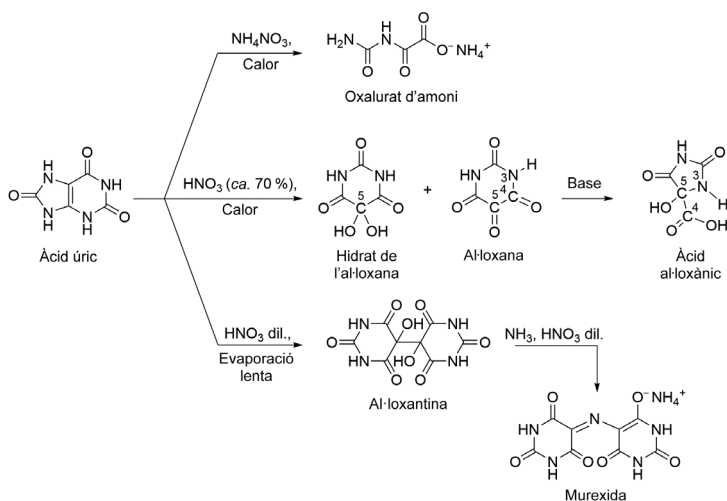
FIGURA 5. Possibles estructures de l'al·loxantina (en traç gruixut, l'estructura actualment acceptada). Elaboració pròpia.

Els autors varen estudiar, també, la transformació de l'al·loxantina en murexida (o purpurat d'amoni).<sup>48</sup> Aquest producte havia estat descrit uns quants anys abans per Prout en els seus estudis sobre l'orina.<sup>49</sup> Wöhler i Liebig varen descriure que l'al·loxantina amb una certa addició d'àcid nítric i amoníac conduïa a la formació d'uns cristalls foscos de color verd que varen identificar com el producte de

48. La murexida es pot obtenir també directament de l'àcid úric per tractament amb àcid nítric i amoníac en condicions molt controlades, tot i que aquest mètode té el problema d'una manca de reproductibilitat. L'èxit o fracàs de l'operació depèn de com s'addiciona l'amoniac i de la temperatura. En el seu treball, Wöhler i Liebig descriuen de manera detallada el procediment, tot i que també esmenten que no és el mètode més recomanable per a obtenir la murexida (Wöhler i Liebig, 1838).

49. Prout, 1818a, p. 472.

Prout (esquema 7). Els autors descriuen que la murexida no es formava si l'al·loxantina era oxidada completament a al·loxana per acció de l'àcid nítric i que calia la presència simultània d'al·loxantina i al·loxana en el medi de reacció perquè s'obtingués la murexida.<sup>50</sup> Estudis sobre el mecanisme de formació de la murexida, així com de degradació d'aquest compost, varen ser publicats per David Davidson i Elias Epstein,<sup>51</sup> aproximadament cent anys després de l'article de Wöhler i Liebig.



ESQUEMA 7. Formació de derivats de l'àcid oxalúric, al·loxana i al·loxantina a partir de l'àcid úric. Elaboració pròpia.

50. Tal com s'indica al segon paràgraf de la pàgina 67, l'al·loxana es forma *in situ* en el medi de reacció a partir de l'al·loxantina i, d'aquesta manera, es donen les condicions perquè la murexida es pugui formar.

51. Davidson i Epstein, 1936.

Els exemples abans esmentats no pretenen ser un recull exhaustiu de l'obtenció de tots els productes descrits per Wöhler i Liebig a l'article de l'any 1838,<sup>52</sup> ni tampoc una descripció detallada de tots els estudis de reactivitat fets. Senzillament, s'han volgut esmentar els exemples més representatius per a il·lustrar el gran desenvolupament d'una àrea de la química (la síntesi orgànica) a partir de la síntesi artificial de la urea. S'ha intentat, també, que els exemples escollits aportin una visió àmplia de les activitats característiques de la síntesi orgànica que tenim tan assumides avui en dia: obtenció, purificació i caracterització de productes, estudi de la seva reactivitat i revisió dels resultats obtinguts per altri. Totes aquestes activitats relacionades amb la química orgànica són de màxima actualitat encara avui dia. La química que s'ha resumit en la discussió prèvia, i altra de no esmentada tant de Wöhler i Liebig com d'altres químics, demostra, també, l'esforç que la comunitat científica va realitzar per a obtenir nous compostos orgànics des de la troballa de la síntesi artificial de la urea. El denominador comú de tots els exemples que s'han esmentat fins ara en aquest escrit és que són «síntesis químiques parcials». Aquestes es podrien definir com un tipus particular de síntesi orgànica que emprava compostos químics aïllats de fonts naturals (àcid úric pel que fa als exemples fins ara esmentats) per a produir nous compostos químics amb propietats diferents des del punt de vista químic o medicinal.

---

52. En aquest treball, els autors també descriuen la síntesi de l'uramil, l'àcid dialúric («Dialursäure»), l'àcid tionúric («Thionursäure»), l'àcid parabànic («Parabansäure»), l'àcid mesoxàlic («Mesoxalsäure»), l'àcid micomelínic («Mykomelinsäure»), la murexana («Murexan») i l'àcid uramílic («Uramilsäure»). Aquests exemples no s'han esmentat en aquest escrit per manca d'espai; el lector pot consultar la font original per a més detalls (Wöhler i Liebig, 1838).



#### 4.1.2. *Primera síntesi d'un compost orgànic*

*a partir dels seus elements: síntesi de l'àcid acètic de Kolbe*

##### 4.1.2.1. Presentació

Hem alludit de manera repetida al fet que en els anys immediatament posteriors a la publicació de la preparació artificial de la urea per Wöhler, aquesta troballa no va assolir un reconeixement unànime per part de la comunitat científica i, en concret, no hi va haver cap referència explícita a la demostració de la falsedat de les teories vitalistes. Si bé hom pot trobar algunes referències al possible impacte de la preparació artificial d'un compost orgànic sobre el vitalisme químic, el que va cridar més l'atenció del treball de Wöhler fou la transformació directa d'un compost salí en un compost no salí (avui diríem d'un compost iònic en un compost covalent) i el reconeixement que la urea i el cianat d'amoni tenien la mateixa composició elemental. Així doncs, el mateix Liebig, que, tal com hem vist, l'any 1838 compartia amb Wöhler que en un futur seria possible obtenir al laboratori molts productes d'origen natural, va continuar creient en el concepte *força vital* («Lebenskraft», si més no, en la seva versió fisiològica), i el 1851 escrivia:

Diferenciem entre els efectes de la força química i els que pertanyen a la força vital, i estarem en camí de comprendre la naturalesa d'aquesta última. La química mai no serà capaç de produir un ull, un pèl o una fulla.<sup>53</sup>

---

53. El text en alemany és el següent: «Unterscheiden wir die Wirkungen, welche der chemischen Kraft, von denen, welche der Lebenskraft angehören, und wir befinden uns auf dem Wege, um Einsicht in die Natur der letzteren zu gewinnen. Nie wird der Chemismus im Stande sein, ein Auge, ein Haar, ein Blatt zu erzeugen» (Liebig, 1878, p. 14-15). Aquesta frase també és citada i traduïda a Wentrup, 2022.

