UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA
Programa de Pós-Graduação em Química

HÉLIO ELAEL BONINI VIANA

**Ascensão e queda dos CFCs: uma análise de
periódicos científicos e de livros didáticos de
química ambiental**

Versão corrigida Tese defendida

São Paulo

Data do Depósito na SPG:
15/07/2013

HÉLIO ELAEL BONINI VIANA

**Ascensão e queda dos CFCs: uma análise de
periódicos científicos e livros didáticos de química
ambiental**

*Tese apresentada ao Instituto de Química da
Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Doutor em Química*

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alves Porto

São Paulo
2013

Dedicatórias

Primeiramente, dedico este trabalho a Deus, nosso verdadeiro salvador...

Nos planos dos mortais, dedico a minha amada Cristiane Boé, minha mãe Neusa, a minha querida Dona Maria (minha segunda mãe) e a sua iluminada família, ao meu irmão João Victor e ao meu pai Adair.

AGRADECIMENTO(S)

Agradeço a todos os professores com que eu tive contato durante o doutorado.

Agradeço aos professores Marcelo Giordan e Paulo Sérgio Santos, pelos apontamentos durante a minha qualificação.

Agradeço a todos os membros do GEPEQ e do GHQ pela atenção e paciência que tiveram comigo.

Agradeço, em especial, ao Prof. Paulo Alves Porto, excepcional orientador, professor e ser humano, do qual eu me tornei fã para a vida inteira.

Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro

RESUMO

Viana, H.E.B. **Ascensão e queda dos CFCs: uma análise de periódicos científicos e livros didáticos de química ambiental**. 2013. 104p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Química. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

O presente trabalho tem como objetivo investigar os processos de ascensão e queda dos clorofluorocarbonetos (CFCs) como bens de consumo, bem como o desenvolvimento da percepção de risco da comunidade química em relação a esses compostos, que culminou com sua caracterização como agentes de risco ambiental global. Para isso, foi desenvolvido um estudo de caso histórico acerca do uso dos CFCs ao longo do século XX, de solução tecnológica ideal a protagonista de uma inédita dimensão de risco químico. Além disso, foi realizada uma análise de cartas enviadas por leitores, editoriais e resenhas de livros publicadas em cinco periódicos científicos: *Chemical & Engineering News*, *Journal of Chemical Education*, *Environmental Science and Technology*, *Nature* e *Science*, no período compreendido entre 1975 e 1991, e de livros didáticos de Química Ambiental publicados entre 1970 e 1995 – período marcado por intenso debate sobre a possibilidade de destruição da camada de ozônio estratosférica. A escolha desses periódicos e livros buscou contemplar diferentes seções da comunidade química, de modo a se ter uma amostra representativa de diferentes formas de pensamento dentro desse amplo espectro profissional que constitui a química. Para análise dessa amostra foi escolhida a Teoria Cultural de Douglas e Wildavsky, a qual descreve quatro visões de mundo que se mostram bastante adequadas para analisar as percepções de risco, as atitudes e os argumentos envolvidos nas discussões da época. Os resultados obtidos apontam para mudanças nas percepções de risco da comunidade química, aproximando-as do Princípio da Precaução para a tomada de decisões, em um período marcado pelo desenvolvimento da Química Ambiental.

Palavras-chave: CFC, percepções de risco, camada de ozônio, química ambiental.

ABSTRACT

Viana, H.E.B. **Rise and fall of CFCs: an analysis of scientific journals and environmental chemistry textbooks.** 2013. 104p. PhD Thesis - Graduate Program in Chemistry. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

This study aims to investigate the processes of rise and fall of chlorofluorocarbons (CFCs) as consumer goods, as well as the development of risk perception regarding these compounds among the chemists community, culminating in its characterization as agents of global environmental risk. A historical case study on the trajectory of CFCs throughout the twentieth century, from ideal technological solution to protagonist of an unprecedented scale chemical risk, was developed. In addition, the study includes an analysis of letters from readers, editorials and book reviews published in five journals: *Chemical & Engineering News*, *Journal of Chemical Education*, *Environmental Science and Technology*, *Nature* and *Science*, in the period between 1975 and 1991, and also an analysis of Environmental Chemistry textbooks published between 1970 and 1995 – a period marked by intense debate about the possibility of destruction of the stratospheric ozone layer. The choice of these journals and books sought to include different sections of the chemistry community, in order to get a representative sample of different ways of thinking within the broad professional spectrum of chemistry. Douglas' and Wildavsky's Cultural Theory was selected to analyse this sample. The theory describes four worldviews that seems rather appropriate to analyze risk perceptions, attitudes and arguments involved in the discussions of the time. Results point to changes in chemists' risk perceptions, which brought them closer to the Precautionary Principle as a guide to decision making in a period marked by the development of Environmental Chemistry.

Keywords: CFC, risk perception, ozone layer, environmental chemistry.

Sumário

Introdução	9
Parte 1 - O estudo de caso: ascensão e queda dos CFCs	14
1 - Ascensão dos CFCs: o desenvolvimento de novas substâncias no início do século XX	14
1.1 - O desenvolvimento do tetraetilchumbo	15
1.2 - Um novo desafio para Midgley: a indústria da refrigeração e os CFCs	25
2 - As substâncias produzidas pelo ser humano no meio ambiente: o caso dos CFCs.....	32
2.1 - Casos que antecederam os CFCs.....	32
2.2 - Identificação de CFCs na atmosfera.....	35
3 - Os CFCs como vilões ambientais.....	38
3.1 - Teorias relacionadas com a manutenção do ozônio estratosférico	38
3.2 - Os CFCs na destruição do ozônio estratosférico.....	46
Parte 2 - Discussão do Estudo de Caso em Periódicos e Livros de Química Ambiental	54
4 - A Sociedade do Risco Global.....	54
5 - Os químicos na Sociedade do Risco Global e a química ambiental	57
6 - Investigação acerca dos riscos relacionados aos CFCs em periódicos e em livros didáticos de química ambiental	64
6.1 - Apresentação	64
6.2 - Análise dos periódicos	68
6.3 - A Transposição Didática	82
6.4 - Livros didáticos de Química Ambiental (1970-1995)	84
Considerações Finais	95
Referências Bibliográficas.....	99
Apêndices	107

Introdução

Para o senso comum, não é difícil associar produtos químicos à poluição ou a danos para a saúde. A imagem pública da química sofreu intensas modificações ao longo do século XX, de sinônimo de progresso na primeira metade do século XX a grande vilã no final desse mesmo século. O desenvolvimento propiciado pela ciência química estava alicerçado na síntese de novas substâncias. A expressão *Better Things for Better Living... Through Chemistry*, lema publicitário da multinacional norteamericana DuPontTM resume bem o *status* alcançado pela química nesse período. Investigando as razões da mudança radical pela qual passou a opinião pública acerca da química, as grandes tragédias ambientais causadas por produtos químicos ganham destaque. Dentre essas tragédias, estão a de Minamata e a intoxicação de seres vivos por agrotóxicos, como o DDT. Percebeu-se então que novas

substâncias, liberadas no ambiente, poderiam interferir na saúde de uma coletividade, configurando-se como agentes causadores de riscos ¹.

Dentre as várias possibilidades para discussão dos diferentes tipos de riscos químicos, a abordagem adotada nesta tese assume a forma de um estudo de caso. Esta é uma boa alternativa para viabilizar uma discussão crítica a respeito dos riscos ambientais inerentes à atividade dos químicos.

A abordagem na forma de estudo de caso, aqui adotada, carrega consigo aspectos da história e da filosofia da ciência. Muitos autores já destacaram a importância do estabelecimento de um diálogo entre esses campos e o ensino de ciências (Matthews, 1994; Cachapuz, 2005). Não se trata, porém, de olhar para o passado promovendo um julgamento do que foi feito “certo” ou “errado”, à luz de critérios atuais. Tendo a contemporânea historiografia da ciência (Alfonso-Goldfarb e Beltran, 2004) como referencial, consideramos necessário buscar a compreensão dos episódios do passado no contexto em que ocorreram, analisando quais eram os critérios da época, e buscando refletir também a respeito da evolução dos critérios utilizados pelos químicos através dos tempos. Também a filosofia da química – cujo estudo tem recebido importantes contribuições nos últimos anos (Baird *et al.*, 2006) – pode oferecer elementos relevantes para essa reflexão.

Assim, investigando a questão dos riscos associados à atividade química em determinado momento histórico, tem-se como objetivo geral contribuir para a compreensão do surgimento da noção de risco ambiental global, bem como suas relações com o Princípio da Precaução.

¹ Sobre a imagem pública da química, ver: HYLE 12, n. 1 (2006), pp. 99 – 130; Sjöström, HYLE 13, n. 2 (2007), pp. 83 – 97.

Nesse contexto, foi escolhida para análise a trajetória dos clorofluorocarbonos (CFCs). Produzidos em larga escala a partir da década de 1930, esses compostos eram tidos como inertes até o começo da década de 1970, quando se começou a apontá-los como responsáveis pela destruição da camada de ozônio estratosférica. Essa mudança de *status* dos CFCs (de fluido inócuo a destruidor da camada de ozônio) passou, de maneira inequívoca, pela compreensão de conceitos de cinética e dinâmica química, e contribuiu para alterações significativas na concepção dos químicos acerca dos riscos subjacentes a suas ações.

Assim, esta tese foi estruturada em duas partes, tendo como objetivos específicos a caracterização dos processos de ascensão e a queda dos CFCs como bens de consumo, bem como caracterizar os argumentos correntes na comunidade química durante os debates que levaram, finalmente, à caracterização dos CFCs como agentes de risco ambiental global. Dessa forma, a primeira parte da tese traz um estudo de caso histórico acerca do uso dos CFCs ao longo do século XX, de solução tecnológica ideal a protagonista de uma inédita dimensão de risco químico. A compreensão desse assunto também requer considerações acerca da camada de ozônio, pois foi a partir de mecanismos propostos para a destruição do ozônio que os químicos Molina e Rowland propuseram que os CFCs também poderiam estar envolvidos. Buscamos entender esse processo de ascensão e queda dos CFCs considerando referenciais históricos e filosóficos, sem perder de vista a importância dos conceitos químicos envolvidos para a compreensão desse processo. A mudança na percepção dos riscos associados ao CFCs está relacionada ao processo de transformação sofrido pela química e ao consequente advento da química ambiental. Para caracterizar esse processo, na segunda parte da tese são analisadas cartas enviadas por leitores, editoriais e resenhas de livros publicadas em cinco periódicos científicos: *Chemical & Engineering News*, *Journal of Chemical Education*, *Environmental Science and Technology*, *Nature* e *Science*, no período compreendido entre 1975 e 1991, e livros didáticos de Química Ambiental publicados entre

1970 e 1995. A escolha desses periódicos buscou contemplar diferentes seções da comunidade química, de modo a se ter uma amostra representativa de diferentes formas de pensamento dentro desse amplo espectro profissional que constitui a química. Assim, *Nature* e *Science*, duas das mais prestigiosas revistas científicas, abrangem leitores de todas as áreas da química, e de todas as áreas de ciências da Natureza. *Chemical & Engineering News* foi escolhida por ser representativa do amplo campo da química industrial, uma comunidade fortemente interessada nos debates sobre o destino dos CFCs. Outro grupo interessado no debate, evidentemente, era o dos químicos envolvidos em estudos sobre o ambiente, cujas ideias puderam ser acessadas por meio do periódico *Environmental Science and Technology*. Finalmente, buscou-se também evidências da repercussão dos debates junto à comunidade dos educadores em química – responsáveis pela divulgação nos diferentes níveis de ensino dos conhecimentos gerados, bem como pela formação de futuros químicos. Para acessar as ideias correntes na comunidade de educadores, investigou-se o periódico *Journal of Chemical Education*, bem como uma amostra de livros didáticos de Química Ambiental.

Como referencial teórico para a análise desse material na segunda parte foi escolhida a Teoria Cultural de Douglas e Wildavsky (1982). Essa teoria descreve quatro visões de mundo que se mostram bastante adequadas para analisar as percepções de risco, as atitudes e os argumentos envolvidos nas discussões sobre os CFCs no período que foi denominado “Guerra do Ozônio”. Originalmente, a teoria cultural visa explicar, em termos de aspectos sociais e vínculos sociais, os modos como as pessoas percebem o mundo e agem sobre ele (Boholm, 1996; Douglas & Wildavsky, 1982). Diversos trabalhos têm recorrido à tipologia de rede-grupo, descrita na teoria cultural, para investigar o conceito de risco sob diferentes vieses (Olteidal *et al.*, 2004). No que tange mais diretamente às ciências da Natureza, Thompson *et al.* (1990) investigaram a atitude das pessoas diante de sistemas ecológicos para avaliar suas percepções acerca de riscos naturais. Mais recentemente, Douglas *et al.* (2003) utilizaram a

teoria cultural para analisar o contemporâneo debate em torno do aquecimento global, e as diferentes percepções de risco envolvidas. Seguindo esse caminho, consideramos que a teoria cultural também poderia ser útil para analisar as posições de diferentes membros da comunidade de químicos que se envolveram nas discussões sobre os CFCs. Considerando, porém, que a teoria cultural origina-se nos campos da antropologia e da sociologia, para que o estudo em questão pudesse aprofundar aspectos específicos da química, foi necessário construir uma análise que integrasse também conteúdos da química, da história da ciência e da filosofia da ciência.

Parte 1 - O estudo de caso: ascensão e queda dos CFCs

1 - Ascensão dos CFCs: o desenvolvimento de novas substâncias no início do século XX

A ciência química evoluiu de maneira notável no decorrer do século XX, e grande parte dessa evolução está relacionada ao desenvolvimento da indústria química –cujos produtos tiveram indelével impacto sobre o modo de vida das populações. A quantificação das substâncias químicas identificadas, a maioria das quais resultante de processos de síntese em laboratórios, oferece uma evidência desse crescimento: no início do século XIX, os químicos tinham catalogado apenas algumas dezenas de substâncias; ao passo que, ao final do século XX, o número de substâncias conhecidas se elevara a cerca de 19 milhões (Schummer, 1999). Para entender as razões desse espetacular aumento do número de novas substâncias, é necessário ter em mente a situação da química no começo do século XX. Com a expansão industrial desse período, novas moléculas passaram a ser necessárias para suprir as exigências tecnológicas, fazendo a química ser vista como um “passaporte para um futuro melhor”

(Midgley, 1935). A química definitivamente se institucionalizou na forma de pesquisa industrial, voltada para a criação e produção comercial de novos materiais (Mauskopf, 1993), projetando melhorias futuras nas áreas de agricultura, transportes, saúde, vestuário, higiene pessoal, etc. A importância alcançada pelo conhecimento químico encontra-se materializada nas palavras de Morrison (1937):

Enquanto desvenda os segredos do seu próprio complexo mecanismo, o químico delinea o progresso da civilização. Novos produtos por ele revelados estão destinados a, dentro em breve, tornarem-se necessidades novas. A indústria química é o agente habilitado a satisfazer essas exigências. (...) A Natureza é o maior dos químicos. O químico descobre como imitar ou modificar os produtos naturais para adaptá-los às necessidades humanas e criar novas substâncias. (Morrison, 1937, p. 17, 27.)

