

Para além dos tubos de ensaio: reflexões sobre a construção da química ambiental no século XX

Helio Elael Bonini Viana

Universidade Federal de São Paulo - Unifesp,
Departamento de Química, Diadema, SP, Brasil

e-mail: hebviana@unifesp.br

With the advent of the chemical industry in the late 19th century, some chemicals that were once produced on a laboratory scale, began to be produced on a large scale to meet market demands. Despite this, some chemical compounds began to be identified in the natural environment throughout the second half of the 20th century. Following the identification came some confirmations of cases of contamination, which in turn were related to diseases and deaths. Among these cases, pesticide contamination - especially organochlorine-based insecticides (such as dichlorophenyltrichloroethane, DDT) and herbicides (such as orange agent that may contain dioxins) - and chemical species of mercury or lead. Faced with diverse environmental risks, chemistry, which had a large part of its theoretical framework built in controlled laboratory conditions, had to increase its interactions with environmental sciences to seek to understand the behavior of chemical species in natural systems with countless variables. From this transformation, it is possible to realize that chemistry is gradually building a dynamic view of nature to the detriment of a static and teleological view.

INTRODUÇÃO

Ao longo do século XX a Química passou por mudanças no tocante a sua percepção social, passando de uma ciência de vanguarda, voltada para o progresso da humanidade, a uma ciência dual, apresentando lados positivo e negativo [1, 2]. Para entender essa mudança de percepção devemos nos voltar para alguns acontecimentos importantes nos anos 1900.

Com o advento da indústria química no final do século XIX, algumas substâncias químicas que outrora eram produzidas em escala laboratorial, passaram a ser produzidas em larga escala para atender demandas de mercado. Foi assim, por exemplo, com o ácido acetilsalicílico e com a malva de Perkin [3]. As necessidades de um mercado consumidor em constante transformação também guiaram a produção de novas moléculas. De acordo com Schummer [4], a quantidade de novas substâncias químicas conhecidas passou de algumas dezenas no início do século XIX para cerca de 19 milhões ao término do século XX. Esse aumento exponencial deveu-se em grande parte às atividades de pesquisa. Por intermédio da análise de resumos dos artigos publicados entre os anos de 1979 e 2000, Schummer destaca que cerca de 70% das publicações abrangem a síntese ou a caracterização de novas substâncias químicas [5].

Diante desse cenário, o que aconteceria com tantas novas moléculas no meio ambiente? Essa pergunta só era considerada quando existiam riscos individuais ou locais constatados, ou seja, quando a periculosidade e/ou toxicidade de composto químico já havia sido observada em algum momento. Outros riscos (regionais e planetários) não eram cogitados já que existia uma concepção social hegemônica (até meados da segunda década do século XX) de os recursos naturais serem ilimitados e de que a Natureza, por si só, serviria como um grande sorvedouro para esses produtos lançados, sem as ideias de bioacumulação e persistência [6, 7].

Entretanto, a partir da segunda metade do século XX, alguns compostos químicos começaram a ser identificados no meio ambiente natural. Na sequência da identificação vieram algumas confirmações de casos de contaminações, os quais por sua vez foram relacionados a enfermidades e óbitos. Dentre esses casos pode-se citar a contaminação por agrotóxicos - com destaque para os inseticidas à base de organoclorados (tais como o diclorodifeniltricloroetano - o DDT) e herbicidas (como o agente laranja que pode conter dioxinas) - e espécies químicas de mercúrio ou chumbo.

Além dos riscos associados à contaminação ambiental em locais/regiões, o lançamento de compostos químicos desencadeou interferências em reações químicas que ocorriam em condições específicas. Por exemplo, o lançamento de clorofluorocarbonos na troposfera, inócuos em condições ambientes, se mostraram devastadores para o ozônio estratosférico. Todavia, essas questões ligadas ao meio ambiente não faziam parte das necessidades e desejos da sociedade no final do século XIX e começo do século XX, pois os recursos naturais eram ainda abundantes em países subdesenvolvidos e/ou que tinham uma condição de colônia. Em meio a esse cenário, as ciências, impulsionadas pelas descobertas e invenções da química, estavam concentradas nas benesses que poderiam ser trazidas pelo que se apresentava como um iminente grande progresso da humanidade [8].