El mateix Wöhler reconeixia, en la carta a Berzelius<sup>54</sup> del 22 de febrer de 1828 que ja hem esmentat, que un «Naturphilosoph» podria argumentar que la preparació de la urea a partir d'àcid ciànic no era, en veritat, una síntesi a partir de substàncies inorgàniques, sinó més aviat una transformació d'una substància d'origen orgànic en una altra (car, en darrer terme, els cianats s'obtenien de peülles, de banyes o de sang seca); la constatació que la urea s'havia obtingut per isomerització, i no per una veritable síntesi (en el sentit cartesià del terme, la reconstrucció d'un tot més complex a partir de principis més senzills), constituïa una crítica important.

En el mateix sentit, el 1842, el químic alsacià Charles Gerhardt (1816-1856) observava que la urea i tots els altres productes sintetitzats per Wöhler i Liebig eren productes de combustió, o de rebuig. A més, «tots aquests productes artificials tenen una composició menys complexa que les substàncies a partir de les quals es formen»<sup>55</sup> en els éssers vius, i deïa, també, que ningú no havia assolit encara la preparació de l'àcid úric a partir de la urea, del sucre a partir de l'alcohol, de la salicina a partir de l'oli de salze o de la fusta a partir del metanol ('esperit de llenya'; *Holzgeist*, en alemany). Finalment, no hem d'oblidar que la síntesi de la urea de Wöhler es va produir per atzar (serendípicament), sense cap disseny racional previ.

Així doncs, si per síntesi orgànica s'entén la construcció intencional de molècules orgàniques mitjançant transformacions químiques a partir de molècules inicials més senzilles i que, en última instància, suposi una síntesi a partir dels elements químics, ens hem de remetre

---

54. Vegeu la nota 30 d'aquesta segona part.

55. El text en alemany és el següent: «Alle diese künstlichen Produkte haben daher eine minder komplizierte Zusammensetzung als die Substanzen aus denen sie entstehen» (Gerhardt, 1842, p. 442).

a la síntesi de l'àcid acètic publicada per Kolbe l'any 1845 com a primer exemple.<sup>56</sup>

#### 4.1.2.2. Apunt biogràfic de Kolbe

Abans de descriure amb més detall la síntesi de l'àcid acètic de Kolbe a partir de substàncies inorgàniques senzilles, presentem un breu esbós biogràfic de l'autor. Adolf Wilhelm Hermann Kolbe va néixer el 27 de setembre de 1818 a Eliehausen (a prop de Göttingen) i era el més gran dels quinze fills d'un pastor luterà. De ben petit, Kolbe va mostrar interès per la ciència i, en particular, per la química, en la qual fou introduït per un deixeble de Robert Bunsen (1811-1899). El 1838 va iniciar els estudis de química a la Universitat de Göttingen, sota el guiatge de Friedrich Wöhler (que, tal com hem vist, era professor ordinari de química des de 1836). En aquesta època, va conèixer Berzelius, a qui va causar una gran impressió. El 1842 es va traslladar a Marburg, on l'any següent finalitzà el doctorat sota la direcció de Robert Bunsen. Mentre era a Marburg, va dur a terme la síntesi de l'àcid acètic, que comentarem tot seguit. Després d'una estada postdoctoral a Londres (1845-1847), va tornar a Alemanya i va treballar, primer, a Braunschweig i, després, a Marburg, on va succeir Bunsen el 1851. Kolbe mai no havia estat habilitat com a professor i el seu nomenament als trenta-dos anys va suscitar algunes reaccions adverses. Però es va envoltar d'un grup de joves estudiants de gran talent i els catorze anys següents va desenvolupar una carrera molt reeixida. El 1865 va traslladar-se a Leipzig, on va construir el labora-

---

56. Kolbe, 1845.



FIGURA 6. Imatge d'Adolf Wilhelm Hermann Kolbe (Elliehausen, Alemanya, 1818 - Leipzig, 1884) procedent de la Col·lecció Edgar Fahs Smith, Kislak Center for Special Collections, Rare Books and Manuscripts, Universitat de Pensilvània, Estats Units d'Amèrica, de domini públic.

tori de química més gran i millor equipat de l'època. El 1870 va esdevenir editor del *Journal für Praktische Chemie*, des d'on va exposar les seves idees sobre l'evolució de la química (sovint, molt personals; no va creure mai en el carboni tetravalent de Friedrich August Kekulé i

va ridiculitzar la teoria del carboni tetraèdric de Jacobus Hendricus van 't Hoff). Va morir a Leipzig el 25 de novembre de 1884. Deixant de banda la síntesi de l'àcid acètic, Kolbe va realitzar altres aportacions fonamentals a la síntesi orgànica que no comentarem ací (síntesi d'àcids carboxílics per hidròlisi de nitrils, amb Edward Frankland, el 1848; descarboxilació-dimerització electroquímica d'àcids carboxílics, el 1849; síntesi de Kolbe-Schmitt de derivats de l'àcid salicílic, el 1860). Al llarg de la seva carrera, Kolbe va tenir més de dos mil estudiants, que sentien per ell una gran admiració. Va ser un dels químics experimentals més brillants del seu segle, «un veritable mestre del laboratori químic»,<sup>57</sup> i, malgrat les seves opinions extremes i en certa mesura perilloses, fou també un dels teòrics més importants dels inicis de la química orgànica.

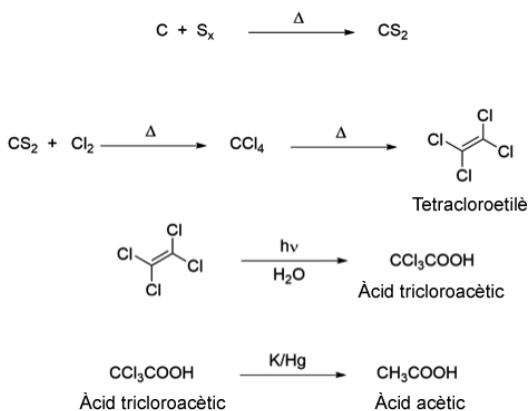
#### 4.1.2.3. Síntesi de l'àcid acètic

L'àcid acètic és un dels productes naturals coneguts des de fa més temps (el seu ús en processos alquímics està documentat al segle III abans de la nostra era), però fins l'any 1843, quan Kolbe es va proposar d'obtenir-lo al laboratori, només havia estat preparat per processos biològics (fermentació). En la seva síntesi, Kolbe va obtenir l'àcid acètic directament des de carboni, clor i aigua, i sense involucrar en cap etapa de la síntesi cap material orgànic (esquema 8). La síntesi dissenyada per Kolbe implicava obtenir disulfur de carboni per calefacció de carboni i sofre elementals. La reacció d'aquest compost amb clor elemental va proporcionar tetraclorur de carboni. La

---

57. Rocke, 2024.

piròlisi d'aquest compost en un recipient de porcellana en forma de tub reblit de troços de porcellana (disseny inicial d'un reactor tubular) va conduir a tetracloroetilè i clor (problament, amb formació del diclorocarbè com a intermediari de reacció). El tractament aquós del tetracloroetilè en presència de llum (reacció fotoquímica) va produir àcid tricloroacètic, que per reducció amb amalgama de potassi i mercuri (o, alternativament, per l'hidrogen generat en l'electròlisi de l'aigua) va conduir a l'àcid acètic.<sup>58</sup>



ESQUEMA 8. Esquema sintètic per a obtenir àcid acètic dissenyat per Kolbe. Elaboració pròpia.