Nesse contexto de desenvolvimento de novas substâncias para aplicações tecnológicas, um caso emblemático é o de Thomas Midgley, Jr. (1889 – 1944). Nascido na Pensilvânia, EUA, Midgley foi criado em Ohio, onde desempenhou grande parte de sua carreira profissional. Formou-se engenheiro mecânico pela Universidade Cornell em 1911. Cinco anos depois, passou a trabalhar na *Dayton Engineering Laboratories Company (Delco)*, posteriormente adquirida pela montadora *General Motors*, e na qual começou a trabalhar com pesquisa e desenvolvimento de novas substâncias (Kettering, 1947). O protagonismo de Midgley na produção do tetraetilchumbo e dos clorofluorocarbonetos (CFCs), que foram saudados, na época, como notáveis soluções para problemas tecnológicos prementes, sugere reflexões sobre aspectos relevantes da atividade química, como se verá a seguir.

1.1 - O desenvolvimento do tetraetilchumbo

A carreira de Midgley foi repleta de sucessos e reconhecimento. Foi autor de dezenas de patentes, e apanhou uma série de prêmios, entre os quais se pode destacar a Medalha

Perkin (1937), conferida pela Sociedade de Química Industrial dos EUA, e a Medalha Priestley (1941), outorgada pela *American Chemical Society*. Além do desenvolvimento das substâncias acima mencionadas, outros trabalhos de Midgley reconhecidos como importantes por seus contemporâneos foram relativos à hidrogenação do benzeno, à extração de bromo da água do mar, e estudos sobre borrachas naturais e sintéticas. Observa-se que, mesmo sem ter formação inicial em química, Midgley se consagrou como um dos grandes nomes da química industrial em seu tempo. Participou da diretoria da *American Chemical Society* por muitos anos, chegando a ocupar a presidência dessa entidade no mesmo ano em que faleceu (Kettering, 1947).

O início dessa trajetória pode ser entendido no contexto da expansão da indústria automobilística dos EUA no começo do século passado. Após a popularização do automóvel, com o modelo de “produção em massa” inaugurado pela *Ford Motor Company*, outras empresas optaram por buscar estratégias distintas para aumentar suas vendas. Uma estratégia possível era oferecer inovações tecnológicas que fizessem o consumidor trocar seu automóvel por outro mais avançado, que lhe desse maior *status* social. Dentre as inovações que atraíam os consumidores destacava-se a possibilidade de oferecer carros mais potentes e velozes (Loeb, 1995).

O desenvolvimento de automóveis com essas características, porém, esbarrava em uma limitação tecnológica existente nos anos 1910: os motores a explosão dos automóveis operavam com baixas taxas de compressão. Se, por um lado, isso evitava a ocorrência da chamada “batida de pino” (funcionamento inadequado do motor, caracterizado pela queima irregular da gasolina dentro dos cilindros), por outro lado, limitava a potência e elevava o consumo de gasolina pelos motores. Assim, aumentar a taxa de compressão dos motores, mas sem provocar a “batida de pino” (ou “detonação”), tornou-se um objetivo a ser alcançado.

Charles F. Kettering (1876 – 1958), um dos fundadores da *Delco*, encarregou Midgley de investigar o problema da “batida de pino”. Logo Midgley percebeu que a detonação irregular não ocorria *antes* da ignição da mistura ar-combustível, como se acreditava até então, mas após a produção da faísca e início da combustão no interior do cilindro (Kettering, 1947). Percebeu, também, que o problema deveria ser atacado a partir da composição do combustível. Já eram conhecidos meios para produzir gasolinas para motores de alta taxa de compressão, mas esses meios encareciam o combustível. O desafio era criar um aditivo antidetonante para a gasolina comum, que não fosse prejudicial ao motor, e fosse barato para garantir a popularização de seu uso (Kitman, 2000).

De acordo com relatos deixados por Kettering, o ponto de partida na busca pelo antidetonante seguiu um raciocínio que pode parecer surpreendente à luz da química moderna. Tanto Kettering como Midgley estavam familiarizados com o fato de que o *trailing arbutus*², uma planta nativa da América do Norte, era capaz de formar flores mesmo sob a neve, e supôs que isso seria possível em função da coloração avermelhada da parte inferior de suas folhas, a qual supostamente permitiria a absorção de calor do Sol. Desse modo, conjecturaram Kettering e Midgley, a adição de uma substância vermelha à gasolina talvez levasse à absorção da radiação da chama dentro do cilindro do motor, fazendo com que a gasolina vaporizasse lentamente e, assim, queimasse de maneira regular. Essa ideia foi chamada, posteriormente, de “hipótese do *trailing arbutus*” (McGrayne, 2002). Seguindo essa linha de raciocínio, o iodo – que apresenta coloração avermelhada em solução orgânica – foi testado, e suas propriedades atenderam às expectativas: o iodo se comportava como antidetonante.

² *Trailing arbutus* é o nome comum, nos países de língua inglesa, da planta identificada pelo nome sistemático de *Epigaea repens*. Não conseguimos identificar a existência de um nome usual para esse vegetal em português.

Entretanto, além da toxidade de seus fumos, e do fato de seus resíduos serem capazes de corroer e obstruir o motor, a adição de iodo na gasolina acarretaria em um aumento considerável no seu preço. Em vista disso, o iodo, apesar de ser um antidetonante, não apresentava as propriedades adequadas para ser adicionado em combustíveis. Mas essas características não estavam relacionadas à validade ou não hipótese do *trailing arbutus*. Prosseguindo nessa linha de investigação, Midgley testou vários corantes vermelhos dissolvidos em querosene, sem, entretanto, observar propriedades antidetonantes. Por outro lado, observou que o iodeto de etila, uma substância incolor, exibia propriedades antidetonantes – mas com desvantagens similares às do iodo elementar. A partir dessas constatações, Midgley teve que abandonar a hipótese do *trailing arbutus* e continuou testando variadas substâncias (McGrayne, 2002; Kettering, 1947; Kettering, 1944). A pesquisa se estendeu por vários anos, tendo sido interrompida pela Primeira Guerra Mundial e retomada depois. O número de substâncias que foram testadas por Midgley é controverso: há relatos que variam de 144 até incríveis 33.000 substâncias (Nriagu, 1990; Kitman, 2000).

Após sucessivos experimentos aleatórios, baseados em tentativas e erros, Midgley observou que a anilina era um antidetonante mais efetivo que o iodo. Obtida facilmente do índigo, o custo da anilina no processo seria consideravelmente baixo. Não obstante essas vantagens aparentes, sua ação corrosiva frente a metais, e o odor desagradável dos gases de escape, impediam que a anilina fosse utilizada em escala comercial. Realizando mais testes, dessa vez sintetizando compostos com os grupos etila e fenila, Midgley observou propriedades antidetonantes no dietilselênio e no dietiltelúrio. Novamente, porém, a questão do odor impossibilitava o emprego dessas substâncias, além da relativamente pequena disponibilidade dos elementos selênio e telúrio para a produção em larga escala a baixo custo. Apesar desses resultados desestimulantes à primeira vista, Midgley começou a orientar suas tentativas considerando a periodicidade das propriedades dos elementos químicos.

Assim, a tabela periódica começou a ser empregada para prever a composição de novos possíveis antidetonantes a serem testados. Seguindo a tabela periódica, foram testados compostos dos elementos do grupo do nitrogênio e do carbono. Nessa sequência, os compostos de estanho, especialmente o dietilestanho, se mostraram excelentes antidetonantes. Tais resultados, associados a considerações teóricas, apontavam que um composto contendo chumbo seria promissor em termos das propriedades desejadas. E assim, de fato, se observou que os resultados mais satisfatórios eram obtidos com o tetraetilchumbo (Garrett, 1962). Isso foi posteriormente mostrado por Midgley, de maneira didática, registrando em um gráfico o efeito antidetonante das substâncias em função do número atômico do elemento que estava unido à cadeia carbônica respectiva (Figura 1).

Figura 1 – Gráfico utilizado por Midgley para ilustrar o efeito antidetonante de vários compostos, comparando a influência de elementos pertencentes a diferentes grupos da tabela periódica (Midgley, Jr., 1937).

Com o gráfico reproduzido na Figura 1, pode-se comparar as propriedades antidetonantes de alguns grupos de compostos etilados, tomando o efeito antidetonante da

anilina como referência. Observa-se que, dentro de cada um dos três grupos, o efeito antidetonante aumenta conforme aumenta o número atômico do elemento ligado ao grupo etila. Porém, esse efeito é muito mais pronunciado no grupo do carbono: o composto etilado de chumbo apresenta propriedades antidetonantes muito maiores do que os demais compostos (Midgley, Jr., 1937).

Sobre essa mudança na metodologia de investigação, da tentativa e erro para os testes orientados pela tabela periódica dos elementos, Midgley escreveu:

Com esses fatos diante de nós, lucrámos em abandonar o método de Edison [*i.e., tentativa e erro*] em favor de um procedimento correlativo, baseado na tabela periódica. O que tinha parecido, algumas vezes, uma busca inútil, levando muitos anos e custando uma considerável soma de dinheiro, rapidamente se tornou uma “caça à raposa”. Previsões começavam a ser cumpridas em vez de fracassarem (Midgley, Jr., 1937, p. 242).

Existem registros divergentes a respeito de como teria sido a aproximação de Midgley com a tabela periódica. Em artigo de 1937, Midgley escreveu que devia a seu professor de química no ensino médio, H. M. Robert, a inspiração para usar a tabela periódica:

Quando a tabela periódica foi descrita para nós por Robert, ele sugeriu que este arranjo regular dos átomos era uma evidência da existência da Divindade. (...) Argumentei que isso indicava simplesmente que os átomos eram constituídos de partículas ainda menores. A discussão prosseguiu por dias e semanas. (...) No decorrer [dessa discussão] tive oportunidade de aprender muito sobre a tabela periódica, e de tê-la impressa em minha memória como uma ferramenta muito útil no trabalho de pesquisa (Midgley, Jr., 1937, p. 241).

O início das pesquisas de Midgley sobre os antidetonantes, porém, parece contrariar a versão de que ele havia interiorizado a tabela periódica como ferramenta de trabalho. O historiador Alan Loeb (1995) apresenta uma versão que parece mais plausível, e que é

apoiada por McGrayne (2002) e por Seyferth (2003b). Segundo Loeb, após anos de tentativas na busca pelo antidetonante:

Para dar à pesquisa um pouco de direção, Midgley consultou o Dr. Robert E. Wilson, no MIT [em meados de 1921]. Wilson sugeriu que Midgley usasse a tabela periódica de Langmuir, que era organizada de acordo com a valência química. Colocando em um gráfico as descobertas feitas até então, Midgley observou um padrão que apontava para o chumbo (Loeb, 1995, p. 81).

Assim, em dezembro de 1921, Midgley e seus colaboradores observaram que a adição de pequenas quantidades de tetraetilchumbo à gasolina eram suficientes para obter o efeito antidetonante desejado.

Isso não significa que o tetraetilchumbo tenha sido a única solução encontrada por Midgley e sua equipe para o problema da detonação da gasolina nos motores. Em suas pesquisas para a melhoria de combustíveis para aviação, durante a Primeira Guerra Mundial, Midgley já observara que o etanol (álcool etílico) era um antidetonante. Em 1920, Midgley requereu patente de um combustível antidetonante, consistindo em uma mistura de etanol e gasolina olefínica. Outras vozes da indústria automobilística, na época, também manifestaram seu otimismo em relação à utilização do etanol como antidetonante, misturado à gasolina. Entretanto, alguns obstáculos impediram que o etanol fosse o aditivo adotado em larga escala pelas empresas de petróleo e pela indústria automobilística dos EUA. Para atender o mercado, seriam necessárias grandes quantidades de etanol (combustíveis utilizados na época podiam conter de 16 a 30% de etanol misturado à gasolina). Não eram conhecidos métodos para produzir etanol a partir do petróleo a um custo que fosse competitivo; assim, a indústria de combustíveis passaria a depender de outro setor produtivo, sobre o qual não tinha controle, que era o agrícola. Sob esse ponto de vista, o tetraetilchumbo era muito mais vantajoso para a *General Motors*, que financiava as pesquisas de Midgley e seu grupo. A quantidade de tetraetilchumbo dissolvida em gasolina, para obter o efeito desejado, era inferior a 1 parte em

1000, e seu custo mantinha baixo o preço de venda da gasolina. Além disso, diferente do etanol, o processo de produção do tetraetilchumbo podia ser patenteado, garantindo lucros para a *General Motors*. Tampouco a empresa automobilística entrava em conflito com os produtores de gasolina, a quem evidentemente não interessava a entrada de destiladores de etanol no mercado de combustíveis para automóveis (Kitman, 2000).

O tetraetilchumbo era já conhecido pelos químicos desde o século XIX. Provavelmente, foi preparado pela primeira vez, em forma impura, pelo químico alemão Carl Jacob Löwig (1803 – 1890) por volta de 1853, tendo sido isolado e caracterizado em 1859 pelo inglês George Bowdler Buckton (1818 – 1905) (Seyferth, 2003a). Porém, nunca havia encontrado qualquer utilização prática, em função de sua grande toxicidade.

Os danos à saúde que o tetraetilchumbo poderia causar já eram bem conhecidos por médicos e químicos, havia séculos conhecedores dos problemas causados pelo envenenamento pelo chumbo e seus compostos. Mesmo ciente disso, Midgley defendia publicamente que não existiria perigo concreto na utilização do tetraetilchumbo, pois, devido a sua baixa concentração na gasolina, o chumbo se diluiria no ambiente. Assim, os estudos para a produção em larga escala e comercialização do tetraetilchumbo tiveram continuidade, e em 1923 a gasolina com esse aditivo passou a ser vendida ao público. No ano seguinte, a *General Motors* (fabricante de veículos) e a *Standard Oil* (indústria petrolífera) se uniram em *joint venture* para criar uma empresa dedicada à produção em escala industrial e distribuição do combustível com tetraetilchumbo: a *Ethyl Corporation* (Loeb, 1995).

Em pouco tempo, começaram a ser observados casos de mortes e dezenas de intoxicações de trabalhadores que atuavam na linha de produção do tetraetilchumbo (Seyferth, 2003b). O próprio Midgley, apresentando sintomas de intoxicação por chumbo, decidiu abandonar o laboratório por algumas semanas para se recuperar na Flórida (Kitman, 2000; McGrayne, 2002). Diversos profissionais ligados aos serviços de saúde pública dos EUA,

bem como pesquisadores da área médica, alertaram para os riscos da liberação de chumbo no ambiente. Por exemplo, em 1922, W. M. Clark alertou que “em vias de tráfego intenso, é altamente provável que a poeira de óxido de chumbo irá permanecer no estrato inferior [da atmosfera] ... [podendo se constituir em] séria ameaça à saúde pública” (W. M. Clark, *apud* Nriagu, 1990, p. 18). Os produtores de tetraetilchumbo, por sua vez, argumentavam que “as ruas, em média, estarão provavelmente tão livres de chumbo que será impossível detectá-lo, ou detectar sua absorção” (Rosner & Markowitz, *apud* Nriagu, 1990, p. 19).