QUÍMICA E PROGRESSO

Ao longo do século XIX, a doutrina filosófica positivista, proposta inicialmente por Auguste Comte, conquistou seguidores entre diversos setores da sociedade. Em linhas gerais, o positivismo destaca a ideia de que a Ciência seria um produto da criação humana capaz de propiciar o desenvolvimento e a melhoria da qualidade de vida. Para que esse progresso seja auferido a Ciência deveria necessariamente seguir um método baseado na experimentação e sistematização dos resultados obtidos, ao passo que o cientista deveria zelar e balizar-se pela neutralidade de suas interpretações [9].

É nesse contexto que a Química desponta como ciência e área do conhecimento, transpassando a escala laboratorial para produção de diferentes compostos em larga escala [9–11]. Devido ao potencial de aplicação, a ciência Química passou a ser considerada como uma forte aliada para o progresso da humanidade.

Nesse íterim, durante o final do século XIX e a primeira metade do século XX, alguns livros de divulgação científica lançados enalteciam a importância da Química para o desenvolvimento. Por exemplo, o livro “Man in the Chemical World: The Service of Chemical Industry” destaca em diferentes momentos as benesses do conhecimento químico para a humanidade. Novas moléculas passaram a ser devolvidas visando atender necessidades latentes de um mercado consumidor em expansão [12].

Buscando resolver o problema da detonação da gasolina no início da década de 1920, Thomas Midgley Jr.

Tabela 1. Toxicidade de substâncias químicas empregadas na indústria de refrigeradores (concentrações expressas em porcentagens em volume no ar).

Gás	Porcentagem do gás em volume de ar		
	Provoca a morte de animais em um intervalo de tempo	Oferece risco à vida no intervalo de 30 a 60 min	Concentração máxima em que não oferece risco à vida por horas
Amônia	0,5 a 1,0	0,25 a 0,45	0,01
Cloreto de metila	15 a 30	2 a 4	0,05 a 0,1
Dióxido de carbono	30	6 a 8	2 a 3
Diclorofluorometano	Não alcançável	80	40

Fonte: MIDGLEY, 1930, p. 542 (adaptado) [15].

(1889 - 1944) e seus colaboradores constataram, após a realização de testes com inúmeras substâncias químicas¹, a eficiência do tetraetilchumbo como antidetonante, atenuando a combustão irregular nos pinos dos motores da época (esse fato era chamado costumeiramente de “batida de pino”). A preferência pelo tetraetilchumbo em detrimento de outros antidetonantes pode ser visualizada em gráficos elaborados pelo próprio Midgley para ilustrar o poder antidetonante de compostos orgânicos com diferentes heteroátomos - elementos químicos pertencentes aos grupos 14, 16 e 17 da tabela periódica - comparativamente à anilina, conforme ilustrado na página 244 do artigo “From the Periodic Table to Production Industrial (1937)” [13]. Apesar de sabidamente tóxico em condições de laboratório ou industriais, a periculosidade ambiental desses compostos era desconhecida; para Midgley os compostos de chumbo se diluiriam no ambiente².

Já no final da década de 1920, Midgley e outros colaboradores trabalharam na pesquisa e produção de um fluido refrigerante atóxico, não inflamável e que tivesse as propriedades físico-químicas - destaque para a estabilidade, não corrosividade e pressão de vapor - condizentes com uso pretendido. Após diversos ensaios, comparando as propriedades do metano com haletos de alquila, verificaram que os clorofluorocarbonos (CFCs), com destaque para o diclorofluorometano (CF_2Cl_2) e o triclorofluorometano (CFCl_3),

atendiam às exigências requeridas - conforme ilustrado na Tabela 1 [14].