En aquest treball, Kolbe va posar èmfasi en el fet que:

En un context precís des del punt de vista de la [seva] gènesi, [aquesta sèrie de compostos] constitueix una cadena contínua les baules de la

58. Kolbe, 1845.

qual faciliten una transició ràpida dels compostos inorgànics simples a compostos considerats pertanyents a la química orgànica; així, aquí, tal com en altres casos, no és possible establir una frontera entre orgànic i inorgànic.<sup>59</sup>

La preparació de l'àcid acètic per Kolbe fou la primera síntesi orgànica significativa des de la de la urea, així com la primera síntesi total d'un producte natural de la història de la química. De fet, Kolbe fou el primer en emprar la paraula *síntesi* (*Synthese*) en l'accepció química actual. En molts aspectes, l'assoliment de la preparació al laboratori de l'àcid acètic fou més impressionant que el de Wöhler, car aquest havia emprat materials de partida derivats d'organismes vius, mentre que Kolbe havia partit de carbó, clor i sofre, que no tenien lligams directes amb cap organisme viu. És clar que la síntesi de l'àcid acètic de Kolbe no va anihilar d'un sol cop el vitalisme (tal com tampoc no ho havia fet la síntesi de la urea del seu mestre), però va ser un pas importantíssim en el camí cap a la síntesi orgànica moderna.

La síntesi artificial de la urea de Wöhler no és, doncs, estrictament comparable a la síntesi de l'àcid acètic de Kolbe a partir dels seus elements, atès que Wöhler va emprar un compost de partida que ja tenia la subunitat N–C–O constituent de la urea a la seva molècula. Tot i així, és indubtable que va constituir l'assoliment d'un gran repte i va tenir a la llarga un gran ressò. Kolbe va esmentar l'any 1854 en el seu llibre de química orgànica *Ausführliches Lehrbuch der organischen Chemie* que la troballa de Wöhler havia constituït una síntesi

---

59. El text en alemany és el següent: «Genetisch im genauen Zusammenhange stehend, bilden sie eine fortlaufende Kette, deren Glieder einen so raschen Übergang von den einfachsten unorganischen Stoffen zu solchen Verbindungen vermitteln, welche wir ausschließlich als der organischen Chemie angehörend zu betrachten gewohnt sind, dass es hier, wie in wenigen anderen Fällen, unmöglich wird, zwischen Organisch und Unorganisch eine Grenze zu ziehen» (Kolbe, 1845, p. 145).

quasi immediata des dels elements, que la divisió natural que fins llavors havia separat compostos orgànics i inorgànics havia caigut, i que la classificació en el sentit antic entre compostos orgànics i inorgànics no tenia cap mena de base científica.

#### 4.1.3. *Observacions finals*

Tot i que les reaccions orgàniques s'havien dut a terme des de temps arcaics, la ciència de la química orgànica no es va començar a desenvolupar fins al segle XVIII, a França, primer, i a Alemanya, després. Sense cap mena de dubte, la síntesi artificial de la urea de Wöhler, les síntesis de les molècules esmentades en aquest treball per Wöhler i Liebig (i moltes d'altres que no s'han descrit per motius d'espai) i la síntesi de Kolbe de l'àcid acètic varen ser fites importants en el desenvolupament de la síntesi orgànica, que van ajudar a traçar el camí del desenvolupament d'aquesta àrea de recerca.

En definitiva, la frase de Wöhler i Liebig sobre la futura síntesi del sucre, de la salicina i de la morfina, publicada en el seu treball de l'any 1838 a *Annalen der Pharmacie* i que ja hem esmentat,<sup>60</sup> va ser realment premonitòria del desenvolupament que la síntesi orgànica ha experimentat en els últims dos-cents anys. Pel que fa a les prediccions concretes de Wöhler i Liebig, una síntesi de la salicina va ser publicada per Alfons Kunz<sup>61</sup> l'any 1926 a partir d'un anàleg del cresol.<sup>62</sup> La síntesi de la morfina<sup>63</sup> va ser dissenyada per Marshall Gates

---

60. Vegeu la nota 38 d'aquesta segona part.

61. Kunz, 1926.

62. L'estructura de la salicina fou establerta per síntesi l'any 1906 per Irvine i Rose (1906).

63. Gates i Tschudi, 1950, 1952 i 1956.



i publicada l'any 1952 amb aproximadament trenta passos de síntesi i un rendiment total inferior a l'1 %. Després de diversos intents de síntesi de la sacarosa en diferents grups de recerca que no van reeixir, Raymond Urgel Lemieux i George Huber van sintetitzar la sacarosa a partir d'un derivat acetilat de la glucosa i de la fructosa l'any 1953.<sup>64</sup>

## 4.2. CONTRIBUCIONS CONCEPTUALS A LA QUÍMICA ORGÀNICA

### 4.2.1. *Isomeria*

Ja s'ha esmentat en aquest escrit que, en una carta del 22 de febrer de 1828, Wöhler comunicava al seu mestre Berzelius que havia obtingut la urea de manera artificial a partir de compostos inorgànics sense necessitat d'haver hagut d'emprar cap organisme viu o materials d'origen biològic. El fet que s'obtingués urea en aquestes condicions va ser totalment inesperat per a Wöhler, perquè ell hauria esperat de la reacció entre derivats de l'àcid cianic i l'amoniac un compost salí. Però, tal com s'explica amb detall en l'article protagonista del present escrit, la urea no era una sal i no mostrava cap de les propietats que hom esperaria per a un cianat d'amoni.

En la mateixa carta a Berzelius, Wöhler esmenta:

[...] vaig considerar la possibilitat que, mitjançant la unió de l'àcid cianic amb l'amoniac, els elements es podien combinar en les mateixes proporcions, però d'una altra manera, i en fer-ho es podia produir, per exemple, una sal d'una base vegetal o quelcom semblant. [...] [La forma-

---

64. Lemieux i Huber, 1953.

ció d'urea] seria, doncs, un exemple indiscutible del fet que dues entitats totalment diferents poden contenir les mateixes proporcions dels mateixos elements i que només el tipus d'unió diferent provoca les dissimilituds en les propietats.<sup>65</sup>

Sembla clar, doncs, que Wöhler considerava els seus resultats com una demostració del que ara anomenem *isomeria constitucional*. Ara bé, al primer paràgraf de l'article traduït en aquesta obra, Wöhler només comenta que la formació d'urea a partir del cianat d'amoni és

[...] un fet curiós en aquest context, atès que representa un exemple de la producció artificial d'una substància orgànica, més precisament d'origen animal, a partir de substàncies inorgàniques.