A produção do tetraetilchumbo foi interrompida nos EUA por determinação governamental entre maio de 1925 e junho de 1926, devido à série de envenenamentos e mortes nas indústrias. Medidas de segurança para a manipulação do tetraetilchumbo nas fábricas foram reforçadas, e envenenamentos posteriores à retomada da produção foram atribuídos à falta de cuidado dos trabalhadores envolvidos. Apesar dos vários alertas, os organismos governamentais de saúde dos EUA não impediram a utilização do tetraetilchumbo na gasolina, concordando oficialmente com o argumento de que não existiam estudos conclusivos comprovando os efeitos a longo prazo, sobre a saúde da população, da dispersão de chumbo pelo ambiente. Além disso, os organismos governamentais transferiram para os produtores de tetraetilchumbo a responsabilidade de investigar esses efeitos (Nadim *et al.*, 2001; Kitman, 2000). Buscando respaldo para seu produto, a *Ethyl Corporation* financiou uma equipe multidisciplinar, liderada pelo médico e pesquisador da Universidade de Cincinnati, Robert Kehoe, para analisar os riscos do tetraetilchumbo. De maneira não surpreendente, os resultados da equipe de Kehoe sugeriam não haver dados suficientes para concluir que a dispersão do chumbo pelos gases de escape dos automóveis era uma ameaça à saúde pública. E assim, pelas décadas seguintes, o tetraetilchumbo continuou a ser usado como aditivo para gasolina nos EUA, e passou a ser comercializado também em todo o

mundo. Um relato da *Ethyl Corporation*, de 1963, afirmava que 98% da gasolina vendida nos EUA continha compostos antidetonantes à base de chumbo (Seyferth, 2003b; Kitman, 2000).

Nos anos 1960, a ascensão do movimento ambientalista nos EUA colocou novamente em discussão os riscos associados ao uso do tetraetilchumbo na gasolina. Estudos epidemiológicos mostraram que os níveis de chumbo presentes no sangue eram maiores nas populações urbanas do que nas rurais, e mesmo estas apresentavam níveis de chumbo no organismo muito maiores do que se observava em corpos de indivíduos que viveram em épocas passadas. Outros estudos que geraram impacto mostravam que a exposição a altos níveis de chumbo no ambiente era especialmente prejudicial à saúde e ao desenvolvimento das crianças, e que havia correlação entre valores mais elevados de chumbo no sangue e valores mais baixos em testes de quociente de inteligência (Nriagu, 1990; Thomas, 1995).

O tetraetilchumbo começou a ser banido da gasolina vendida nos EUA como consequência de uma lei federal de controle de poluentes atmosféricos, aprovada em 1970. A redução da emissão de gases poluentes por automóveis requeria a instalação de catalisadores nos veículos – porém, a presença de chumbo nos gases do escapamento tornaria os catalisadores inativos; logo, o tetraetilchumbo teria que ser eliminado da gasolina. Não sem enfrentar resistência das indústrias produtoras do aditivo, o processo gradual de retirada do tetraetilchumbo da gasolina vendida nos EUA teve início em 1973, e se prolongou até 1996 (Kitman, 2000; Nadim *et al.*, 2001). De acordo com programas apoiados pela ONU, gasolinas com aditivos à base de chumbo são usadas atualmente em poucos países do mundo, e sua eliminação completa está prevista para 2013 (United States Environmental Protection Agency, 2011).

1.2 - Um novo desafio para Midgley: a indústria da refrigeração e os CFCs

No final da década de 1920, Midgley havia alcançado posição de destaque em sua carreira: ocupava a vice-presidência da *Ethyl Corporation* e era consultor da *General Motors*. Reconhecido pelo sucesso na resolução do problema da qualidade da gasolina, desde a pesquisa em laboratório até as etapas de fabricação e comercialização, Midgley recebeu nessa época outra missão complexa: desenvolver um novo fluido que pudesse ser utilizado na indústria de refrigeração.

No começo do século XX, os fluidos utilizados em refrigeradores eram potenciais fontes de graves acidentes, como explosões e intoxicações (Giunta, 2006). Isso inibia o uso dos aparelhos de refrigeração em residências, em locais onde houvesse grande fluxo de pessoas, e também em automóveis. Assim, havia a demanda por um fluido refrigerante que fosse, ao mesmo tempo, não tóxico, não inflamável, barato e com as propriedades de engenharia adequadas (isto é, este fluido deveria liquefazer facilmente com o aumento de pressão, sem necessidade do emprego de temperaturas muito baixas, absorvendo energia do ambiente para retornar ao estado gasoso).

Fluidos	Propriedades de engenharia	Inflamabilidade	Toxicidade
Ar	Não liquefaz	OK	OK
Dióxido de carbono	Pressão de vapor excessiva	OK	OK
Água	Requer pressão excessivamente baixa	OK	OK
Amônia	OK	Levemente inflamável	Tóxico, mas fornece ampla advertência
Dióxido de enxofre	OK	OK	Tóxico, mas fornece ampla advertência
Cloreto de metila	OK	Levemente inflamável	Tóxico, sem advertência
Brometo de metila	Vácuo	Levemente inflamável	Tóxico, sem advertência
Butano	OK	Muito inflamável	OK

Tabela 1 – Comparação de propriedades relevantes para a construção de refrigeradores, para algumas substâncias usadas com essa finalidade na década de 1920 (Midgley, Jr. & Henne, 1930, p. 542).

A Tabela 1, reproduzida de um artigo escrito por Midgley e Henne em 1930, traz uma comparação entre algumas propriedades relevantes de substâncias então usadas como fluidos em refrigeradores. Analisando cada um dos fluidos listados, percebe-se que nenhum deles satisfazia simultaneamente os requisitos desejados para as três propriedades destacadas: 1) propriedades de engenharia (abrangendo estabilidade, não corrosividade e pressão de vapor apropriada); 2) inflamabilidade; e 3) toxicidade. Disposto a enfrentar esse problema, Midgley e colaboradores iniciaram uma investigação buscando novos fluidos que pudessem substituir aqueles até então utilizados (McGrayne, 2002). Desta vez, em vez de recorrer à tentativa e erro, Midgley desde logo se orientou pela tabela periódica dos elementos.

Observando a tabela periódica segundo a organização de Langmuir (Figura 2), Midgley rapidamente percebeu que os elementos químicos, cujos compostos apresentavam pontos de ebulição situados na faixa adequada para serem usados como fluidos de refrigeração, estavam situados no lado direito da tabela. Com relação à toxicidade, observou que, de modo geral, essa propriedade diminuía dos elementos mais “pesados” (situados na

parte inferior da tabela) para os elementos mais “leves” (situados na parte superior da tabela).

A inflamabilidade, por sua vez

, diminuía no sentido da esquerda para a direita da tabela periódica.

NUMBER OF VACANT SPACES IN OUTER SHELL

SHELL	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
I																																	H 1.008 ¹
II a																																	He 4.0
II b																																	
III a																																	
III b																																	
IV a																																	
IV b																																	

Figura 2 – Tabela periódica baseada no sistema de Langmuir (Midgley, Jr., 1937).

Considerando essas observações em conjunto, Midgley concluiu que as tendências analisadas apontavam para o flúor, porém era sabido que a substância simples flúor era extremamente tóxica. Midgley e seu principal colaborador nessa empreitada, Albert L. Henne, supuseram, entretanto, que o composto almejado poderia conter flúor em sua estrutura. A partir das propriedades físico-químicas do metano (CH₄), do tetrafluoreto de carbono (CF₄), do tetracloreto de carbono (CCl₄) e de outros organoclorados – Henne era um especialista em organoclorados – Midgley e Henne elaboraram diagramas relacionando o ponto de ebulição com a estabilidade, toxicidade e inflamabilidade desses compostos com os de vários haletos orgânicos. Uma dificuldade que encontraram no início da investigação esteve relacionada ao valor do ponto de ebulição do tetrafluoreto de carbono que encontraram nas tabelas disponíveis na literatura da época. O valor tabelado era de -15°C, muito superior ao que Midgley e Henne esperavam, considerando comparações com os pontos de ebulição de substâncias estruturalmente semelhantes. A estimativa da dupla era de que o valor correto estaria em torno de -136 °C, o que faria do tetrafluoreto de carbono uma substância não adequada para ser usada como fluido para refrigeração. De fato, pouco depois, outros

cientistas publicaram um valor corrigido para o ponto de ebulição do tetrafluoreto de carbono: -128°C , o que mostrava que a estimativa feita por Midgley e Henne era boa, e que eles tinham razão em não acreditar que essa substância poderia ser utilizada para o propósito que buscavam (Midgley, Jr., 1937).

A atenção de Midgley e Henne se voltou para compostos constituídos por carbono, cloro e flúor. Analisando a Figura 3, percebe-se que o CF_2Cl_2 e o CFCl_3 apresentam pontos de ebulição situados (aproximadamente) entre -30 e $+30^{\circ}\text{C}$, que era o intervalo adequado, além de baixa inflamabilidade. Esses compostos apresentavam, portanto, algumas das propriedades desejadas, atraindo o interesse dos pesquisadores. Entretanto, ainda não havia, no momento em que Midgley e Henne investigaram a questão, dados disponíveis na literatura a respeito da eventual toxicidade desses compostos.

Figura 3 – Diagrama comparando propriedades físico-químicas de diferentes clorofluorocarbonetos (CFCs) (Midgley, Jr., & Henne, 1930, p. 543). Observação: os átomos de carbono e hidrogênio não estão representados nas fórmulas dos CFCs.

Midgley e colaboradores trataram então de preparar amostras de clorofluorocarbonetos (CFCs) para testar sua toxicidade. A equação química a seguir representa o método usado por eles para preparar o CCl₂F₂, a partir de CCl₄ e SbF₃ (Midgley, Jr., & Henne, 1930, p. 544):

Testando a toxicidade do CCl_2F_2 em cobaias, Midgley não percebeu nenhum efeito danoso à vida (Tabela 2). Com relação a essa propriedade, a vantagem do CCl_2F_2 em relação aos fluidos então usados em refrigeração era dramática. Midgley, Henne e sua equipe haviam encontrado a substância que precisavam, e o passo seguinte passou a ser viabilizar sua produção e uso industriais.

Gás	Provoca a morte de animais em um curto intervalo de tempo (%)	Oferece risco à vida no intervalo de 30 a 60 minutos (%)	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
Diclorodifluorometano	Não alcançável	80	40

Tabela 2 – Toxicidade de substâncias usadas na indústria de refrigeradores (concentrações expressas em porcentagens em volume no ar) (Midgley, Jr., & Henne, 1930, p. 544).

A habilidade de Midgley em divulgar seu trabalho e a viabilidade de suas invenções pode ser exemplificada pelo seguinte episódio. Em 1930, ao apresentar o resultado de suas pesquisas que culminaram na preparação dos CFCs como fluidos para refrigeração (os quais ganharam o nome comercial de *freons*), Midgley fez uma demonstração de grande apelo para a plateia que assistia a sua fala na cidade de Atlanta:

[Midgley] demonstrou, de uma só vez, tanto a não toxicidade quanto a não inflamabilidade do freon: aspirou um pouco de seu vapor, e suavemente o exalou para apagar a chama de uma vela (Kettering, 1944, p. 1182).

Os nomes comerciais dos CFCs foram dados tomando por base a relação entre o número de átomos de carbono e flúor existente nas moléculas (por exemplo, o CFCl_3 passou a ser conhecido como CFC-11 ou freon-11, e o CF_2Cl_2 foi denominado CFC-12 ou freon-12). As peculiares propriedades dos CFCs logo permitiram que fossem utilizados em outras

aplicações, como propelentes em aerossóis, por exemplo. Assim, a produção industrial de CFCs foi crescendo, inicialmente nos EUA e logo também em outros países (Tabela 3).

Ano	CFCl ₃		CF ₂ Cl ₂	
	Estados Unidos	Mundo	Estados Unidos	Mundo
1950-1955	54	54		
1956-1957	32	32		
1958	23	23	59	59
1959	27	27	71	71
1960	33	40	75	87
1961	41	52	78	94
1962	56	72	94	117
1963	64	83	98	129
1964	67	93	103	143
1965	77	112	123	175
1966	77	122	130	196
1967	83	139	141	225
1968	93	165	148	256
1969	108	197	167	300
1970	111	217	170	329
1971	117	341	177	363
1972	136	285	191	422
1973	147	313	221	469
Até novembro de 1974		2576		3830

Tabela 3 – Produção estimada de CFCl₃ e de CF₂Cl₂, em 10⁹ g (Rowland e Molina, 1975, p. 4).

2 - As substâncias produzidas pelo ser humano no meio ambiente: o caso dos CFCs

2.1 - Casos que antecederam os CFCs

À medida que novas substâncias eram sintetizadas em larga escala nas indústrias, a toxicidade de algumas delas ia sendo percebida. Assim foi com o tetraetilchumbo, que, tão logo foi produzido em larga escala, causou mortes e intoxicações de operários. Todavia, esses problemas foram incapazes de deter a produção do tetraetilchumbo, em prol do progresso e da urgente demanda por um antidetonante pela indústria automobilística. Desse modo, a expansão da indústria química gerou preocupações a respeito da degradação das condições de vida no entorno das instalações industriais. Outros sinais de alerta foram dados já nos anos 1950, como o episódio da Baía de Minamata no Japão (Ishimure, 1990), a questão do *smog* em Londres e em outras cidades, e também o questionamento do uso de pesticidas (Carson, 1962). Vamos considerar brevemente cada um desses episódios.

Minamata é uma cidade localizada em uma baía na costa oeste do Japão. Por esta razão, pode-se considerar seu ecossistema como sendo relativamente fechado. Foi justamente a dificuldade de dispersão dos poluentes nessa região que desencadeou um dos mais trágicos desastres da história: o envenenamento de Minamata. Em 1932, a *Chisso Corporation*, uma importante indústria japonesa da época, instalou-se em Minamata com o propósito de produzir acetaldeído (importante matéria-prima para a produção de polímeros). Para a produção do acetaldeído era empregado mercúrio, cujos resíduos eram despejados nas águas da baía. O mercúrio passou a se acumular no sedimento da baía e, com o passar dos anos, foi incorporado pelos peixes na forma de cloreto de metilmercúrio. Como os alimentos oriundos do mar formam a base da culinária japonesa, o cloreto de metilmercúrio, presente nas cadeias alimentares de todos os seres vivos da região, passou a se acumular também nos seres

humanos. Após a Segunda Guerra Mundial (por volta de 1952), com o processo de desenvolvimento japonês, a produção de acetaldeído aumentou ainda mais, para abastecer a indústria de plásticos. As consequências do aumento do despejo de mercúrio foram devastadoras: seres vivos passaram a apresentar distúrbios e centenas de vidas foram ceifadas. Pesquisadores da área médica já haviam detectado, em 1958, que a causa dos sintomas era a intoxicação por metais pesados presentes nos peixes da baía. No ano de 1963, pesquisadores do serviço público de Saúde relacionaram as doenças ao mercúrio eliminado nos efluentes da empresa *Chisso Corporation*. Pesquisas de universidades locais apontam que o número de pessoas mortas por causa da intoxicação por mercúrio pode ter passado de 3000.