Além dos CFCs, outro composto químico que merece destaque aqui, dada a grande repercussão de seu uso no século XX, são o DDT e os policloreto de bifenil (PCBs). Sintetizado no final do século XIX, o DDT teve seu potencial inseticida descoberto somente em 1939 por Paul H. Müller quando investigava substâncias químicas de baixo custo e que apresentavam toxicidade “seletiva” para insetos. Dessa forma, o DDT foi empregado durante a Segunda Guerra Mundial para reduzir a população dos mosquitos *Anopheles* e artrópodes causadores da malária e do tifo, respectivamente. Com o fim da guerra, apesar de alguns questionamentos da opinião pública, fato que também ocorreu com o tetraetilchumbo, foi disponibilizado para a venda pública nos EUA e logo na sequência em outros países [15]. Como consequência dessa venda em larga escala, o DDT acabou se espalhando pelo Sistema Terrestre.

Os PCBs foram sintetizados na mesma época que o DDT e nos anos seguintes tiveram suas propriedades (estabilidade térmica, baixa inflamabilidade e comportamento dielétrico) verificadas. Sua produção comercial teve início há cerca de duas décadas (1920) antes do DDT para atender a demanda por um fluido elétrico eficiente para ser empregado em capacitores e transformadores. Muito embora sua toxicidade já fosse conhecida desde o final do século XIX, sua bioacumulação só foi confirmada em 1966 pelo químico sueco Soren Jensen. Anos depois, a presença desses compostos foi quantificada no sangue e nos tecidos gordurosos de animais que habitam o Ártico [16]. Desse modo, o DDT e os PCBs contribuíram com o que Henselling (1992) chamou de envenenamento do planeta [17].

¹ O número de substância que foram testadas por Midgley não é consensual: há relatos que variam de 144 até surpreendentes 33.000 substâncias.

² Na época, alguns profissionais ligados à saúde pública dos EUA e pesquisadores da área - dentre os quais destacou-se William Mansfield Clark alertaram para os riscos da liberação de chumbo no ambiente.

O ENVENENAMENTO DO PLANETA

A partir da década de 1950, com o advento de equipamentos de análise instrumental - inicialmente polarímetros, técnicas de infravermelho, espectrofotômetros, espectrômetros (incluindo a ressonância magnética nuclear - RMN) e cromatógrafos - inúmeros compostos químicos começaram a ser identificados e quantificados no Sistema Terrestre [18]. Nesse ínterim, as suspeitas de Rachel Carson, autora do best seller “Primavera Silenciosa” (1962) [19], alertando sobre a contaminação ambiental causada pelo uso indiscriminado de pesticidas, enfatizando a questão do uso incontrolado do DDT, se mostraram reais: técnicas cromatográficas com detectores específicos, seguidas de outras técnicas, permitiram a identificação desses poluentes. Por intermédio da cromatografia com detecção por captura eletrônica, PCBs também puderam ser mensurados no meio ambiente [20]. Com isso, a concepção secular da Natureza como sendo um sorvedouro infinito de rejeitos, a qual permeia todo período anterior e posterior à Revolução Industrial, passa a ser questionada.

Episódios como o incidente da Baía de Minamata no Japão (1952) e os problemas causados pelo emprego do agente laranja na Guerra do Vietnã (1955-1975) puderam assim ser compreendidos à luz da determinação de espécies químicas no meio ambiente. No caso de Minamata, a poluição da baía ocorreu em razão do lançamento de um subproduto da produção de acetaldéido a partir do acetileno - com o sulfato mercúrico como catalisador - o metilmercúrio. Os efluentes industriais contendo metilmercúrio foram despejados por cerca de 30 anos (1932 - 1968) na referida baía nipônica sem tratamento apropriado, gerando, como consequência, inúmeras patologias e óbitos em uma sociedade acostumada com o consumo de seres marinhos - isso se perdurou até a recuperação do ecossistema local em 1987 [21].

O agente laranja consiste de uma mistura cujos componentes ativos são o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) e o ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T) - este último contendo resíduos da 2,3,7,8 - tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD)³. Seu emprego, cujo potencial herbicida já era bem conhecido, visou à redução

da densidade das florestas na Indochina, favorecendo assim o ataque das tropas ianques. A despeito do resultado dessa guerra não ter sido o esperado pelos americanos e seus aliados, os danos ambientais e as sequelas causadas pelas dioxinas afligem a população local até hoje [22].