I al paràgraf final de l'article trobem les paraules següents:

M'abstinc de totes les consideracions que es presenten de manera tan natural com a conseqüència d'aquest fet, especialment en relació amb les proporcions de la composició de les substàncies orgàniques, quant a la mateixa composició elemental i quantitativa en compostos de propietats molt diferents [...].<sup>66</sup>

A la dècada de 1820, Wöhler, que estava interessat també en l'estudi de les sals de l'àcid ciànic i, en concret, del cianat de plata,<sup>67</sup> va realitzar l'anàlisi elemental del producte i va concloure que correspo-

---

65. Vegeu la nota 15 d'aquesta segona part.

66. Aquestes frases es troben al primer paràgraf i a l'últim de l'article traduït en aquesta obra (Wöhler, 1828a, p. 253 i p. 256, respectivament). Per a l'original vegeu les pàgines 32 i 35 d'aquest volum, i per a la traducció, les pàgines 26 i 29.

67. Wöhler, 1824b.

nia a la sal de plata d'un àcid desconegut en aquells moments (àcid cianic). D'altra banda, Liebig havia mostrat sempre interès en les sals de l'àcid fulmínic,<sup>68</sup> entre elles la de plata.<sup>69</sup> El seu primer treball de recerca rellevant en aquest camp va consistir a determinar la composició elemental del fulminat de plata, que va dur a terme als laboratoris de Joseph-Louis Gay-Lussac, a París.<sup>70</sup> Liebig i Wöhler varen trobar que la composició elemental de les dues sals de plata era la mateixa.

La conclusió que es va extreure en aquell moment d'aquests resultats és que una de les dues anàlisis quantitatives era incorrecta i que un dels dos químics involucrats devia ser un químic analític mediocre! El caràcter més agressiu de Liebig el va impulsar a acusar ràpidament Wöhler d'haver generat resultats erronis. En aquest context, Wöhler va proporcionar una mostra de la seva sal de plata a Liebig, per tal que verificués els resultats de les seves anàlisis quantitatives i, tal com no podia ser d'altra manera, va corroborar que els resultats de Wöhler eren correctes. En aquest punt de la discussió, Liebig va admetre obertament que ell havia comès un error en acusar Wöhler d'haver publicat resultats erronis. Curiosament, i en contra del que hom podria pensar —per la naturalesa humana—, aquesta discussió no va allunyar Wöhler i Liebig, sinó que va ser el punt inicial d'una amistat i una col·laboració científica entre ambdós al llarg de tota la seva vida.

Els fets contradictoris observats per Liebig i Wöhler varen crear un dilema a la comunitat científica: dues substàncies amb la mateixa composició tenien moltes propietats diferents.<sup>71</sup> Una de les més im-

---

68. Kurzer, 2000.

69. De fet, Liebig va tenir un accident en la seva joventut en preparar el fulminat de plata a conseqüència d'una explosió d'aquest compost.

70. Liebig, 1823 i 1826; Liebig i Gay-Lussac, 1824.

71. Esteban, 2008.

portants era que, mentre que el fulminat de plata era explosiu, el cianat d'aquest metall era estable. En aquell temps aquest era un fet de difícil explicació, perquè s'assumia que les propietats d'una substància estaven relacionades amb la seva composició, d'acord amb la llei de les proporcions definides de Gay-Lussac.

Berzelius (mestre de Wöhler) va ser qui va posar una mica de llum a aquesta controvèrsia en establir el 1831-1832 el concepte de *isòmer*. Un any abans, el mateix Berzelius havia encunyat dos termes (*homosintètics* i *isomèrics*) per definir els compostos diferents que estaven formats per les mateixes parts. Finalment, va optar per la darrera denominació i va definir com a isòmers els compostos que tenien la mateixa composició (relació relativa i absoluta d'àtoms constituents), però que diferien en les propietats.<sup>72</sup> Aquest era el cas entre el fulminat i el cianat de plata (figura 7). Uns quants anys més tard (1841), Berzelius va proposar el terme *al·lòtrop* per a les diferents varietats d'un element (per exemple, grafit o diamant per al carboni) i *polimorf* per als compostos que presentaven més d'una forma cristal·lina. L'aspecte central d'aquests termes era justificar per què materials aparentment idèntics no ho eren.

Berzelius va intentar explicar el fenomen de la isomeria proposant que els àtoms dintre d'una molècula es podien unir de diferents formes. En aquells moments el concepte *massa molecular* era encara difús, però el concepte *isomeria* va anar adquirint de manera gradual el sentit que té avui en dia.

La primera explicació de la *isomeria* implica diferències en la connectivitat atòmica (com és el cas que ens ocupa del fulminat i del cianat de plata) (figura 7). L'acceptació de l'existència d'isòmers va

---

72. Berzelius, 1830 i 1832.



FIGURA 7. Estructures de dues sals de plata isomèriques. Elaboració pròpia.

portar a l'important concepte *constitució de les molècules*, com una de les causes cabdals que originen les propietats dels compostos.

En passar el temps, es va veure que el concepte *isomeria* anava més enllà i que, fins i tot, hi havia compostos amb la mateixa connectivitat atòmica que presentaven propietats químiques diferents. Aquest fet es va haver d'explicar des del punt de vista de la disposició relativa dels àtoms entre si a l'espai. Això va conduir al concepte *forma permanent* o *configuració*, que explicava les diferències en algunes molècules —per exemple, les dues formes de les sals de l'àcid tartàric que van ser descobertes per Louis Pasteur l'any 1848—, i al concepte *forma temporal* o *conformació* de les molècules, que explicava, també, diferències en les seves propietats.

Per concloure, cal dir que va ser necessari el talent reunificador de Berzelius per a donar una explicació satisfactòria als resultats, aparentment contradictoris, de Wöhler i Liebig, que certament varen ser clau per a crear la idea de la isomeria.

#### 4.2.2. Grups funcionals

Un dels resultats més significatius de la col·laboració científica entre Liebig i Wöhler va ser el descobriment d'una sèrie d'agrupacions d'àtoms als compostos orgànics que retenien la seva identitat, fins i tot quan aquests compostos eren transformats en altres derivats.

L'objectiu original era reforçar la teoria del dualisme de Berzelius amb casos propis de la química orgànica, considerant els radicals orgànics com a equivalents dels àtoms inorgànics. Aviat es van adonar que aquesta simplicitat no era possible amb els radicals orgànics i que la teoria del dualisme de Berzelius no podria ser aplicada a la química orgànica. A la llarga, aquests estudis varen posar les primeres bases en el camí del desenvolupament de la química orgànica estructural.