O segundo episódio destacado aqui, o *smog* londrino de 1952, teria sido causado por óxidos de enxofre proveniente da queima de combustíveis fósseis, e se constituiu em um dos episódios mais marcantes no que diz respeito à poluição do ar e suas consequências sobre a saúde da população. A deterioração da qualidade do ar causou aumentos significativos na taxa de mortalidade. Mesmo após o *smog* ter cessado, a taxa de mortalidade permaneceu alta por meses. Inicialmente, essas mortes pós-*smog* foram vinculadas a um surto de gripe. Todavia, estimativas posteriores do “número de mortes da gripe foram geradas usando vários métodos, indicando que apenas uma fração das mortes nos meses após o *smog* poderia ser atribuída à gripe” (Bell *et al.*, 2004, p. 1).

O terceiro episódio relevante a respeito de riscos químicos, que antecedeu aos debates sobre os CFCs, refere-se ao 1,1,1-tricloro-2,2-di(4-clorofenil)etano, ou dicloro-difenil-tricloroetano, ou ainda, simplesmente, DDT. A ação inseticida do DDT havia sido descoberta em 1939. À primeira vista, o DDT impedia o desenvolvimento dos ovos de insetos, passando a ser usado, entre outros propósitos, no combate à malária. Para tal, o mesmo era frequentemente disperso sobre as plantações na forma de um aerossol (nesse caso, os CFCs eram usados como propelentes) e borrifado nos soldados que retornavam de operações

militares. Após alguns anos, o uso indiscriminado de inseticidas chamou a atenção de muitos pesquisadores, como Rachel Carson. Bióloga, Carson era uma atenta observadora da Natureza, constatando, por exemplo, a contínua diminuição no número de pássaros em sua região (Hinsdale, Illinois). Ao longo da década de 1950, Carson percebeu que problemas correlacionados aos inseticidas estavam se tornando cada vez mais frequentes, sendo que a eficácia no combate às pragas estava diminuindo em muitos países:

Em 1957, a lista de países cujos piolhos haviam se tornado resistentes ao DDT tinha passado a incluir Irã, Turquia, Etiópia, África do Sul, África Ocidental, Peru, Chile, França, Iugoslávia, Afeganistão, Uganda, México e Tanzânia; o triunfo inicial na Itália não se manifesta mais (Carson, 1962, p. 235).

Associando sua experiência às observações feitas por pesquisadores da área da saúde, Carson supôs que o DDT, assim como outros inseticidas, poderia ser maléfico à saúde dos seres vivos por serem cumulativos, podendo levar a mortes. De acordo com Carson (1962):

Isto realmente não é surpreendente. A química normal do ser humano é apenas uma relação de causa e efeito. Por exemplo, a quantidade de iodo é tão pequena que dois miligramas traduzem a diferença entre saúde e doença. Por causa das pequenas quantidades de pesticidas cumulativamente estocadas e somente vagarosamente eliminadas, o envenenamento crônico, e as mudanças degenerativas do fígado e outros órgãos, são muito reais (Carson, 1962, p. 36).

Dessa forma, é fundamental ressaltar aqui a importância do trabalho de Rachel Carson, em especial o livro *Primavera Silenciosa* (*Silent Spring*, 1962). Essa obra, considerada um marco para o movimento ambientalista, chamou a atenção da opinião pública para os perigos relacionados aos pesticidas: produtos químicos poderiam ser perigosos à vida selvagem.

Com o tempo, acumularam-se evidências de que os danos ambientais não ficavam restritos ao entorno das indústrias ou das regiões agrícolas que usavam inseticidas: podiam se espalhar por regiões muito amplas. As moléculas produzidas pelos seres humanos passaram a integrar – e a perturbar – o ambiente. A identificação da reatividade dos CFCs na estratosfera levou ao conhecimento dos cientistas que essa perturbação poderia alcançar a escala do planeta como um todo. Para compreender o gradual processo que levou a essa tomada de consciência, é preciso considerar o desenvolvimento das técnicas analíticas que permitiram rastrear os CFCs na atmosfera, bem como o desenvolvimento de modelos teóricos para a reatividade do ozônio, conforme se verá a seguir.

2.2 - Identificação de CFCs na atmosfera

Ao longo do século XX, diversas técnicas analíticas foram inventadas e aperfeiçoadas. Dentre elas está a cromatografia. Inventada no começo do século XX, a cromatografia foi se desenvolvendo em técnicas cada vez mais sofisticadas, como a cromatografia gasosa. Isso gerou novos desafios técnicos: eram necessários sistemas de detecção mais eficientes para acompanhar a eficiência das separações. Nesse momento entra em cena um dos grandes ícones da ciência no século XX: o químico James E. Lovelock (1919 –). Com o propósito de quantificar lipídeos na membrana plasmática, Lovelock, no ano de 1957, construiu um novo detector para a cromatografia gasosa: o detector de captura eletrônica, ou ECD. Nessa aparelhagem, estão presentes uma fonte de partículas beta e um ânodo na saída da coluna cromatográfica. As partículas beta emitidas promovem a ionização do gás de arraste que emerge da coluna, resultando na formação de íons e elétrons. Esses elétrons migram para o pólo positivo, gerando uma corrente constante que é registrada como uma linha base. Quando uma amostra contendo átomos com elevada afinidade eletrônica sai da coluna, os elétrons são capturados por esses átomos, ocasionando uma rápida queda na corrente circulante (menos

elétrons atingem o ânodo), gerando um sinal proporcional à concentração do composto. Assim, essa técnica permite a identificação de concentrações muito pequenas de compostos, em especial de moléculas contendo átomos de halogênios e calcogênios.

A cromatografia gasosa com detecção por captura de elétrons logo foi utilizada para o estudo de um composto que fazia parte de embates científicos ambientais: o DDT. Assim, foram os dados gerados com o auxílio do detector ECD que deram credibilidade científica aos argumentos com pouca base empírica apresentados inicialmente por Rachel Carson em seu livro *Primavera Silenciosa* (Lovelock, 1981, p. 533; Carson, [1962] 2002; Wilson, [1962] 2002; Kroll, 2006).

Em outro estudo, Lovelock realizou várias medidas acerca da turbidez atmosférica, e delas inferiu que a diminuição da luminosidade na Grã-Bretanha poderia estar relacionada com os compostos lançados pelo ser humano na atmosfera. Considerando a constituição química dos pesticidas halogenados, que já haviam sido estudados, Lovelock concluiu que os CFCs na atmosfera poderiam ser identificados por técnicas análogas. Assim, em 1972, Lovelock identificou a presença de CFCs sobre os mares da Irlanda (Lovelock, 1972). Lovelock observou também que, conforme a direção dos ventos, os resultados de suas análises de CFCs podiam variar. Analisando esses resultados, Lovelock concluiu que essas variações resultavam de diferentes concentrações de CFCs nas regiões de onde esses ventos provinham. A coleta de gases em várias altitudes possibilitou a compreensão da variação da concentração desse poluente em relação à altitude. Além disso, cálculos envolvendo as concentrações de CFCs permitiram inferir que a quantidade de CFCs presente na atmosfera corresponderia praticamente a toda a quantidade de CFCs liberada no ambiente até então (Kirchhoff, 1994). Em princípio, Lovelock considerou essa informação como uma evidência de que os CFCs não ofereciam riscos. Todavia, o comportamento dos CFCs no ambiente era

sui generis, pois não se observara nenhum sorvedouro natural no qual esses gases, produzidos pela ação antrópica, fossem decompostos.

Em reunião conjunta de químicos e meteorologistas em 1972, F. Sherwood Rowland, da Universidade da Califórnia, ficou intrigado ao conhecer a pesquisa de Lovelock. Especialista em cinética química e fotoquímica, Rowland imaginou que os CFCs não poderiam permanecer inalterados para sempre na atmosfera. No ano seguinte, ele e Mário Molina, então um pós-doutorando, lançaram-se a rastrear a perambulação dos CFCs pela atmosfera. Perceberam que os CFCs, estáveis na troposfera, podiam ser decompostos pela radiação ultravioleta da estratosfera (Storlarki e Cicerone, 1974). Nessa situação, esses compostos geram átomos de cloro, que reagem rapidamente com as moléculas de ozônio.

Para entender como os átomos de cloro interagem com o ozônio, faz-se necessária maior compreensão acerca da formação e decomposição do ozônio na estratosfera. Sendo assim, alguns mecanismos que envolvem esse ozônio serão esclarecidos a seguir, para que depois possamos voltar a enfocar a questão dos CFCs.

3 - Os CFCs como vilões ambientais

3.1 - Teorias relacionadas com a manutenção do ozônio estratosférico

3.1.1 - O mecanismo de Chapman

Há séculos, balões e pipas vêm sendo empregados na exploração atmosférica (Fabry, 1950). Esses dispositivos foram úteis, em especial, para as primeiras medidas de temperatura em relação à altitude. Já no século XIX, o desenvolvimento de técnicas espectroscópicas permitiu aos cientistas a realização de uma série de experimentos que alargaram as fronteiras do conhecimento. Dentre eles, pode-se citar os estudos sobre o espectro solar. Nesse contexto, Marie-Alfred Cornu percebeu, em 1879, a existência de lacunas no espectro solar, na faixa de 293 nm. Anos depois, Walter N. Hartley observou que o ozônio apresentava absorção no ultravioleta até 293 nm (Rowland, 2006). Aliando as suas constatações com as de Cornu, Hartley concluiu, em 1881, que a limitação da radiação solar ultravioleta que chegava à Terra era causada pela presença de ozônio na atmosfera. Seguiram-se então diversas tentativas para caracterizar a distribuição do ozônio na atmosfera. Para isso, foram utilizadas, especialmente, análises de caracterização do ozônio mediante o uso de iodeto de potássio. Não obstante a utilidade desses experimentos, o maior passo no estudo do ozônio na atmosfera só foi dado por Gordon Miller Bourne Dobson, no início da década de 1920: ele percebeu que medidas precisas na quantidade relativa da radiação solar ultravioleta, em diferentes comprimentos de onda, poderiam ser convertidas em estimativas da concentração de ozônio na atmosfera (Figura 4).

Figura 4 – Espectros obtidos por Dobson em duas datas distintas do ano de 1925 (Dobson e Harrison, 1925, p. 74).

No final da década de 1920, os resultados obtidos com o espectrômetro de Dobson, que podiam ser relacionados às linhas espectrais verdes obtidas por espectroscopia de emissão, indicavam a presença de oxigênio atômico em uma altitude aproximada de 100 km (Bates e Nicolet, 1950). Essa coloração verde era idêntica àquela produzida pelas auroras boreais e austrais. Esses dados sugeriam que os ventos solares (plasma com elevada temperatura, constituído basicamente por partículas alfa e elétrons), acelerados pelo campo magnético da Terra, estariam excitando átomos de oxigênio e promovendo a emissão da luz esverdeada.

Segundo os estudos de Sydney Chapman, publicados em 1930, a produção de ozônio na atmosfera não podia ser vinculada somente à radiação ultravioleta, pois os valores de O_3 observados no fim do inverno eram superiores àqueles observados no fim do verão (época de radiação mais intensa). Sendo assim, a “radiação dos corpúsculos solares”, cuja magnitude era totalmente desconhecida na época, foi apontada como a principal causa da alteração na produção de ozônio.

Relacionando as medidas do ozônio estratosférico à presença de átomos de oxigênio, Chapman produziu o primeiro modelo para explicar a formação e a decomposição do ozônio estratosférico, no qual constam as reações químicas listadas a seguir.

Chapman considerou que as reações 1 e 5 teriam um efeito desprezível (desse modo, essas reações poderiam ser desconsideradas), e que cada reação seria elementar. Depois de fazer isso, Chapman examinou o estado de equilíbrio para o seu modelo, de modo que nesse estado as taxas de variação de todas as espécies seriam zero.

Considerando o estado de equilíbrio proposto, a reação elementar 4 gera a maior quantidade de átomos de oxigênio disponíveis, os quais são rapidamente consumidos pela reação 2 ($k_2 \gg k_4$). Pode-se usar aqui a aproximação do estado estacionário:

$$d[\text{O}]/dt = 0 \quad \text{eq. I}$$

$$d[O]/dt = J_4.[O_3] - k_2.[O].[O_2] = 0 \quad \text{eq. II}^3$$

Como as reações 6 e 3 possuem velocidades praticamente iguais, pode-se escrever uma igualdade para as equações cinéticas:

$$J_6.[O_2] = k_3.[O].[O_3] \quad \text{eq. III}$$

Substituindo [O], obtida a partir da aproximação do estado estacionário, na eq. III, chegamos a uma expressão que relaciona a [O₃] com [O₂] e [M]:

$$[O_3] = \{(J_6 k_b / J_4 k_3) \cdot [O_2]^2\}^{1/2}$$

Tendo em vista que os átomos de oxigênio podem reagir com diferentes moléculas presentes no ar, em especial N₂, pode-se introduzir o termo [M] na equação final:

$$[O_3] = \{(J_6 k_b / J_4 k_3) \cdot [O_2]^2 \cdot [M]\}^{1/2}$$

3.1.2 - Debates pós-Chapman sobre o ozônio

³ As constantes de velocidade J, usadas em algumas equações cinéticas, são características de reações fotoquímicas (Steinfeld, 1989, pp. 150-151). O parâmetro J pode ser calculado através da expressão:

$$J_i = \int \Phi_i(\lambda) I_i(\lambda) \sigma_i(\lambda) d\lambda$$

onde:

$\Phi_i(\lambda)$: eficiência quântica para a fotodissociação;

$I_i(\lambda)$: intensidade da radiação solar;

$\sigma_i(\lambda)$: absorção na seção atravessada pela radiação.

Os números subscritos nas constantes indicam a respectiva reação a que se referem.

As discussões científicas que se seguiram aos estudos de Chapman acerca do ozônio estratosférico, bem como em torno de outras espécies, permaneceram ligadas à determinação de diferentes espécies químicas em várias altitudes e latitudes (em especial, nas altitudes estratosféricas) e ao desenvolvimento de modelos teóricos que explicassem a dispersão das espécies pela atmosfera. Nessas pesquisas, foguetes e dirigíveis desempenharam um papel de destaque no tocante à coleta de dados (Paneth, 1954).

Assim, a identificação de radicais hidróxi na estratosfera, por espectroscopia no infravermelho, possibilitou que Bates e Nicolet se aproximassem da idéia de interferência desses radicais na quantidade de ozônio estratosférico. Essa hipótese se tornou mais verossímil no final da década de 1950, época em que as constantes de velocidade das transformações químicas passaram a ser determinadas com mais precisão pela técnica de fotólise de pulso (*flash photolysis*). Os baixos valores das constantes associadas às decomposições do oxigênio e do ozônio pelo oxigênio atômico sugeriam que outras reações poderiam estar interferindo no mecanismo proposto por Chapman, conforme observou o cientista Paul J. Crutzen:

A primeira teoria quantitativa para o oxigênio ímpar (oxigênio atômico e ozônio) da alta atmosfera foi desenvolvida por Chapman [*em 1930*]... Por quase 30 anos, a teoria de Chapman, complementada por considerações sobre transporte, foi muito bem sucedida na descrição do comportamento temporal e espacial brutos do ozônio atmosférico... Entretanto, especialmente após determinações cuidadosas dos coeficientes de velocidade k_2 e k_4 ⁴ [*em 1957*], ficou claro que, para explicar as características do ozônio

⁴ Isto é, os coeficientes de velocidade para as reações:

e

na alta atmosfera, era necessário considerar reações adicionais que reduzem o ozônio atmosférico. (Crutzen, 1974, p. 1570.)