Casos como os citados, ocorreram de maneira difusa em praticamente todo o planeta. Por exemplo, a contaminação por metilmercúrio se tornou comum em muitos países em desenvolvimento em razão do uso do mercúrio metálico por garimpeiros na extração mineral do ouro. Foi através dessa prática que tribos indígenas isoladas, como a dos yanomamis, grupo indígena que habita terras entre a fronteira do Brasil com a Venezuela, acabaram contaminadas [21].

Todavia, os casos de poluição não se limitaram a eventos locais/regionais, alguns deles tiveram repercussão internacional. No início da década de 1970 Lovelock identificou a presença de CFCs na atmosfera [23]; anos mais tarde Rowland e Molina (1974) sugeriram que os CFCs poderiam estar ascendendo à estratosfera, sofrendo clivagem pelas radiações UV e gerando radicais cloro capazes de atacar as moléculas de ozônio - presentes em concentrações elevadas nessas altitudes [24]. A hipótese de Rowland e Molina foi comprovada por imagens de satélite produzidas por técnicas espectrométricas [25], as quais mostravam um buraco na camada de ozônio na região da Antártida, com uma tendência de aumento⁴. Essas imagens tiveram grande repercussão na mídia da época, configurando o que Dotto (1978) denominou anos antes de “Guerra do Ozônio” (1978) - disputa ideológica entre os defensores e os contrários ao uso dos CFCs [26].

Desse modo, as percepções de risco ambiental que outrora estavam associadas às dimensões local e regional passou também a apresentar uma dimensão global - o que caracterizaria segundo Beck uma “Sociedade de Risco Global”, a qual poderia colocar em risco a sobrevivência da humanidade [27]. Diante de fortes pressões sociais, os cientistas tiveram que se posicionar acerca de possíveis tragédias ambientais. Nesse contexto, a ciência química teve que se reorganizar para construir hipóteses ou teorias capazes de explicar fenômenos que não ocorriam nas condições controladas de um laboratório. Surge assim a química ambiental.

³ O TCDD é uma dioxina classificada como um carcinógeno humano pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA); sua natureza lipossolúvel facilita sua retenção em seres vivos, possibilitando seu acúmulo em cadeias/teias alimentares.

⁴ Para mais informações, acessar <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/>.

OS PRIMEIROS PASSOS DA QUÍMICA AMBIENTAL

No final da década de 1960 ocorreu a formação do chamado Clube de Roma, organização não governamental constituída por personalidades de diferentes setores da sociedade voltada para a discussão de problemas. Dentre os vários relatórios elaborados por essa organização destaca-se o de 1972, conhecido como “Limites do Crescimento”. Esse produto foi revisitado e discutido durante a Conferência de Estocolmo (também do ano de 1972), primeiro grande evento mundial voltado para o debate de problemas ambientais. Nesse evento alguns poluentes orgânicos persistentes, dentre eles o DDT, foram listados e tiveram seu uso controlado. Essa medida corroborou com o estabelecimento de níveis máximos de certas substâncias químicas, as quais os seres humanos poderiam ser expostos, e também das concentrações de poluentes no meio ambiente capazes de serem assimiladas em um ecossistema [28]. A partir da Conferência de Estocolmo, outros eventos ocorreram e importantes protocolos foram firmados (Protocolo de Montreal, 1987, banimento dos CFCs; Protocolo de Kyoto, 1997, redução dos gases que contribuem com o agravamento do efeito estufa, entre outros).

Como consequência do aumento das discussões sobre perturbações ambientais, alguns princípios foram sendo desenvolvidos. No âmbito do direito, Jonas (1979) definiu o Princípio da Responsabilidade [29]. Segundo esse princípio, o simples ato de realizar uma atividade que pode resultar em riscos ambientais, sejam eles avaliáveis ou não, já implica em algum tipo de responsabilidade para o possível dano. No ambiente das ciências ambientais, afloram na década de 1980 o Princípio da Prevenção - quando o risco ambiental é praticamente certo - e o Princípio da Precaução - quando o risco ambiental não pode ser avaliado [30]. A ideia de incorporar o Princípio da Precaução às tomadas de decisões nas esferas pública e privada foi difundida a partir de 1998 pela Science and Environmental Health Network, organização fundada em 1994, através da divulgação do livro “Protecting Public Health and Environment: Implementing and Precautionary Principle”.