Els primers estudis de Liebig i Wöhler en aquest camp varen ser sobre l'oli d'ametlles amargants, conegut actualment com a benzaldehid. A Alemanya, el benzaldehid no estava disponible en aquells temps. Per aquesta raó, Liebig i Wöhler es van interessar en el tema i es proposaren estudiar com extreure del segó de l'ametlla amargant els diferents productes orgànics. Aquests autors van reproduir i optimitzar els resultats d'altri per extreure els diferents compostos orgànics.<sup>73</sup> L'extracció etanòlica en calent del segó d'ametlla amargant era altament eficient i conduïa a la precipitació d'un sòlid que identificaren com a amigdalina (figura 8).<sup>74</sup> A part d'optimitzar el rendiment d'extracció d'aquest compost (que va ser el més gran fins aleshores), varen determinar-ne la fórmula empírica i varen demostrar que encaixava amb l'esperada. A més, Liebig i Wöhler varen hidrolitzar l'amigdalina a 20-40 °C en presència d'emulsina (un enzim que ells mateixos havien obtingut) i identificaren el cianur d'hidrogen aquós, el benzaldehid i el sucre com a subunitats moleculars de l'amigdalina.

---

73. Wöhler i Liebig, 1837.

74. L'amigdalina és un glucòsid present en el fruit de l'ametller i, en proporcions variables, en moltes llavors d'espècies de la família de les rosàcies. Estructuralment, consta d'un disacàrid, la gentobiosa (compost de dues unitats de D-glucosa), que està unit a una molècula de mandelonitril (figura 8).

També varen optimitzar el mètode per a obtenir benzaldehyd de l'amigdalina per tractament amb àcid sulfúric aquós i destil·lació. Curiosament, varen observar que en el decurs de la destil·lació es formaven altres subproductes, d'entre els quals cal destacar un residu sòlid blanc que quedava adherit a l'aparell de destil·lació, que fou identificat com a àcid benzoic.

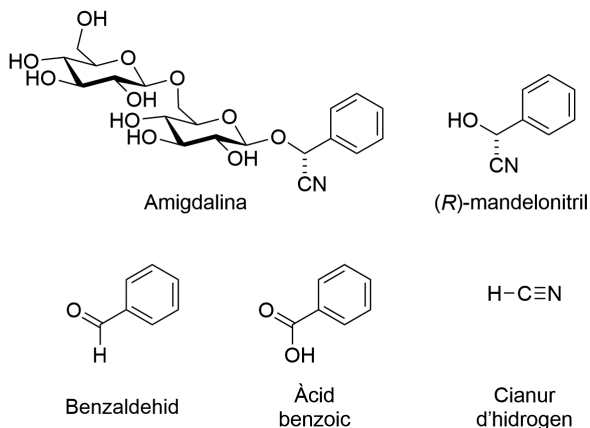


FIGURA 8. Estructura de l'amigdalina i de les seves subunitats moleculars. Elaboració pròpia.

Liebig i Wöhler aviat varen intuir que en el decurs de les reaccions orgàniques podia haver-hi un nucli central de la molècula que romania inalterat durant la transformació química. Així, varen fer experiments al laboratori per desenvolupar aquesta hipòtesi de treball a partir de la química del benzaldehyd com a producte de partida, per al qual havien desenvolupat un mètode d'obtenció eficient (vegeu l'apartat anterior). En la publicació corresponent, els autors comencen el treball fent una declaració de la hipòtesi de treball subjacent a l'estudi:

Si hom reïx a trobar un punt de llum en el fosc territori de la naturalesa orgànica, que a nosaltres ens sembli una de les entrades a través de les quals potser puguem arribar a veritables camins d'exploració d'aquesta àrea, aleshores hom sempre té motius per a desitjar-se sort, encara que hom sigui conscient que l'objecte que té davant seu és inabastable.<sup>75</sup>

Afegeixen, a més:

Per establir el punt de vista des del qual es va emprendre la nostra investigació, exposem d'entrada el comentari general que, com a resultat dels nostres experiments, hem arribat a la suposició que existeix una combinació [o grup d'àtoms] que roman sempre invariable en termes de la composició de tres elements [carboni, hidrogen i oxigen] en el seu comportament davant d'altres agents [o reactius]. Creiem que podem considerar aquesta combinació [o grup d'àtoms] no només com el radical de l'àcid benzoïc, sinó potser també com el component bàsic, potser mínimament canviant, en una gran quantitat de compostos similars.<sup>76</sup>

Per comparació entre les fórmules moleculars del benzaldehid i de l'àcid benzoïc (que Liebig i Wöhler havien obtingut a partir del ben-

---

75. El text en alemany és el següent: «Wenn es gelingt, in dem dunklen Gebiete der organischen Natur auf einem lichten Punkt zu treffen, der uns wie einer der Eingänge erscheint, durch die wir vielleicht auf die wahren Wege zur Erforschung dieses Gebietes gelangen können, so hat man immer Ursache sich Glück zu wünschen, selbst wenn man sich der Unerschöpftheit des vorgeetzten Gegenstandes bewusst ist» (Wöhler i Liebig, 1832, p. 249).

76. El text en alemany és el següent: «Zur Feststellung des Standpunktes, von dem aus unsere Untersuchung angestellt wurde, schicken wir die allgemeine Bemerkung voraus, dass wir zufolge unserer Versuche zu der Annahme gelangt sind, dass es eine, in ihrem Verhalten gegen andere Agentien sich stets gleichbleibende, aus drei Elementen zusammengesetzte Verbindung gibt, welche wir nicht allein als das Radical der Benzoësäure, sondern zugleich als den, vielleicht am wenigsten wechselnden Grundstoff einer Menge ähnlicher Verbindungen betrachten zu können glauben» (Wöhler i Liebig, 1832, p. 251).



zaldehid), aquests autors van establir que el radical benzoïl<sup>77</sup> estava constituït per carboni, hidrogen i oxigen en les proporcions  $C_{14}H_{10}O_2$ . Conseqüentment, el nou nom que varen donar al *benzaldehyd* (que ells anomenaven «oli d'ametlles amargants») va ser *benzoïl-hidrogen* i a l'àcid benzoïc, *benzoïl-àcid*.

Els autors escriuen:

Des d'aquest punt de vista, es veurà amb quina facilitat i coherència les relacions [químiques] restants, a les quals ens dirigim ara, es deixaran resumir i comprendre.<sup>78</sup>

En el seu article, Wöhler i Liebig varen presentar d'una manera clara per primera vegada la idea que un grup d'àtoms poden romandre intactes a través d'una sèrie de reaccions químiques i actuar com una unitat (un radical). Aquesta idea la van manllevar de la química inorgànica. Els autors, en aquest treball, varen preparar i caracteritzar l'alcohol benzílic, l'àcid benzoïc, el clorur de benzoïl, el bromur de benzoïl, el iodur de benzoïl, el sulfur de benzoïl, el cianur de benzoïl, la benzamida i el benzoat d'etil.<sup>79</sup>

---

77. Liebig i Wöhler varen crear el sufix *-il* (*yl*, en alemany; Wöhler i Liebig, 1832, p. 262), que encara avui s'emptra en nomenclatura orgànica. Liebig i Wöhler varen partir de la paraula grega *ύλη*, que primerament volia dir 'fusta', fins que amb Aristòtil el mot passà a significar 'matèria'. La transcripció de *ύλη* a les llengües europees va ser com a *hyle*, mentre que, com a prefix, en alemany *hyle* es va transcriure com a *hyl-* (en català, s'ha transcrit com a *hil-*); Liebig i Wöhler varen transcriure *hyle* com a *yl* per tal d'emprar-lo com a sufix. Curiosament, la lletra grega ípsilon (*υ*) sonava com una *ü* alemanya. Així, Liebig i Wöhler van voler que *Benzoyl* significués la 'matèria [del fragment] Benzo' o la 'matèria  $C_{14}H_{10}O_2$ '.