... apenas muito recentemente foram feitas medidas da constante de velocidade para a reação 12 [*i. e.*, $HO_2 + O_3 \rightarrow OH + 2 O_2$]. Experimentos em laboratório [*publicados em 1973*] indicam agora um valor de k_{12} na estratosfera entre 10^{-16} e 10^{-15} . Valores tão baixos para k_{12} não podem explicar as observações para o ozônio. (Crutzen, 1974, p. 1570.)

Diante dessa discrepância, B. G. Hunt (1966), chamou a atenção para a necessidade de uma teoria fotoquímica que desse conta do ozônio estratosférico:

[Os valores de constantes de velocidade relativos à formação e a destruição do ozônio] implicam, como consequência, que os esquemas de reações fotoquímicas normalmente considerados não estão adequados, e devem estar ocorrendo reações na atmosfera as quais têm sido negligenciadas. (Hunt, 1966, p. 88.)

Entre o final da década de 1960 e o começo da década de 1970, um debate em especial se desenvolveu na comunidade científica: a possível destruição da chamada camada de ozônio por aviões supersônicos, que voavam na estratosfera. Nesse sentido, a água formada pela queima de combustíveis na estratosfera poderia produzir radicais hidróxi via decomposição pela radiação ultravioleta.

Já no começo da década de 1970, Johnson (1971) chamou a atenção para a formação do óxido nítrico no motor desses aviões. Como Crutzen (1969) já havia demonstrado a possibilidade do óxido nítrico reagir com o ozônio, os aviões supersônicos voltaram a ser vistos como ameaças à camada de ozônio. Nessa perspectiva, segundo Crutzen (1974):

[*Para o ozônio, uma*] comparação mostra uma correspondência muito razoável entre as distribuições teórica e observada por Krueger *et al.*, sendo que os valores medidos são cerca de 10 a 20% menores acima dos 25 km,

região na qual a distribuição do ozônio é dominada pela fotoquímica... Isto poderia, portanto, indicar que a atual teoria fotoquímica para o ozônio estratosférico é satisfatória. Mas, muito mais medidas, especialmente da distribuição de partículas de NO_x na estratosfera, são necessárias para testar isso. (Crutzen, 1974, pp. 1571).

Desse modo, a compreensão dos mecanismos cinéticos, com a concomitante determinação das constantes de velocidades, não foi suficiente para a compreensão da química atmosférica em sua totalidade: foram necessários modelos teóricos que abarcassem a distribuição de partículas pela atmosfera. Nesse contexto, os processos de fotodissociação representaram um papel de destaque. Devido ao fato de esses processos serem dependentes da intensidade da radiação – sendo, conseqüentemente, dependentes da altitude – foi necessário o desenvolvimento de expressões matemáticas que incluíssem essa variável. Um dos modelos desenvolvidos foi o de *eddy diffusion*. Esse modelo, concebido para testar a credibilidade dos mecanismos propostos, mediante a comparação com os valores observados, é unidimensional e descreve a concentração do estado estacionário de um constituinte gasoso X pela equação (Crutzen, 1974, pp. 1571):

$$[\text{I}] \quad P_X - D_X + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K_z [\text{M}] \frac{\partial \mu_X}{\partial z} \right\} = 0$$

onde

P_X , D_X = velocidades de produção e destruição fotoquímica da espécie química X (molécula $\text{cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$);

z = altitude;

$[\text{M}]$ = concentração de moléculas de ar;

$\mu_X = [\text{X}]/[\text{M}]$ (razão de mistura das partículas da espécie X); e

$$[II] \quad K_z = \begin{cases} 10^4 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} & z \leq 50 \text{ km} \\ 10^4 \exp\{0.13(z - 50)\} & z > 50 \text{ km} \end{cases}$$

Analisando a Figura 5, percebe-se certa discordância entre as concentrações de ozônio calculada e medida em altitudes superiores a 25 km. Essa disparidade está diretamente relacionada com a participação da espécie química em questão em outras reações, que provocam a diminuição do valor de sua concentração.

Figura 5 – Valores calculados e medidos para concentrações de ozônio em diferentes altitudes (Crutzen, 1974, p. 1571).

Não obstante as diferenças assinaladas nos valores calculados e medidos para as concentrações de ozônio, os perigos da destruição do ozônio pelos aviões supersônicos foi objeto de discussões na Conferência de Estocolmo (1972).

3.2 - Os CFCs na destruição do ozônio estratosférico

Stolarsky e Cicerone (1974) destacaram o fato de átomos de cloro também apresentarem ação catalítica na destruição do ozônio estratosférico (Figura 6). Entretanto, considerou-se na época que os átomos de cloro seriam de origem natural, e que poderiam estar, intermediariamente, na forma de cloreto de hidrogênio (HCl).

Figura 6 – Ciclos catalíticos responsáveis pela destruição do ozônio (Phillips, 1999, p. 100).

Assim, no início da década de 1970, diante da insuficiência dos modelos existentes para explicar o comportamento do ozônio atmosférico, esta vertente de pesquisa se aproximou do estudo das propriedades dos CFCs. Foi constatado que o CFC-12 absorve intensamente no ultravioleta (Figura 7), e possui um tempo de fotodissociação na atmosfera que decresce conforme aumenta a altitude – ou melhor, de acordo com a variação da radiação UV (Tabela 4). Sendo assim, as moléculas de CFCs poderiam ser decompostas pela radiação ultravioleta, gerando os átomos de cloro responsáveis pela decomposição do ozônio estratosférico. Em

trabalho que se tornaria um marco para a química ambiental, Molina e Rowland (1974) observaram que o processo catalítico de decomposição do ozônio estratosférico envolvendo CFCs seria seis vezes mais rápido do que o processo que envolve os óxidos de nitrogênio ⁵.

Figura 7 – Espectro de absorção do CF_2Cl_2 (Rowland e Molina, 1975, p. 5).

⁵ Considerando-se as reações paralelas:

São propostas as equações cinéticas:

$$-d[\text{NO}]/dt = k_1 \cdot [\text{NO}] \cdot [\text{O}_3]$$

$$-d[\text{Cl}]/dt = k_2 \cdot [\text{Cl}] \cdot [\text{O}_3]$$

Segue-se que:

$$d[\text{NO}]/d[\text{Cl}] = k_1/k_2 \cdot [\text{NO}]/[\text{Cl}]dt$$

Integrando ambos os termos, obtém-se:

$$\ln [\text{NO}]/[\text{NO}]_0 = k_1/k_2 \cdot \ln [\text{Cl}]/[\text{Cl}]_0$$

que permite a determinação de k_2 .

Altitude, km	CF ₂ Cl ₂ Lifetime, s	CFCl ₃ Lifetime, s
10	1.2×10^{14} (4×10^6 yr)	8.9×10^{22} (3×10^6 yr)
20	2.1×10^8 (66 yr)	2.1×10^6 (6.6 yr)
30	2.9×10^7 (11 months)	3.4×10^5 (1.3 months)
40	3.3×10^6 (1.3 months)	4.0×10^4 (4.7 days)
50	1.4×10^6 (16 days)	1.8×10^4 (2.1 days)
Top of atmosphere	3.0×10^5 (3.5 days)	5.3×10^3 (15 hours)

Tabela 4 – Tempo médio de fotodissociação do CF₂Cl₂ e do CFCl₃ em várias altitudes (Rowland e Molina, 1975, p. 10).

Com o intuito de resumir as relações entre as diferentes ideias a respeito dos mecanismos de destruição catalítica do ozônio, elaboramos o mapa conceitual apresentado na Figura 8. Nele, pode-se perceber a interconexão entre as propostas dos vários ciclos catalíticos de destruição do ozônio estratosférico, e destaca-se a necessidade de um modelo teórico – como o de *eddy diffusion* – para testar a confiabilidade dos processos envolvidos.

Figura 8 – Mapa conceitual representando as relações entre os ciclos catalíticos propostos para explicar o comportamento do ozônio estratosférico.

O mecanismo proposto por Rowland e Molina para explicar a destruição do ozônio estratosférico foi inicialmente recebido com reservas, não se tendo constituído imediatamente um consenso em torno da ameaça representada por esse fenômeno. Até 1978, os únicos dados que apontavam para a real possibilidade da destruição do ozônio pelos CFCs eram as medidas realizadas na estratosfera por Lovelock. De acordo com Laszlo (2006), a reação inicial da indústria química, e que se estendeu por mais de uma década, foi de contrariedade e de obscurantismo – incluindo tentativas de destruir a credibilidade dos cientistas que fizeram esses estudos. Pesquisadores e ambientalistas denunciaram a posição adotada pela indústria, e argumentaram que era necessário abolir o uso dos CFCs. Esse conflito ficou conhecido como a Guerra do Ozônio, e perdurou até final da década de 1980.

Em 1985, cientistas do levantamento Antártico Britânico chocaram a comunidade científica – e, a partir daí, a opinião pública mundial – com seu trabalho sobre a maciça destruição do ozônio estratosférico sobre a Antártida, a qual ocorria desde o final da década

de 1970 (Seinfeld e Pandis, 2006). O processo cinético de destruição envolve a formação de moléculas de cloro na superfície das nuvens durante o inverno, as quais são fotolizadas pela radiação ultravioleta por ocasião da primavera, gerando radicais cloro que atuam sobre o ozônio estratosférico (vide Figura 9, a seguir). Esse fenômeno, ao ganhar repercussão e notoriedade na imprensa, tornou-se popularmente conhecido como o “buraco na camada de ozônio”.

Figura 9 – Sumário das reações químicas envolvidas na diminuição do ozônio Antártico (Phillips, 1999, p. 100).

A diminuição constante da quantidade de ozônio estratosférico acompanhava o crescimento da quantidade de CFCs na atmosfera. Até 1987, a taxa de CFCs na troposfera crescia com velocidade superior a 1,5 megatoneladas por ano (Phillips, 1999). Nesse ritmo de destruição, o número de casos de câncer de pele na população mundial poderia aumentar assustadoramente (Framan, p. 76). Diante de dados tão alarmantes, e do acúmulo de

observações de cientistas que corroboravam esses modelos, foi assinado o Protocolo de Montreal (1989). Por intermédio desse acordo, cento e oitenta países, dentre os quais o Brasil, estabeleceram metas para reduzir a produção e o consumo dos CFCs nas suas várias utilizações (Tabelas 5 e 6).

Data	Redução da produção e consumo para CFCs
1 de janeiro de 1993	100% do nível de 1986
1 de janeiro de 1994	25% do nível de 1986
1 de janeiro de 1995	25% do nível de 1986
1 de janeiro de 1996	0% (exceto para usos essenciais)

Tabela 5 – Cronograma de substituição de CFCs e HCFCs previsto no Protocolo de Montreal – Revisão de Copenhague (Peixoto *et al.*, 1993, p. 378).

Em relação à região	Em relação à utilização
América do Norte: 35%	Aerossóis: 28%
Europa Ocidental: 32%	Espumas: 26%
Ásia e Pacífico: 18% (Japão: 12%)	Refrigerantes: 23%
Europa Oriental: 11%	Solventes: 21%
América Latina: 3%	Outros: 2%
África: 1%	

Tabela 6 – Utilização mundial de CFCs antes do Protocolo de Montreal (Peixoto *et al.*, 1993, p. 381).

Assim, com o Protocolo de Montreal, os CFCs, que até o começo da século XX eram vistos como inócuos, passaram a ser consensualmente vistos como uma ameaça à vida na Terra: testados *in vivo* não registraram nenhuma toxicidade, enquanto que, dispersos pelo ambiente, foram configurados como potenciais destruidores da camada de ozônio. Essas diferentes percepções estão relacionadas com a maneira como a sociedade enxerga os riscos. Compreender a construção social dos riscos ambientais é parte importante do processo de

investigação das diferentes posições que estiveram em jogo na Guerra do Ozônio. Na segunda parte desta tese, enfocamos essa construção considerando publicações em periódicos científicos e livros didáticos de química ambiental da época.

Com o propósito de resumir o estudo de caso acerca dos CFCs, discutido até aqui, foi elaborado o diagrama representado na Figura 10.

Figura 10 – Diagrama-resumo do estudo de caso “Ascensão e Queda dos CFCs”.

Parte 2 - Discussão do Estudo de Caso em Periódicos e Livros de Química Ambiental

4 - A Sociedade do Risco Global

As sucessivas ameaças ao meio ambiente, geradas pela ciência e tecnologia, desencadeiam situações de alto risco e elevada incerteza. Diante dessa nova perspectiva de risco, a qual pode ameaçar a sobrevivência da humanidade independentemente da sua vontade, Beck supôs que uma nova sociedade se formara no início da década de 1970: a Sociedade do Risco Global. Nessa Sociedade, todos os seres humanos estariam sujeitos a riscos ambientais de origem antrópica. A organização da 1ª Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente em 1972 – realizada na cidade Estocolmo pela ONU – evidencia indícios que apontam para a estruturação desse novo tipo de Sociedade. Nesse contexto, o risco global deve ser entendido como um fenômeno construído socialmente. Pesquisas sobre o comportamento humano indicam que as pessoas, diante de situações de risco, tendem a focar

o pior cenário, e não a probabilidade de um evento ocorrer (Sustein, 2005). É importante ressaltar que os riscos não são aqui designados como um sinônimo de toxicidade: uma substância pode ser extremamente tóxica e, ao mesmo tempo, apresentar um baixo risco social, em virtude de as pessoas estarem pouco expostas a essa substância (Blumberg, 1994). Nessa perspectiva, quando um risco está relacionado a um perigo concreto, define-se o Princípio da Prevenção. Todavia, em alguns casos, os riscos podem ser não avaliáveis. Para lidar com esse tipo de situação, Jonas (1979) definiu o chamado Princípio da Responsabilidade, através do qual a ética passa a assumir, inexoravelmente, uma dimensão ligada à sustentabilidade. Mais recentemente, o Princípio da Responsabilidade passou a ser denominado Princípio da Precaução, sendo utilizado para discutir as consequências do avanço tecnológico (incluindo as questões ambientais):

Quando atividades podem conduzir a dano moralmente inaceitável [dano que coloque a saúde das pessoas e o meio ambiente em risco], que seja cientificamente plausível, ainda que incerto, devem ser empreendidas ações para evitar ou diminuir aquele dano. O juízo de plausibilidade deve estar fundado em análise científica. As análises devem ser contínuas, de modo que as ações escolhidas sejam submetidas a revisão. “Incerteza” pode ser aplicada, mas não precisa se limitar à causalidade ou aos limites do dano possível. “Ações” são intervenções empreendidas, antes que o dano ocorra, que buscam evitar ou diminuir esse dano. Devem-se escolher ações que sejam proporcionais à seriedade do dano potencial, com consideração de suas consequências positivas e negativas, e com uma avaliação tanto da ação como da inação. A escolha da ação deve ser o resultado de um processo participativo (Comest, 2005, p. 14).