Diante desse cenário, a química passou por transformações. Usando uma analogia com a proposta de Lakatos (1979), é possível afirmar que a química manteve seu núcleo duro - constituído por sua natureza, conceitos, entidades - e agregou novos elementos em seu cinturão protetor - bioacumulação, novas técnicas instrumentais, ecotoxicidade, entre outros [31]. Reflexos

dessas modificações na química podem ser observados no surgimento de periódicos voltados para a química ambiental (por exemplo, Environmental Science Technology, 1967 e Chemosphere, 1972) e nos incipientes livros didáticos de química ambiental [32-34] de início mais pautados na química ecologia.

A partir dessa transformação é possível constatar que a química, paulatinamente, vai construindo uma visão dinâmica da natureza em detrimento de uma visão estática e teleológica [35]. A construção dessa nova visão passa, como foi comentado anteriormente, por ajustes no cinturão protetor da química mediante a anexação de conteúdos interdisciplinares.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Caracterizado por ser uma ciência com forte componente prático, movida por interesses extrínsecos e intrínsecos, a química, ao longo do século XX, acabou tendo que lidar com muitas de suas criações, produzidas comercialmente em larga escala nos sistemas naturais. Saindo das condições controladas do laboratório, a química aumentou suas interações com as ciências ligadas ao meio ambiente para buscar compreender o comportamento de espécies químicas em um ambiente muito mais complexo do que aqueles propostos em um laboratório.