78. El text en alemany és el següent: «Man wird sehen, wie leicht und konsequent sich nach dieser Betrachtungsweise die übrigen Verhältnisse, zu denen wir nun übergehen, umfassen und übersehen lassen» (Wöhler i Liebig, 1832, p. 262).

79. Alcohol benzílic =  $C_6H_5CH_2OH$ ; àcid benzoïc =  $C_6H_5COOH$ ; clorur de benzoïl =  $C_6H_5COCl$ ; bromur de benzoïl =  $C_6H_5COBr$ ; iodur de benzoïl =  $C_6H_5COI$ ; sulfur de benzoïl =  $(C_6H_5CO)_2S$ ; cianur de benzoïl =  $C_6H_5COCN$ ; benzamida =  $C_6H_5CONH_2$ , i benzoat d'etil =  $C_6H_5COOCH_2CH_3$  (en negreta, s'indiquen els àtoms pertanyents al radical benzoïl).

És evident que aquesta teoria suposava una visió simplista de la reactivitat dels productes orgànics tal com la coneixem avui, però amb el seu desenvolupament es van facilitar els primers intents de racionalització de la reactivitat dins la química orgànica. La idea que els radicals en química orgànica podien ser considerats els equivalents dels àtoms en química inorgànica va portar, eventualment, al concepte de *valència*.

## 5. CONCLUSIONS

En aquest escrit s'ha intentat posar en context, des d'un punt de vista històric i de l'actualitat científica, l'article considerat el mite fundacional de la química orgànica, és a dir, la síntesi artificial de la urea que Wöhler va publicar l'any 1828 i al qual la comunitat científica generalment es refereix com una fita importantíssima. En particular, s'ha intentat destriar d'una manera objectiva els afegits i les ornamentacions (que la comunitat científica hi ha anat afegint inevitablement amb el pas del temps) de la versió canònica dels fets i de les troballes científiques.

El primer punt important a destacar és que la publicació del treball de la síntesi artificial de la urea no va suposar l'aniquilació immediata de la teoria del vitalisme, tot i que constituí una forta prova experimental en contra. La teoria vitalista (pel que fa a l'origen dels compostos orgànics) va anar perdent pes de manera gradual fins que va arribar a desaparèixer en els anys posteriors al 1828, certament influenciada per la troballa de Wöhler, però també pel desenvolupament amb mètodes científics de noves hipòtesis en el marc de la química orgànica, que difícilment podien encabir cap mena de força vital.

El segon punt que cal destacar és que hi havia resultats anteriors a la publicació del treball icònic de Wöhler l'any 1828, fins i tot del mateix Wöhler, que indicaven que la síntesi de productes actualment considerats com a orgànics a partir de compostos inorgànics s'havia assolit. Sigui perquè la comunitat científica no va considerar amb prou detall aquests resultats, sigui perquè Wöhler va voler donar el protagonisme a la urea i no a altres productes, sigui perquè la diferenciació entre compostos orgànics i inorgànics no era tan clara en aquells temps com ho és avui en dia, el fet és que la síntesi artificial de la urea es va emportar el mèrit històric.

El tercer punt que s'ha de destacar és que la descripció de la síntesi artificial de la urea de Wöhler (juntament amb els treballs en col·laboració amb Liebig) va ajudar a eliminar la barrera, fins llavors existent, entre compostos orgànics i inorgànics. Aviat es va comprendre que els compostos orgànics i inorgànics obeïen a les mateixes lleis. Sense cap mena de dubte, això va suposar una unificació de la química. La síntesi de la urea de Wöhler (complementada per treballs posteriors, començant per la síntesi racional de l'àcid acètic per Kolbe el 1845) va elevar la química orgànica a la categoria de ciència, a més de suposar l'inici d'un enfocament científic en l'explicació del fenomen de la vida.

És interessant, també, destacar la validesa actual de moltes de les conclusions extretes per Wöhler (i d'altres conjuntament amb Liebig) amb un mètode científic molt robust i amb tècniques de caracterització certament primitives, però molt sòlides i fiables, sobre substàncies la connectivitat atòmica o la fórmula molecular exacta de les quals ni Wöhler ni Liebig no coneixien.

Es podria concloure aquesta obra afirmant amb rotunditat, i sense exagerar, que els resultats de Wöhler —alguns d'ells conjuntament

amb Liebig— en les àrees dins la química orgànica que s'han anat esmentant (per exemple: la síntesi orgànica, la reactivitat química, la isomeria, la química orgànica estructural, etc.) varen contribuir a fer la química orgànica més clara i a fer-la sortir «del bosc tropical, una immensa bardissa, sense sortida al final», on Wöhler deia que es trobava a començaments del segle XIX.<sup>80</sup>

---

80. Wallach, ed., 1966, p. 603-605. En l'alemany original: «ein Urwald der Tropenländer [...], ein ungeheures Dickicht, ohne Ausgang, am Ende».

## REFERÈNCIES

- BERZELIUS, J. J. (1827). *Lehrbuch der Chemie*. Vol. 3. Dresden: Arnoldischen Buchhandlung, p. 136-139.
- (1830). «Über die Zusammensetzung der Weinsäure und Traubensäure (John's Säure aus den Vogesen), über das Atomengewicht des Bleioxyds, Nebst allgemeinen Bemerkungen über Solche Körper, die gleiche Zusammensetzung, aber ungleiche Eigenschaften besitzen». *Annalen der Physik*, 95 (7), p. 305-335.
- (1831). «Brev till Agardh». A: *Jac. Berzelius Brevväxling*. Estocolm: H. G. Söderbaum. I-VI (1912-1932), IV (1922), p. 71.
- (1832). *Jahres-bericht über die Fortschritte der Physischen Wissenschaften*. Aus dem Schwedischen von Friedrich Wöhler übersetzt. Tübingen: Henrich Laupp, p. 44-48.
- (1837). *Lehrbuch der Chemie*. 3a ed. Dresden; Leipzig: Arnoldischen Buchhandlung.