Dessa maneira, o Princípio da Precaução recomenda que, antes de implementar inovações tecnocientíficas, sejam tomados cuidados: pesquisas minuciosas devem ser

conduzidas no sentido de se buscar que potenciais riscos sejam minimizados (Lacey, 2006). É importante ressaltar que o Princípio da Precaução é alvo de crítica de cientistas, sendo considerado, supostamente, como um entrave ao progresso e a investigação científica. Lacey discorda desse tipo de argumentação, vinculando o Princípio da Precaução a valores muito prezados pela comunidade científica (imparcialidade, neutralidade e autonomia), e destacando esse princípio como “um antídoto à subordinação da pesquisa científica aos valores do progresso tecnológico, assim como aos valores do capital e do mercado que reforçam sua proeminência social”.

Obedecer aos ditames de uma ética ligada às questões ambientais é, para muitos, o único caminho para a preservação da humanidade. De acordo com Liebmann (1972):

Até este momento, a humanidade conseguiu superar todos os perigos que ameaçavam a sua preservação. Ao proibir o emprego da bomba atômica, ela conseguiu, pelo que se espera, até mesmo manter sobre controle esse dubio produto da ciência humana. No entanto, foi mais fácil que se conseguisse banir a bomba atômica, do que impor o fim da poluição ecológica do solo, das águas e do ar. O impacto causado no mundo, pelo conhecimento da destruição provocada pelo lançamento da primeira bomba atômica, alarmou as pessoas mais do que os danos sutilmente introduzidos, e que ele – o mundo – vem sofrendo devido à falta de uma defesa ecológica adequada. Porém, deve dar o que pensar o fato de que cresce continuamente o número de biólogos que vaticinam a vingadora catástrofe ecológica, cujos efeitos são incomparavelmente piores do que todas as bombas atômicas lançadas até hoje. (Liebmann, 1972, pp.10-11).

Vale ressaltar ainda que o Princípio da Precaução é um dos princípios fundamentais do Direito Ambiental. Sendo assim, na inexistência de norma jurídica sobre um determinado

assunto e/ou na falta de comprovações científicas, esse princípio deve ser aplicado para que possíveis danos ambientais sejam evitados (Brito e Brito, 2013).

Dessa forma, é primordial focarmos primeiramente o contexto que possibilitou a aceitação social de riscos ambientais, como, por exemplo, os riscos que podem ser oferecidos pelos CFCs. As modificações sofridas pela ciência química, responsável pelo estudo da natureza dos materiais e pelas suas transformações, se mostram essenciais para a compreensão do envolvimento da comunidade química com as questões ambientais.

5 - Os químicos na Sociedade do Risco Global e a química ambiental

Com o objetivo de entender como a comunidade química se apropriou das mudanças inerentes à Sociedade do Risco Global de Beck, vamos destacar editoriais de periódicos e a livros didáticos de Química Ambiental com data de publicação variando do fim da década de 1960 até o início da década de 1970. Levando em conta a relevância conquistada pelas questões ambientais na década de 1970, o período que compreende essa década se caracteriza como uma excelente fonte de pesquisa para a compreensão das discussões da comunidade química sobre as questões ambientais.

Fundada no ano de 1967, a revista *Environmental Science and Technology* (publicada pela *American Chemical Society – ACS*) destaca em seu primeiro editorial a importância da química como antídoto à poluição, bem como os objetivos que levaram à fundação do periódico:

A Química tem papel decisivo na compreensão dos ambientes aquático, aéreo e terrestre, e na prevenção da sua degradação. A Divisão de Química da Água, Ar e Resíduos da ACS tem feito esforços significativos nos últimos anos, através de programas de pesquisas e simpósios, para estimular a

aproximação da química da qualidade da água natural, dos fenômenos de poluição do ar e dos seus controles, e da tecnologia doméstica e industrial do tratamento da água e dos efluentes. Esforços bem sucedidos no desenvolvimento de simpósios de pesquisas entre a Divisão de Química da Água, Ar e Resíduos e outras divisões da ACS (Química de Colóides e Superfície, Química Agrícola e de Alimentos, Educação Química), e na organização de programas multidisciplinares com suas próprias divisões, têm mostrado a interdependência do conhecimento de pesquisa da química e de outras disciplinas diretamente ou indiretamente relacionadas com a qualidade ambiental.

Como uma revista de pesquisa em química, *Environmental Science and Technology* aponta para as várias relações da química, e entre a química e outras ciências, as quais têm sido encorajadas a cooperar com a Divisão de Química da Água, Ar e Resíduos da ACS. Como cientistas, estamos reconhecendo mais e mais que o exercício da previdência ecológica face aos avanços tecnológicos não pode ser apoiado somente em um campo da ciência. A biosfera e os ambientes terrestre, aéreo e aquático estão de alguma forma ligados uns com os outros. O papel e o significado da química no estudo e controle do meio ambiente estão sempre ligados às outras ciências físicas, biológicas e sociais.

Na publicação dos trabalhos de pesquisa, *Environmental Science and Technology* terá um interesse particular nos avanços da química e tecnologias químicas em relação à compreensão do meio ambiente natural e controle da poluição ambiental. Também focará na relação da química com as outras áreas da ciência e tecnologia que contribuem significativamente para a compreensão e controle do ambiente pelo homem. A revista publicará revisões críticas dos trabalhos de pesquisa que tenham importância científica e contribuições tecnológicas para nossa compreensão em todas as áreas

relevantes dentro de um largo campo de ciência e tecnologia ambiental. As páginas de pesquisa são então devotadas a todos os aspectos da química ambiental, e, especialmente, à química da água, ar e resíduos, e os significados quimicamente relacionados com os trabalhos de pesquisa de outros campos, tais como biologia, ecologia, economia, meteorologia, climatologia, hidrologia, geoquímica, limnologia, toxicologia, engenharia biológica, ciências médicas, ciências marinhas, e ciências do solo, assim como estes podem contribuir diretamente com o aumento da compreensão e controle do homem na natureza.

A compreensão científica do meio ambiente, e o desenvolvimento das tecnologias químicas para o controle ambiental, não estão finalizados. O grande objetivo é o benefício do homem. A sociedade deve decidir, sob a luz das melhores informações que a ciência puder fornecer, qual o tipo de ambiente que ela almeja. Questões significativas de economia e política estão envolvidas nessas questões. Para essas questões, além dos trabalhos de pesquisa, revisões e comunicações, *Environmental Science and Technology* trabalha para manter seus leitores lado a lado com importantes desenvolvimentos técnicos, econômicos e políticos, e conterà pontos de vista técnicos individualmente qualificados a partir de campos diferenciados para o significado de problemas e políticas ambientais. (Morgan, 1967, p.5.).

Como se vê, o editorial destaca a centralidade da química no processo de compreensão e proteção do ambiente sob uma perspectiva multidisciplinar, que abrange não apenas as ciências da Natureza, mas também dimensões políticas e sociais de maneira ampla. Ou seja, os químicos se colocam em posição de grande responsabilidade diante dos problemas ambientais de seu tempo. Outro periódico que iniciou suas atividades nessa época é o *Chemosphere* (1972). Em seu primeiro editorial, Larsen destaca a poluição de origem química:

Nossos problemas e potenciais problemas estão sempre diante de nós: mercúrio nos peixes, fosfatos nos detergentes, pesticidas no meio ambiente, chumbo no ar, gás carbônico e particulados produzindo uma nova era do gelo ou fazendo com que a Terra fique intoleravelmente mais quente, dióxido de enxofre e morte, monóxido de carbono e acidentes automobilísticos ao volante. (Larsen, 1972, pp.59).

Ainda nessa época, outros periódicos ligados à área de química passaram a destacar as questões ambientais em seus exemplares. Por exemplo, um editorial do ano de 1970, presente no periódico *Chemical & Engineering News* (11 de maio, p.5) apresenta uma carta enviada por uma criança de cinco anos, pedindo “por favor, parem de poluir nosso ar”. Dessa maneira, conforme exemplificado pela frase desse pequeno garoto, fica claro que os debates ambientais estavam atingindo uma grande parte da sociedade, em diversas faixas etárias, gerando preocupações entre os químicos, que reconheciam suas responsabilidades diante dessas questões.

Os livros didáticos de Química Ambiental, os quais surgem a partir da segunda metade da década de 1960⁶, também fornecem informações acerca do engajamento da comunidade química frente às questões do ambiente:

Os protagonistas no drama das perturbações provocadas pelo homem são químicos. As regras para jogar [*i. e., para entender as perturbações ambientais*] são as regras da química. (Giddings, 1973, p.5.)

Discutir sobre a própria natureza da química ambiental é importante nesse momento, tendo em vista que o senso comum estabelece uma dicotomia estrita entre o natural e a

⁶ Mais adiante, nesta tese, serão analisados livros didáticos de Química Ambiental, no que se refere à questão dos CFCs e dos riscos associados a essas substâncias. Em especial, destaca-se a relação desses compostos com a decomposição do ozônio estratosférico.

química. Em busca de entender a razão para esse fato, é necessário olhar para o desenvolvimento da química no século XX. Segundo Coley e Wilmot (2000), a indústria química foi a grande responsável pela vinculação da química a atributos negativos:

A indústria química nesse período estava totalmente engajada no processo de aplicação da ciência e da tecnologia para o desenvolvimento de materiais que pensamos ser essenciais para o progresso, inventando novos compostos e melhorando os antigos, criando uma dependência real dos produtos químicos de diversas formas. Devido a este fato, a percepção social de produtos químicos é, de maneira geral, ruim. Eles são largamente lembrados por apresentarem odores desagradáveis, serem venenosos e perigosos. Esta visão tende a ser promovida pela mídia, especialmente pela pressão popular, quando a expressão “produto químico” é sempre precedida pelo adjetivo perigoso, até mesmo quando as substâncias químicas envolvidas são inócuas – ou mesmo quando elas são de origem totalmente natural! (Coley e Wilmot, 2000, p. 319.)

Devido a essa situação, os químicos e a própria química passam a ser questionados:

A química atualmente atravessa graves problemas. Sua imagem tem se tornado relativamente sombria, mesmo nas mentes de alguns químicos. Os métodos correntes de ensino da química são severamente atacados, mesmo por outros cientistas e engenheiros; e os estatutos dos objetivos da pesquisa química parecem sempre estabelecidos para fazer as mesmas coisas e tudo novamente. (Hammond, 1971, p. 25.)

Nesse sentido, percebe-se que uma das principais preocupações dos químicos da primeira metade do século XX era sintetizar novos compostos. Critérios estabelecidos pelos químicos classificam os compostos como naturais ou artificiais, o que pode implicar, para alguns, em reduzir a Natureza a uma série de compostos químicos. Essa visão está relacionada com uma visão estática da matéria.

Além da visão estática, a criação de novas moléculas – principal atividade dos químicos –, mimetizando a natureza, pode caracterizar a presença de outra visão de Natureza sob o ponto de vista da química, denominada de teleológica:

Quanto ao mundo material, a noção teleológica da natureza afirmaria que todo seu desenvolvimento é governado por objetivos e fins pré-existentes. É uma questão filosófica se fins desse tipo poderiam ser empregados em explicações científicas ou não, e se conceitos funcionais como a adaptação de espécies estariam ou não na teoria da evolução, ou como conceitos físicos envolvendo princípios de ações mínimos ou regras selecionáveis se referem de fato a fins pré-existentes. Todas essas questões filosóficas sérias sobre teleologia deveriam ser bem distinguidas da noção teleológica vulgar da Natureza como um agente quase-personalizado com certas intenções fins, que vêm acompanhando a química desde a primitiva alquimia⁷. (Schummer, 2003, pp.726-726.)

Uma exemplo da visão teleológica da Natureza, expressa por um químico do século XX, é oferecido em trabalho de Schummer (2008):

... através de suas sínteses, ele [*i.e.*, o químico] quer reproduzir os compostos químicos criados pela Natureza; mas ele também quer compreender e imitar o seu mecanismo de formação, o desenvolvimento desses corpos nas células vivas; além disso, ele quer e é capaz de superar a Natureza pelas substâncias produzidas não criadas pela Natureza...

⁷ A relação entre alquimia e química não é contínua como sugere Schummer. Para uma abordagem do ponto de vista da contemporânea historiografia da ciência, vide *Da Alquimia à Química*, de Ana M. Alfonso-Goldfarb (1987).

[A] Química pode ser a ciência que imita e faz frente à Natureza, no que diz respeito à criação de substâncias orgânicas... (Paul Walden, 1941; *apud* Schummer, 2008, p.723.)

Diferentemente da química, a física e a biologia retratariam seus objetos de estudo de maneira a destacar suas mudanças inerentes (Schummer, 2008). Assim, enquanto a química estaria focada na identificação e caracterização de substâncias, sejam elas novas ou já conhecidas, a física e a biologia possuiriam interesses sistêmicos como, por exemplo, a queda livre de um corpo ou a reprodução vegetal. De acordo com essa peculiar interpretação, a física e a biologia apresentariam uma visão dinâmica da Natureza.

Como foi discutido, a partir da segunda metade do século XX, aumentam os casos de intoxicações e mortes causadas por compostos químicos lançados no ambiente. Vista, nas primeiras décadas do século, como provedora do progresso, a ciência química passou a ser vista como a grande responsável pelo colapso natural dos tempos modernos. A sociedade, até então tecnológica, passou a ser dominada pelos riscos inerentes aos compostos químicos; afinal, “foi mais fácil conseguir que se banisse a bomba atômica do que impor o fim da poluição ecológica do solo, das águas e do ar” (Liebmann, 1972, p. 10).

Observando atentamente os editoriais de revistas e prefácios de livros didáticos de Química Ambiental do começo da década 1970, percebe-se a tentativa de muitos químicos de se aproximarem das questões relativas ao ambiente. Para isso, foi inevitável uma mudança da própria natureza dessa ciência: a química passou a exigir também uma visão dinâmica, ou seja, considerar que, na Natureza, os compostos químicos podem reagir de inúmeras maneiras, podendo causar efeitos imprevisíveis. A adoção dessa visão passa necessariamente pela mudança de princípios éticos, já que a toxicologia ambiental dos novos compostos deve ser considerada. Dessa maneira, o desenvolvimento da química ambiental no final do século XX reflete preocupações subjacentes ao Princípio da Precaução. Preocupando-se não somente com a identificação dos compostos do e no ambiente, a química passa a ter uma dimensão

dinâmica, assim como as outras ciências da Natureza. Logo, apesar de as dimensões estática e teleológica da química não terem sido extirpadas, estas passam a se relacionar com uma dimensão dinâmica construída pela química ambiental.

Nesse cenário em que a química ambiental foi sendo construída, os CFCs merecem destaque. Sua associação com o ozônio estratosférico, proposta e discutida na década de 1970, reflete a transição de uma química vinculada à síntese e à caracterização de compostos para uma química atenta às perturbações ambientais causadas pelo ser humano. Considerando esse processo, a abordagem dos episódios relativos às relações entre CFCs e ozônio estratosférico em periódicos científicos e em livros didáticos de química ambiental, no período compreendido entre 1970 e 1990, será enfocada a seguir.