Com a constante busca por novos materiais, o dinamismo viabilizado pela química ambiental, analisando resultados de técnicas analíticas com limites de detecção cada vez menores, passa a ser primordial para uma reformulação constante dos “níveis aceitáveis” de poluentes no Sistema Terrestre, zelando para que os Princípios da Prevenção e da Precaução sejam contemplados na tomada de decisões. Assim, em meio a um cenário de incertezas, novos desafios, como a questão dos microplásticos, vão exigir que a química se aventure cada vez mais para “além dos tubos de ensaio”.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo pelo apoio fornecido ao longo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Schummer, B. Bensaude-Vincent, B. Van Tiggelen, *The Public Image of Chemistry*, World Scientific Publishing, Danvers, 2007. <https://doi.org/10.1142/6636>
- [2] M. Guerris, J. Cuadros, L. Gonzalez-Sabate, V. Serrano, Describing the public perception of chemistry on twitter, *Chem. Educ. Res. Pract.* 21 (2020) 989–999. <https://doi.org/10.1039/C9RP00282K>.
- [3] K.A.F.D. Souza, P. A. Porto, History and epistemology of science in the classroom: the synthesis of quinine as a proposal, *J. Chem Educ.* 89 (2012) 58–63. <https://doi.org/10.1021/ed1003542>.
- [4] J. Schummer, Coping with the growth of chemical knowledge. Challenges for chemistry documentation, education, and working chemists, *Educ. Quim.* 10 (1999), 92–101. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.1999.2.66491>.
- [5] J. Schummer, Why do chemists perform experiments?, in: D. Sobczynka, P. Zeidler, E. Zielonacka (Eds.), *Chemistry in the Philosophical Melting Pot*, Peter Lang, Bristol, 2004, pp. 395–410.
- [6] K. Thomas, *O Homem e o Mundo Natural: mudança de atitude em relação às plantas e aos animais (1500-1800)*, Companhia das Letras, São Paulo, 2010.
- [7] J.R. McNeil, *Something New Under the Sun: an environmental history of the twentieth-century*, Norton & Company, New York, 2000.
- [8] A.C. Morrison, *Man in the Chemical World: the service of chemical industry*, Charles Scribner's Sons, New York, 1937. <https://doi.org/10.1021/ed014p549.1>.
- [9] A. Comte, *Curso de Filosofia Positiva: Primeira Lição*, Abril Cultural, São Paulo, 1973, pp. 9–10.
- [10] H. Chang, What history tells us about the distinct nature of chemistry, *Ambix.* 64 (2017) 360–374. <https://doi.org/10.1080/00026980.2017.1412135>.
- [11] P. Laszlo, Chemistry, knowledge through actions? Hyle, 20 (2014) 93–116. <https://www.hyle.org/journal/issues/20-1/laszlo.pdf> (acessado 10 Dezembro 2023).
- [12] R. Hoffmann, What might philosophy of science look like if chemists built it? *Synthese.* 155 (2007) 321–326. <https://doi.org/10.1007/s11229-006-9118-9>.
- [13] T. Midgley Jr., From the periodic table to production, *Ind. Eng. Chem.* 29 (1937) 241–244. <https://doi.org/10.1021/ie50326a032>.
- [14] H.E.B. Viana, P.A. Porto, Thomas Midgley, Jr. and the Development of new substances: a case study for chemical educators, *J. Chem Educ.* 90 (2013), 1632–1638. <https://doi.org/10.1021/ed300098d>.
- [15] T. Midgley Jr., A.L. Henne, Organic fluorides as refrigerants, *Ind. Eng. Chem.* 22 (1930) 542–545. <https://doi.org/10.1021/ie50245a031>.
- [16] J.C.P. Penteado, J.M. Vaz, J.M., O legado das bifenilas policloradas. *Química Nova*, 24(2001), 390–398. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422001000300016>
- [17] K.O. Henselling, *Ein planet wird vergiftet: der siegeszug der chemie: geschichte einer fehlentwicklung*, Rowohlt, Hamburg, 1992.
- [18] F. Szabadváry, A. Robinson. The history of analytical chemistry, *Compreh. Anal. Chem.* 10 (1980) 61–282. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-41859-3.50008-6>. ISBN 0-618-25305-x.
- [19] R. Carson, *Silent Spring*, Houghton Mifflin Harcourt, Boston, 1962.
- [20] J.E. Lovelock, *Homage to Gaia: the life of an independent scientist*, Oxford University Press, New York, 2001.
- [21] M.R.C.C. Mesquita, B.M.I. Silveira, W.F. Jardim, Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte, *Quim. Nova*, 23 (2000) 487–495. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000400011>.
- [22] P. Sills, *Toxic war: the story of agent orange*, Vanderbilt University Press, Nashville, 2014. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1675571>.
- [23] J.E. Lovelock, Atmosferic turbidity and CCl₃F concentrations in rural southern England and southern Ireland, *Atmosph. Environ.* 6 (1972) 917–925. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(72\)90100-X](https://doi.org/10.1016/0004-6981(72)90100-X).
- [24] M.J. Molina, F.S. Rowland, Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone, *Nature.* 249 (1974) 810–812. <https://doi.org/10.1038/249810a0>.
- [25] M.J. Prather, M.B. McElroy, S.C. Wofsy, Reductions in ozone at high concentrations of stratospheric halogens, *Nature* 5991 (1984) 227–231. <https://doi.org/10.1038/312227a0>.
- [26] L. Dotto, H. Schiff, *The Ozone War*, Double Day, Garden City, 1978.
- [27] U. Beck. *Risk society: towards a new modernity*, Sage Publications, London, 1992.
- [28] G.F. Dias, *Princípios e práticas de educação ambiental*, 8 ed., Ed. Gaia, São Paulo, 2003.
- [29] H. Jonas, *Dans Prinzip Verantwortung*, Surtkamp Taschenbuc, Frankfurt, 1985.
- [30] K. Geiser, Cleaner production and precautionary principle, in: C. Raffensperger, J. Tickner (Orgs.), *Protecting Public Health and Environment: implementing and*

- precautionary principle, Island Press, Washington D.C., 1999, pp. 355–370.
- [31] I. Lakatos, O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica, in: I. Lakatos, A. Musgrave (Org.), A crítica e o desenvolvimento do conhecimento, Cultrix, São Paulo, 1979, pp. 109–243.
- [32] J.C. Giddins, Chemistry, man and environmental change, Canfield Press, San Francisco, 1973.
- [33] R. Gymer, Chemistry: an ecological approach, Harper & Row Publishers, New York, 1973.
- [34] E. Sondheimer, J.B. Simeone. Chemical Ecology, Academic Press, New York, 1970. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-654750-4.X5001-4>.
- [35] J. Schummer, The notion of nature in chemistry, Stud. Hist. Phil. of Scie. 34 (2003), 705–736. [https://doi.org/10.1016/S0039-3681\(03\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0039-3681(03)00050-5).