- BERZELIUS, J. J. (1847). *Lehrbuch der Chemie*. 5a ed. Vol. 4. Dresden; Leipzig: Arnoldischen Buchhandlung, p. 5-6.
- BROOKE, J. H. (1968). «Wöhler's urea, and its vital force? - A verdict from the chemists». *Ambix*, 15 (2), p. 84-114.
- CROSLAND, M. (1973). «Lavoisier's theory of acidity». *Isis*, 64 (3), p. 306-325.
- DAVIDSON, D.; EPSTEIN, E. (1936). «The murexide question». *The Journal of Organic Chemistry*, 1 (3), p. 305-314.
- DESAIX MUNN, O. (ed.) (1882). «Friedrich Wöhler». *Scientific American Supplement*, XIV (362) (9 desembre), p. 5767-5768.
- DUMAS, J. B. (1830). «Sur la composition de l'urée». *Annales de Chimie et de Physique*, 44, p. 273-308.
- ESTEBAN, S. (2008). «Liebig-Wöhler controversy and the concept of isomerism». *Journal of Chemical Education*, 85 (9), p. 1201-1203.
- GATES, M.; TSCHUDI, G. (1950). «The synthesis of racemic  $\beta$ - $\Delta^6$ -dihydrodesoxycodeine methyl ether». *Journal of the American Chemical Society*, 72 (10), p. 4839-4840.
- (1952). «The synthesis of morphine». *Journal of the American Chemical Society*, 74 (4), p. 1109-1110.
- (1956). «The synthesis of morphine». *Journal of the American Chemical Society*, 78 (7), p. 1380-1393.
- GERHARDT, C. (1842). «Untersuchungen über die chemische Classification der organischen Substanzen. Theoretischer Theil». *Journal für Praktische Chemie*, 27 (1), p. 439-464.
- GMELIN, L. (1825). «Über einige merkwürdige, bei der Darstellung des Kaliums nach der Brunner'schen Methode, erhaltene Substanzen». *Annalen der Physik*, 80 (5), p. 31-62.
- HINDLE, M. (1990). «Vital matters: Mary Shelley's Frankenstein and

- Romantic science». *Critical Survey*, 2 (1), p. 29-35. També disponible en línia a: <<http://www.jstor.org/stable/41555493>> [Consulta: maig 2022].
- HOLMGREN, A. V.; WENNER, W. (1952). «Alloxan monohydrate». *Organic Synthesis*, 32, p. 6-7.
- IRVINE, J. C.; ROSE, R. E. (1906). «LXXXV.- The constitution of salicin. Synthesis of pentamethyl salicin». *Journal of the Chemical Society: Transactions*, 89, p. 814-822.
- JØRGENSEN, B. S. (1965). «More on Berzelius and the vital force». *Journal of Chemical Education*, 42 (7), p. 394-396.
- KINNE-SAFRAN, E.; KINNE, R. K. H. (1999). «Vitalism and synthesis of urea: From Friedrich Wöhler to Hans A. Krebs». *American Journal of Nephrology*, 19, p. 290-294.
- KLUYVER, A. J.; HOF, T.; BOEZAART, A. G. (1939). «On the pigment of *Pseudomonas beijerinckii*, Hof». *Enzymologia*, 7, p. 257-272.
- KOLBE, H. (1845). «Beiträge zur Kenntnis der gepaarten Verbindungen». *Annalen der Chemie und Pharmacie*, 54 (2), p. 145-188.
- (1854). *Ausführliches Lehrbuch der organischen Chemie*. Vol. 1. Braunschweig: Vieweg, p. 3-4.
- KUNZ, A. (1926). «Studies on salicin. I. Exceptional rotations of the halogeno-tetra-acetyl derivatives of salicin. A new synthesis of salicin». *Journal of the American Chemical Society*, 48 (1), p. 262-268.
- KURZER, F. (2000). «Fulminic acid in the history of organic chemistry». *Journal of Chemical Education*, 77 (7), p. 851-857.
- LASSAIGNE, L. (1821). «Nouvelles recherches sur la composition les eaux de l'allantoïde et de l'arnios de la vache». *Annales de Chimie et de Physique*, 17, p. 295-305.
- LEICESTER, H. M.; KLINKSTEIN, H. S. (ed.). (1952). *A source book in*

- chemistry: 1400-1900. Cambridge, MA: Harvard University Press, p. 309-312.
- LEMIEUX, R. U.; HUBER, G. (1953). «A chemical synthesis of sucrose». *Journal of the American Chemical Society*, 75 (16), p. 4118.
- LIEBIG, J. (1823). «Sur l'argent et le mercure fulminans». *Annales de Chimie et de Physique*, 24, p. 294-318.
- (1826). «Sur quelques cyanates». *Annales de Chimie et de Physique*, 33, p. 207-214.
- (1838). «On the products of the decomposition of uric acid». *Report of the Seventh Meeting of the British Association for the Advancement of Science: Notices and Abstracts of Communications tot the British Association for the Advancement of Science, at the Liverpool Meeting, September 1837*, 6, p. 38-41.
- (1878). *Chemische Briefe von Justus von Liebig: Neuer unveränderter Abdruck der Ausgabe letzter Hand*. 6a ed. Leipzig; Heidelberg: C. F. Winter'sche Verlagshandlung, p. 14-15.
- LIEBIG, J.; GAY-LUSSAC, J. L. (1824). «Analyse du fulminate d'argent». *Annales de Chimie et de Physique*, 25, p. 285-311.
- LIEBIG, J.; WÖHLER, F. (1830). «Untersuchungen über die Cyansäure». *Annalen der Physik*, 96 (11), p. 369-400.
- (1837). «Über die Natur der Harnsäure». *Annalen der Physik*, 117 (8), p. 561-569.
- LIPMAN, T. O. (1964). «Wöhler's preparation of urea and the fate of vitalism». *Journal of Chemical Education*, 41 (8), p. 452-458.
- MOUBASHER, R.; OTHMAN, A. M. (1950). «Reactions of alloxan and alloxantine. Structure of alloxantine and hydrindantine». *Journal of the American Chemical Society*, 72 (6), p. 2667-2669.
- NIGHTINGALE, D. (1943). «Alloxantin dihydrate». *Organic Synthesis*, 23 (6-7), p. 6-8.



- POPPINGER, D.; RADOM, L.; POPLE, J. A. (1977). «A theoretical study of the CHNO isomers». *Journal of the American Chemical Society*, 99 (24), p. 7806-7816.
- PROUT, W. (1817). «Observations on the nature of some of the proximate principles of the urine; with a few remarks upon the means of preventing those diseases connected with a morbid state of that fluid». *Medico-Chirurgical Transactions*, VIII (1), p. 526-549.
- (1818a). «Further observations on the proximate principles of the urine». *Medico-Chirurgical Transactions*, IX (2), p. 472-484.
- (1818b). «Observations on the nature of some of the proximate principles of the urine; with a few remarks upon the means of preventing those diseases, connected with a morbid state of that fluid». *Annals of Philosophy*, 11 (VIII), p. 352-356. [Resum de Prout, 1817]
- RAMBERG, P. J. (2000). «The death of vitalism and the birth of organic chemistry: Wöhler's urea synthesis and the disciplinary identity of organic chemistry». *Ambix*, 47 (3), p. 170-195.
- ROCKE, A. J. (2024). «Hermann Kolbe: German Chemist» [en línia]. *Britannica*. <<https://www.britannica.com/biography/Hermann-Kolbe>> [Consulta: maig 2024].
- SHORTER, J. (1978). «The conversion of ammonium cyanate into urea—a saga in reaction mechanism». *Chemical Society Reviews*, 7 (1), p. 1-14.
- SÖDERBÄCK, E. (1957). «Studien über Metallcyanate». *Acta Chemica Scandinavica*, 11, p. 1622-1634.
- TSIPIS, C. A.; KARIPIDIS, P. A. (2003). «Mechanism of a chemical classic: Quantum chemical investigation of the autocatalyzed reaction of the serendipitous Wöhler synthesis of urea». *Journal of the American Chemical Society*, 125 (8), p. 2307-2318.