6 - Investigação acerca dos riscos relacionados aos CFCs em periódicos e em livros didáticos de química ambiental

6.1 - Apresentação

Artigos publicados entre a década de 1950 e o começo dos anos 1970 evidenciam um pequeno número de químicos presentes aos congressos ligados à poluição atmosférica. Apesar do pequeno número de interessados até então, os químicos atmosféricos adquiriram papel de destaque na percepção de que a camada de ozônio estratosférica podia estar sujeita à ação antrópica. Essa noção provém do final da década de 1960, e teve origem em ideias que buscavam investigar a periculosidade dos resíduos dos aviões supersônicos na estratosfera. A química atmosférica passou a se desenvolver como área da química, estando relacionada à cinética química, aos cálculos computacionais e às técnicas instrumentais de identificação. No tocante à chamada “Guerra do Ozônio”, como foram denominados por Lydia Dotto os

embates envolvendo os CFCs até o final da década de 1980, esta contou com a participação de químicos atmosféricos ao lado de ambientalistas, todos reivindicando a redução e o banimento do uso dos CFCs. Nesse sentido, é interessante discutir como os químicos lidaram com as percepções de risco relacionadas aos CFCs.

Dessa maneira, foram escolhidos cinco periódicos que apresentassem espaços para que opiniões – fossem elas dos editores, de leitores ou de personalidades convidadas – fossem manifestadas. Assim, foram selecionados para análise três periódicos publicados por divisões da *American Chemical Society* (*Chemical & Engineering News*, *Journal of Chemical Education* e *Environmental Science and Technology*), e dois outros periódicos com grande circulação dentro da comunidade científica (*Nature* e *Science*) – conjunto considerado representativo de químicos e outros cientistas envolvidos nos debates do período.

Como critério de classificação, foi escolhida a Teoria Cultural proposta por Douglas e Wildavsky (1982). Essa teoria sugere a existência de quatro visões de mundo distintas: a individualista, a igualitária, a fatalista e a hierárquica. Cada uma dessas visões corresponde a uma estrutura social e a uma percepção particular de risco, de modo que as mesmas são definidas por dimensões denominadas rede e grupo (Figura 11). A dimensão “rede” define o grau com que os indivíduos estão vinculados ao seu papel social. Em situações nas quais a estrutura hierárquica entre os membros é sólida e bem definida, a dimensão rede é alta. A dimensão “grupo” está relacionada ao sentimento de pertencer a uma unidade social, ou à solidariedade entre os participantes de uma unidade social.

		<i>Rede</i>	
		alta	
<i>Grupo</i>	baixa	fatalista	hierárquica
			alta
		individualista	igualitária
		baixa	

Figura 11 – Modelo de rede-grupo de Douglas e Wildavsky (1982, *apud* Oltedal *et al.*, 2004, p.19).

A visão de mundo hierárquica se configura quando as dimensões grupo e redes são elevadas. É caracterizada pela confiança na autoridade e no regulamento: os riscos existem quando são reconhecidos pelas autoridades. Nas cartas analisadas, a visão hierárquica é denotada quando seus autores alegam a necessidade de um consenso científico e de experimentos cruciais para que as hipóteses da destruição da camada de ozônio, e até da formação de um “buraco” na camada de ozônio, fossem aceitas; ou então, quando os autores resumem suas cartas aos argumentos científicos. Não possuem posição própria definida acerca do banimento imediato dos CFCs: podem ser contrários ou favoráveis, dependendo de quais evidências científicas consideram mais relevantes acerca dessa questão.

A visão de mundo igualitária resulta de uma dimensão de rede baixa e dimensão de grupo elevada. Essa visão de mundo é típica de membros de associações como as Organizações Não Governamentais (ONGs), nas quais todos os membros são praticamente iguais dentro de uma hierarquia pouco rígida. É típico desses indivíduos um elevado comprometimento com os ideais e princípios de suas associações, fato traduzido por veementes protestos contra os agentes causadores do impacto, sejam eles de cunho social,

econômico ou ambiental. Esta visão está muito relacionada com o que viria a ser chamado de Princípio da Precaução (Lacey, 2006).

A terceira visão de mundo a ser discutida é a individualista, a qual é caracterizada pelas dimensões de rede baixa e de grupo também baixa. Para os indivíduos que compartilham dessa visão, os seus interesses pessoais, movidos pela competição de mercado, sobrepujam os interesses da coletividade. Fica clara, nesse grupo, uma visão utilitarista dos recursos naturais, ou seja, da natureza como fonte, na maioria das vezes inesgotável, de matérias-primas. Dessa maneira, os possíveis riscos atrelados aos CFCs não deveriam inibir a sua produção, já que são vários os benefícios propiciados por esses compostos.

A quarta visão de mundo descrita pela Teoria Cultural é denominada fatalista, a qual se caracteriza pela dimensão de rede elevada e dimensão de grupo baixa. Os fatalistas apresentam em comum um sentimento de falta de controle sobre o mundo. Assim, como a Natureza seria imprevisível, os seres humanos não teriam muito o que fazer diante de possíveis riscos.

A Tabela 7 resume a linha de argumentação característica de cada uma das quatro visões de mundo, propostas pela Teoria Cultural, diante das percepções de risco associadas à destruição do ozônio estratosférico. É importante ressaltar que a classificação dos textos analisados foi feita com base na percepção de risco predominante em cada um. Assim, nos casos em que se observou a presença de concepções distintas em um mesmo texto, a classificação foi feita em apenas uma das quatro visões, considerando-se somente a percepção associada ao argumento central.

Fatalista	Hierárquica
<ul style="list-style-type: none"> • Não há nada a fazer; • Não temos controle sobre a Natureza (nem para o bem, nem para o mal). 	<ul style="list-style-type: none"> • Consideram a opinião dos cientistas que querem a proibição dos CFCs, pois a Natureza tem um limite; ou • Consideram a opinião dos cientistas que não querem a proibição, pois a Natureza pode cuidar de si mesma.
Individualista	Igualitária
<ul style="list-style-type: none"> • Não se pode proibir; proibição é ameaça à liberdade; • A Natureza cuida de si. 	<ul style="list-style-type: none"> • Duvidam dos cientistas que dizem não haver perigo; • A Natureza é frágil; • É preciso proibir os CFCs se há risco para as gerações futuras.

Tabela 7 – Diferentes percepções dos riscos associados aos CFCs e à destruição da camada de ozônio, associadas às quatro visões de mundo descritas pela Teoria Cultural.

Considerando as visões de mundo aqui descritas, passaremos agora a utilizá-las para a análise dos periódicos e dos livros didáticos de Química Ambiental.

6.2 - Análise dos periódicos

6.2.1 - Análises dos periódicos publicados por divisões da *American Chemical Society* (*Chemical & Engineering News*, *Journal of Chemical Education* e *Environmental Science and Technology*)

6.2.1.1 - Periódico *Chemical & Engineering News* (1974-1991)

Dentre os periódicos das diferentes áreas da química aqui selecionados, apenas o *Chemical & Engineering News* apresenta cartas envolvendo discussões acerca da destruição do ozônio estratosférico. O primeiro editorial identificado sobre o assunto foi publicado em setembro de 1974, e a primeira carta em abril de 1975. Tomando por base que as discussões

acerca da “camada de ozônio” permearam as décadas de 1970 e 1980, foi fixado o ano de 1990 como data limite para a análise das cartas, editoriais e resenhas de livros. É importante ressaltar também que nesse período foram inúmeras as notícias veiculadas sobre o assunto, conforme se encontra tabulado no Apêndice A.

6.2.1.1.1 - Análise dos Editoriais

Foram analisados dez editoriais no total (Apêndice B). Como critérios de escolha dos editoriais, foram adotados dois parâmetros: 1) a compatibilidade com os temas da destruição do ozônio estratosférico e/ou dos riscos químicos; 2) citação nas cartas enviadas pelos leitores que tratam dos mesmos temas. Os editoriais selecionados seguem pelo menos um desses parâmetros.

Pode-se observar uma concentração de editoriais na década de 1970, sendo que sete desses editoriais foram assinados por Albert Plant, então editor da revista. Diante de uma situação em que ainda havia escassez de informações científicas sobre a destruição do ozônio, os editoriais de Plant registram opiniões que reforçam a imprudência em se banir os CFCs e os aviões supersônicos, ressaltando a importância comercial e social dessas invenções. Os editoriais apontam para um grande comprometimento com o conhecimento científico, e alguns deles destacam a necessidade de experimentos cruciais que fornecessem evidências inquestionáveis. Assim, pode-se dizer que os editoriais transparecem uma visão de mundo hierárquica, onde o estabelecimento de riscos ambientais depende de argumentos científicos.

6.2.1.1.2 - Análise das resenhas de livro

Ao longo do período selecionado foram publicadas cinco resenhas (Apêndice C) de livros que tratam, mesmo que indiretamente, da destruição da camada de ozônio estratosférica. Esses livros foram escritos para o grande público e, como característica

comum, seus conteúdos deixam transparecer uma visão de mundo igualitária. Assim, a possibilidade, ainda que não totalmente certa, de risco ambiental – por exemplo, a destruição do ozônio estratosférico pelos CFCs –, já seria suficiente para o banimento dos compostos causadores de uma perturbação, de acordo com essa posição cautelosa.

Entretanto, a opinião dos autores das resenhas nem sempre concorda com essa posição. Quando o resenhista é um cientista (Block, Cicerone), percebe-se que o escrutínio se alinha com a valorização das evidências científicas, deixando clara a visão hierárquica do autor da resenha. Por outro lado, as resenhas escritas pela jornalista Pamela Zurer refletem a valorização de interesses coletivos mais amplos, e as possíveis consequências que a destruição da camada de ozônio traria para a humanidade. Por exemplo, o título de uma dessas resenhas, “Sacrificing CFCs to save the Ozone Layer”, é bem ilustrativo dessa posição. Essas constatações não chegam a ser inesperadas, considerando o caráter mais hierárquico das instituições científicas, e o maior caráter igualitário do meio em que trabalham os jornalistas.

6.2.1.1.3 - Análise das cartas enviadas por leitores

Em razão do grande número de cartas publicadas sobre o tema no ano de 1990, foram consultados também os exemplares do ano de 1991. Observando a distribuição das cartas no período considerado, foi possível notar o predomínio de dois momentos distintos: o primeiro na segunda metade da década de 1970, decorrente dos trabalhos acerca da destruição da camada de ozônio (tanto pelos CFCs, quanto pelos aviões supersônicos), e o segundo caracterizado pelas discussões que se seguiram à identificação do “buraco” na camada de ozônio, no final da década de 1980. Uma descrição sucinta das cartas selecionadas pode ser vista no Apêndice D. Como critério de classificação, foi escolhido a Teoria Cultural proposta por Douglas e Wildavsky (1982).

Nas cartas analisadas, a visão hierárquica constituiu a maioria, pouco à frente da visão igualitária, abrangendo vinte cartas: V. E. Erlich (1975), W. F. Yates (1975), J.W.T. Spinks (1975), E.L. Lippert Jr (1976), A.L. Jones (1976), D. R. Lide Jr. (1977), M. J. Root (1977), H. W. Ellsaesser (1977), W. N. Maclay (1977), F.S. Rowland (1977), M.A. Johnsen (1979), B. P. Block (1979), D.H. Stedman (1979), M. J. Bigelow (1979), P. Bernhardt (1986), M. C. MacCracken (1988), J. H. Thiele (1989), P. A. Crammer (1989), S. F. Singer (1990), J. A. Johnson (1990). Dentro da visão hierárquica, estão incluídas posições que se alinham com os cientistas que consideravam a destruição da camada de ozônio pelo ser humano como sendo uma realidade; aquelas próximas às opiniões dos cientistas mais céticos quanto a essa influência; e também os indecisos, que estavam à espera de evidências mais robustas. Menções a autoridades científicas e ao domínio da Natureza pela ciência são recorrentes nessas cartas. Os seguintes fragmentos são representativos:

Estou intrigado com a lógica aplicada à questão de interesse atual sobre os efeitos destrutivos da clorofluorocarbonos frente à camada protetora de ozônio. Embora eu acredite que as provas concretas para apoiar a hipótese da destruição do ozônio sejam pequenas, eu estou disposto a admitir que isso possa acontecer. Mas é aqui que eu compactuo com os pessimistas.

Como a camada de ozônio se formou na atmosfera superior em um primeiro momento? Se a camada de ozônio é fina como a química propõe, a radiação ultravioleta não deveria penetrar mais facilmente? – produzindo uma maior incidência de câncer de pele, dizem alguns.

Talvez os clorofluorocarbonos das latas de aerossol não sejam os vapores mais saudáveis para nós estarmos respirando. Mas, se um item de comércio desta importância deve ser banido, que seja pela razão correta! [*i.e., não pela suposta destruição da camada de ozônio.*] (William N. Maclay, 25 de julho de 1977, p.2.)

... os europeus atualmente não [se pacionaram em] aceitar ou rejeitar a validade da teoria de Rowland e Molina, mas acredito que há tempo para desenvolver uma melhor posição científica antes dos eventuais controles que precisariam ser impostos caso a teoria se mostre correta. (B. Peter Block, 24 de setembro de 1979, p.5.)

O homem, com a ajuda da ciência, pode controlar seu ambiente. Vamos ser realistas e manter a prova na perspectiva correta. (Howard P. Moore, 19 de janeiro de 1976, p.5.)

A visão igualitária foi o segundo tipo que mais foi observado nessa amostra da comunidade química, totalizando dezoito cartas: G. F. Pollnow (1975), K.S. Pitzer (1975), L. Stein (1975), M. M. Renfrew (1976), J. Heicken (1976), F. Kaufman (1976), M. E. Olson (1976), S. Bendix (1978), H. R. Rutledge (1981), L. Y. Sadler (1988), D. Taber (1989), A. R. Kovnat (1989), A. A. Bar (1990), J. Osterloh (1990), E. M. Fashing Sr. (1990), J. W. Moore (1990), F.S. Rowland (1991) e T.P. Silverstein (1991). Nestas cartas, pode-se perceber claramente a preferência pelo banimento das fontes causadoras da redução do ozônio estratosférico diante dos eventuais efeitos negativos dessa perturbação (aumento da incidência da radiação ultravioleta e o consequente aumento dos casos de câncer). Frases como as citadas a seguir caracterizam a visão igualitária:

Químicos não deveriam ver os ambientalistas como se fossem inimigos: químicos querem compreender moléculas e sintetizar novas moléculas; os ambientalistas querem preservar a sustentabilidade e a saúde da Terra para as gerações futuras. (Silverstein, 29 de abril de 1991, p.3.)

Elssaesser assumiria os custos médicos dos casos de câncer adicionais se a falta de controle dos CFCs resultasse em um aumento da taxa de casos de câncer? (Selina Bendix, 1º, de maio de 1978, p.64.)

Dadas as terríveis consequências da destruição da camada de ozônio, posso entender o porquê de pessoas conscientes serem favoráveis ao banimento dos CFCs e substâncias relacionadas. (Alexander R. Kovnat, 25 de julho de 1989. p.135.)

A primeira possibilidade é a que está sendo proposta por muitos no momento presente, ou seja, proibição dos aviões supersônicos ou dos clorofluorometanos. Uma vez que a existência humana pode funcionar facilmente sem esses aviões supersônicos e sem clorofluorometanos, esta abordagem me parece atraente. (Julian Hecklen, 25 de outubro de 1976, p.5.)