- TURNER, E. (1831). *Elements of chemistry*. 3a ed. Londres: Taylor and Walton. (Booksellers and Publishers to the University of London), p. 801.
- WALKER, J.; KAY, S. A. (1897). «Velocity of urea formation in aqueous alcohol». *Journal of the Chemical Society, Transactions*, 71, p. 489-508.
- WALLACH, O. (ed.) (1966). *Briefwechsel zwischen J. Berzelius und F. Wöhler, im Auftrage der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*. Wiesbaden: Dr. Martin Sändig oHG, p. 206-208, 603-605. [Nova impressió autoritzada de l'edició de 1901]
- WENTRUP, C. (2022). «Origins of organic chemistry and organic synthesis». *European Journal of Organic Chemistry*, 2022 (25), p. 1-12.
- WEST, R. (ed.) (1980). «History of the oxocarbons». A: *Oxocarbons*. Nova York: Academic Press, p. 1-14.
- WILLIAMS, D. L.; RONZIO, A. R. (1952). «Micro syntheses with tracer elements. VI. The synthesis of silver cyanate labeled with C<sup>14</sup> and urea labeled with C<sup>14</sup> and N<sup>15</sup>». *Journal of the American Chemical Society*, 74 (9), p. 2407.
- WÖHLER, F. (1824a). «Om några föreningar af Cyan». *Kongliga Svenska Vetenskaps Akademiens Handlingar*, p. 328-333.
- (1824b). «Analytische Versuche über die Cyansäure». *Annalen der Physik*, 77 (5), p. 117-124.
- (1825). «Über Cyan Verbindungen». *Annalen der Physik*, 79 (2), p. 177-182.
- (1828a). «Über künstliche Bildung des Harnstoffs». *Annalen der Physik und Chemie*, 12 (2), p. 253-256. [*Annalen der Physik*, 88 (2), p. 253-256]
- (1828b). «Sur la formation artificielle de l'urée». *Annales de Chimie et de Physique*, 37, p. 330-334.

- WÖHLER, F. (1828c). «On the artificial production of urea». *Quarterly Journal of Science*, 25, p. 491-492.
- (1829). «Über die Zersetzung des Harnstoffs und der Harnsäure durch Höhere Temperatur». *Annalen der Physik*, 91 (4), p. 619-630.
- WÖHLER, F.; LIEBIG, J. (1832). «Untersuchungen über das Radikal der Benzoesäure». *Annalen der Pharmacie*, 3 (3), p. 249-282.
- (1837). «Über die Bildung des Bittermandelöls». *Annalen der Pharmacie*, 22 (1), p. 1-24.
- (1838). «Untersuchungen über die Natur der Harnsäure». *Annalen der Pharmacie*, 26 (3), p. 241-336.
- YAMADA, K.; MIZUNO, N.; HIRATA, Y. (1958). «Structure of croconic acid». *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 31 (5), p. 543-549.



## Clàssics de la Química

### Títols publicats

- 1 Gilbert N. LEWIS, *L'àtom i la molècula* (2004)
- 2 Dmitri Ivànovitx MENDELÉIEV, *La relació entre les propietats dels elements i llur pes atòmic* (2005)
- 3 Jacobus Henricus van 't HOFF i Joseph Achille LE BEL, *Els àtoms en l'espai* (2007)
- 4 Dmitri Ivànovitx MENDELÉIEV, *La regularitat periòdica dels elements químics* (2008)
- 5 Edward FRANKLAND, *Sobre una nova sèrie de compostos orgànics que contenen metalls* (2010)
- 6 Amedeo AVOGADRO, *Assaig sobre una manera de determinar les masses relatives de les molècules elementals dels cossos, així com de les proporcions amb què entren en aquests compostos* (2012)
- 7 Enric MOLES, *Determinació de pesos moleculars de gasos pel mètode de les densitats límit* (2013)
- 8 Michael FARADAY, *Sobre la descomposició electroquímica* (2014)
- 9 Stanislao CANNIZZARO, *Compendi d'un curs de filosofia química* (2019)
- 10 Elias James COREY, *Síntesi orgànica de molècules complexes* (2021)
- 11 Étienne-François GEOFFROY, *Els orígens de l'afinitat química* (2022)
- 12 Friedrich WÖHLER, *Sobre la formació artificial de la urea* (2024)





Friedrich Wöhler, tot i que es va doctorar en medicina l'any 1823 a la Universitat de Heidelberg, va ser un químic vocacional. La seva formació com a químic va culminar amb l'estada de dos anys a Estocolm, on va treballar amb Jöns Jakob Berzelius en l'àmbit de la mineralogia. Wöhler va exercir de professor de química i mineralogia a Berlín, on feia recerca en el camp de la síntesi inorgànica i en aquesta època, de manera inesperada, va sintetitzar la urea quan es proposava obtenir el cianat d'amoni (1828). Aquesta experimentació va esdevenir el *mite fundacional* de la química orgànica, el qual unificava el territori dels compostos inorgànics i el dels orgànics, i, per tant, eliminava la necessitat de concurrència de l'acció d'una força vital per a obtenir al laboratori compostos d'origen vegetal o animal. Més tard, va ocupar una plaça de professor a l'Institut de Tecnologia de Kassel i a la Universitat de Göttingen. Wöhler va mantenir sempre una interessant i fluida correspondència amb Berzelius sobre la descoberta i la identificació de la urea. També d'aquesta època és l'inici de l'amistat i col·laboració entre Wöhler i Justus von Liebig, de la qual deriven fites importants en el desenvolupament de la química orgànica, tant des del punt de vista experimental d'aïllament de nous productes naturals, com de l'estudi de la seva reactivitat química i de la identificació dels grups funcionals. Durant el període a Göttingen, Wöhler va sintetitzar, també, molts compostos inorgànics i va contribuir a aplicacions de la química analítica, tant en mostres minerals com en biològiques. Wöhler va ser un químic i investigador excel·lent, experimentador nat, creador de coneixement, formador de nous científics que han transcendit fins als nostres dies, sempre obert a la comunicació i a la col·laboració amb la comunitat científica.