Nossa preocupação com o ozônio parece ter provocado o esquecimento de outro perigo para a saúde associado ao uso de propelentes de clorofluorocarbonos, isto é, a sua decomposição em produtos tóxicos em contato com chamas e objetos quentes. Esta pode ser uma causa de doença pulmonar e, portanto, pode ser tão importante como a exposição ultravioleta. (Lawrence Stein, 22 de setembro de 1975, p.74.)

A visão de mundo individualista foi observada em treze das cartas enviadas a *Chemical & Engineering News* pela comunidade de químicos: A. N. Kay (1975), C. S. Booz Jr. (1975), H. P. Moore (1976), J. W. Robbins (1976), P. B. Slawter (1977), J. P. Lodge Jr. (1977), G. Gruebwald (1987), R. A. Beck (1989), J. R. Milne (1989), J. Sloss (1990), A. N.

Rogers (1990), J. H. Bentley (1990) e T. H. Donnelly (1990). Os seguintes trechos exemplificam a visão individualista:

Seria benéfico prevenir a histeria e a demanda por novas leis e regulamentos até que nós possamos compreender os reais perigos oferecidos pelas substâncias questionadas. (Alfred N. Rogers, 16 de julho de 1990, p.45.)

Caso a nossa sociedade tecnologicamente avançada esteja disposta a aceitar as hipóteses, a presunção, a suspeita, ou o medo como uma base razoável para a tomada de decisões, então realmente não progredimos muito em relação às práticas da idade das trevas. A defesa contra dragões e a execução de bruxas suspeitas foram, talvez, menos prejudiciais à sociedade do que a proibição dos clorofluorocarbonetos, ciclamato e energia nuclear, etc., sem provas verificáveis de perigo, pois as práticas anteriores afetaram uma porcentagem bem menor de pessoas. (A.L. Jones, 13 de dezembro de 1976, p. 5.)

Eu tenho uma leve suspeita de que, quando cessar a histeria do ozônio, pode-se muito bem chegar à conclusão de que as alterações no conteúdo de ozônio da atmosfera nos pólos e em outros lugares está ocorrendo há milênios, e são rastreáveis às mudanças climáticas, possivelmente provocadas por manchas solares ou outros fenômenos eletromagnéticos cíclicos completamente alheios à magia dos CFCs. Aliás, as moléculas de CFCs são pesadas em comparação com o ar, e sua concentração na atmosfera superior, em temperaturas extremamente baixas, deve ser infinitamente pequena. (Roland A. Beck, 23 de junho de 1999, p.62.)

Seria embaraçoso se o ozônio retornasse aos valores atuais após um período de declínio da atividade das manchas solares... (Jim Sloss, 29 de janeiro de 1990, p.3.)

Ainda coerente com a visão individualista, Jim Sloss (1990) chega a questionar a maneira como os experimentos que produziram as imagens do “buraco” na camada de ozônio foram conduzidos, afirmando que os mesmos “podem ter sido cuidadosamente preparados para produzir resultados esperados” (Jim Sloss, 29 de janeiro de 1990, p.3). Vale observar que os livros didáticos de química ambiental desse período (como se verá mais adiante) sugerem que a comunidade química já havia aceitado como um fato científico a ocorrência da destruição do ozônio estratosférico sobre a Antártida, a partir da divulgação das imagens que mostram a variação na concentração dos radicais $\text{ClO}\cdot$ e das moléculas de ozônio. Cartas como a de Sloss, porém, mostram que o consenso geral ainda não havia sido alcançado.

A visão de mundo fatalista não foi detectada dentro da comunidade química estudada. Provavelmente, a formação dos leitores de *Chemical & Engineering News* em áreas de ciências da Natureza e afins (como a engenharia) inibe a consolidação deste tipo de visão de mundo, que incluiria, por exemplo, a ideia de que a Natureza é imprevisível.

Observando a distribuição de cartas nos dois períodos delineados (segunda metade da década de 1970 e final da década de 1980), percebe-se uma significativa redução na proporção de cartas com a visão hierárquica. Se considerarmos o período que abrange a década de 1970 até o início dos anos 1980, temos: 13 hierárquica, 10 com a igualitária e 6 com a individualista. Para efeito de comparação, abrangendo o restante da década de 1980 até o início dos anos 1990, temos: 6 cartas com a visão hierárquica, 9 com a visão igualitária e 7 com a visão individualista. Dessa maneira, as tensões dentro da comunidade química, provocadas pelas posições da indústria (individualista) e dos ambientalistas – incluindo pesquisadores ligados à química ambiental – (igualitária), culminaram no engajamento dos leitores em uma dessas posições, com o consequente declínio relativo da visão hierárquica.

Aspectos inerentes aos riscos associados aos CFCs eram discutidos nas cartas. Segundo Lawrence Stein (22 de setembro de 1975, p.74), compostos como os CFCs podem ser decompostos em contato com a chama e gerar produtos tóxicos. De acordo com John Osterloh (23 de abril de 1990, p.5), pesquisas do final da década apontavam que os CFCs causam disritmia ventricular (diferente de asfixia) e são carcinogênicos quando associados a hidrocarbonetos poliaromáticos aminofluorados, apresentando maior periculosidade em espaço fechados ou mal ventilados.

No tocante à destruição do ozônio, o leitor Montfort A. Johnsen (1979) argumenta citando um artigo de Groves, Mattingly e Tuck (1978):

Por fim, o trabalho de Groves, Mattingly e Tuck [Nature, 273, 711, 29 de junho de 1978], juntamente com outros autores em outros periódicos, cada vez mais apontam para o fato de que a produção antropogênica de quantidades enormes de CO₂ propicia a aceleração da geração de ozônio estratosférico, e isso pode abrandar as reações que podem agir para reduzi-lo.

Embora isso possa não parecer muito impressionante... [A *Figura 12 mostra o efeito*] com base no “caso médio” dos dados de ambos (Rowland e Molina e Groves *et al.*). A teoria leva ao chamado “efeito combinado”, com o gráfico sugerindo que a inserção dos fluorocarbonetos no ambiente pode ser benéfica para ajudar a limitar um eventual grau de proliferação de ozônio. (Montfort A. Johnsen, 20 de agosto de 1979, p.3.)

Figura 12 – Efeito combinado entre o decremento na “camada de ozônio” causado pelos CFCs e o incremento propiciado pelo CO₂ (Groves, Mattingly e Tuck, 1978, p. 711).

No mês seguinte (25 de setembro de 1979, p.5), B. Peter Block afirmava que o simples cálculo da média das mudanças provocadas pelos dois efeitos pode ser muito enganoso.

Outro ponto interessante, e distante do senso comum, é o percentual de participantes da comunidade química que apresentam a visão igualitária. Analisando a filiação declarada pelos autores das cartas, pode-se perceber que esses participantes são, em sua grande maioria, pesquisadores universitários.

6.2.1.1.4 - Considerações sobre os dados obtidos no periódico *Chemical & Engineering News*

Com o estudo realizado, constatou-se que, nas resenhas e editoriais, predominou a visão do tipo hierárquica, enfatizando a importância do consenso científico. No tocante às cartas enviadas pelos leitores, foi observada uma significativa diminuição da visão hierárquica à medida que se avança da década de 1970 rumo à década de 1990. A polarização do debate a

respeito da decomposição do ozônio estratosférico entre químicos ligados à indústria e ambientalistas pode ser a razão dessa tendência: o acirramento de opiniões pode justificar o aumento relativo das visões individualista (ligada à indústria) e igualitária (condizente com os ambientalistas).

6.2.1.2 - Periódico *Journal of Chemical Education* (1970-1990)

Foram raros os momentos em que a questão da decomposição do ozônio estratosférico pelos CFCs foi abordada no periódico (Tabela 8). Os artigos apontados se limitam a informar aos leitores a respeito da decomposição do ozônio estratosférico, procurando explicar os fenômenos envolvidos, sem recorrer à matematização inerente à cinética química, ou seja, limitando-se aos mecanismos de decomposição do ozônio por radicais. Mesmo diante de uma pequena amostra, observa-se a predominância de uma visão hierárquica. O pequeno número de artigos neste periódico evidencia como as controvérsias científicas podem demorar a repercutir junto à comunidade de educadores em química - que possivelmente estão mais interessados em fatos do que em explorar o potencial didático das discussões em torno do processo de produção do conhecimento científico. Uma análise complementar consiste em analisar livros didáticos, o que será visto mais adiante.

Data	Título	Autor	Volume/Página
novembro de 1972	Effects of water and nitrogen dioxide on the stratospheric ozone shield	John P. Chesick	1972 , 49 (11), p 722
novembro de 1977	Ultraviolet absorption of ozone	Jerry A. Driscoll	1977 , 54 (11), p 675
maio de 1987	Chlorofluorocarbons and stratospheric ozone	Scott Elliot e F. S. Rowland	1987 , 64 (5), p 387
abril de 1989	The absorption of UV light by ozone	Edward Koubek	1989 , 66 (4), p 338
novembro de 1990	Error analysis in spectrophotometric determinations and the environmental consequences of a reduction in the ozone layer	John W. Larson	1990 , 67 (11), p 943
setembro de 1999	Modeling Stratospheric Ozone Kinetics, Part I: The Chapman Cycle	Erica Harvey e Robert Sweeney	1999 , 76 (9), p 1309
dezembro de 2000	Refrigeration - From Ice Man to Ozone Hole	Kathryn R. Williams	2000 , 77 (12), p 1540

Tabela 8 – Artigos publicados no *Journal of Chemical Education*, relacionados com a camada de ozônio.

6.2.1.3 - Periódico *Environmental Science and Technology* (1975-1990)

Nesse periódico não foram encontrados debates na forma de cartas de leitores (Tabela 9). Observa-se que a divulgação de informações sobre o tema é feita principalmente após a segunda metade da década de 1980, momento em que a quantidade de dados científicos que apontavam para a destruição do ozônio estratosférico aumentou consideravelmente. No artigo *The Ozone Layer: Its protection depends on international cooperation*, estão discriminadas as doenças ocasionadas pelo aumento da incidência de radiação ultravioleta, e se aponta o

movimento das nações rumo ao Protocolo de Montreal. Artigos como *Chlorofluorocarbons and ozone* e *Stratospheric ozone change* relatam de forma conceitual (explicando os mecanismos envolvidos) a decomposição do ozônio estratosférico. Foi observada somente a visão hierárquica nos artigos publicados nesse periódico, segundo que valorizavam o viés científico.

Data	Título	Autor	Volume/Página
abril de 1975	Letters. Smog, Ozone, etc.	Gerald Gordon	1975 , 9 (4), pp 289 – 289
março de 1978	Modeling man's influence on stratospheric ozone	Reynold Greenstone	1978 , 12 (3), pp 270 –274
junho de 1982	Stratospheric ozone: changing forecasts		1982 , 16 (6), pp 328A – 331A
dezembro de 1987	The ozone layer: Its protection depends on international cooperation	Irving M. Mintzer, Alan S. Miller	1987 , 21 (12), pp 1167 – 1169
outubro de 1989	Chlorofluorocarbons and ozone	Mack McFarland	23 (10), pp 1203–1207
novembro de 1989	Stratospheric ozone change	Charles H. Jackman	1989 , 23 (11), pp 1329–1332
abril de 1991	Changing ozone, evidence for a perturbed atmosphere	Stuart A. Penkett	1991 , 25 (4), pp 630–635
abril de 1991	Stratospheric ozone in the 21st century: the chlorofluorocarbon problem	F. Sherwood Rowland	1991 , 25 (4), pp 622–628

Tabela 9 – Artigos publicados no periódico *Environmental Science and Technology*, relacionados à camada de ozônio.

6.2.2 - Periódico *Nature*

Apesar da presença de inúmeros artigos sobre o tema no periódico *Nature* (Apêndice E), foram publicadas somente dez cartas enviadas por leitores (Apêndice F). Os argumentos presentes nas correspondências apontam para a visão hierárquica, sejam eles favoráveis ou contrários ao banimento dos CFCs. É possível constatar, em todas essas cartas, que o argumento central sempre se refere a algum trabalho científico.

Um bom exemplo está presente nas cartas trocadas no ano de 1976, sobre o tema *Alternative Refrigerants*, reunindo leitores, representantes da academia e da indústria. Enquanto os cientistas citam os possíveis substitutos dos CFCs e a necessidade do banimento do CFC-12, representantes da *DuPont*, fabricante dos CFCs, se apóiam em evidências científicas que apontam para o HCl como uma fonte dos radicais cloro na estratosfera. Nesse caso, a visão hierárquica contrária ao banimento dos CFCs é usada como uma espécie de disfarce para uma visão de mundo individualista.

6.2.3 - Periódico *Science*

O periódico *Science* apresenta uma característica muito similar ao *Nature*: um grande descompasso entre os numerosos artigos e notícias publicados (Apêndice G) e o pequeno número de cartas enviadas pelos leitores – somente sete (Apêndice H).

A análise das cartas revela também a predominância da visão hierárquica. Nas cartas intituladas *Global Stratospheric Ozone and UVB irradiation* são discutidas as consequências à saúde – principalmente, o risco de câncer de pele – em razão da diminuição do ozônio estratosférico e do consequente aumento da incidência de radiação UVB na superfície terrestre.

Já em *The Chlorofluorcarbon dilemma*, o autor pondera sobre os argumentos favoráveis ao banimento dos CFCs (probabilidade de destruição da camada de ozônio) e contrários (prejuízos econômicos, sem existirem no momento evidências científicas consideradas irrefutáveis), concluindo que o melhor caminho para superar esse impasse seria a adesão ao Protocolo de Montreal: o prazo dado para o banimento poderia ser suficiente para descobertas científicas conclusivas sobre o tema.

6.3 - A Transposição Didática

Dentre os periódicos analisados acima, pode-se perceber que o *Journal of Chemical Education* é aquele em que a discussão sobre a possibilidade de decomposição do ozônio estratosférico pelos CFCs se faz menos presente. Tendo em vista essa abordagem escassa do assunto por um renomado periódico da área de Ensino de Química, mostra-se interessante atentar para a transposição didática do assunto.

A transposição didática foi conceituada por Chevallard como a tarefa de transformar um objeto de saber produzido pelo cientista em um objeto do saber escolar. Desse modo, a transposição didática pode ser entendida como um processo no qual um conteúdo (designado como saber a ensinar) sofre um conjunto de transformações adaptativas que vão deixá-lo apto para ocupar um lugar entre os objetos de ensino. De acordo com Chevallard, a transposição didática ocorreria dentro de um sistema didático que pode ser representado por um triângulo (Figura 13), constituído por três pólos distintos: o saber (S), aquele que ensina/professor (P), aquele que aprende/aluno (A). Assim, para ser apresentado aos alunos, o saber (S) deve passar pelos processos de dessincretização, despersonalização e formatação para programabilidade (Chevallard, 1991).

Figura 13 – Sistema didático (Chevallard, 1991, p.23).

A dessincretização é o processo pelo qual são delimitados os campos de saberes, promovendo-se assim a separação de conteúdos dentro de um tema geral. Nesse contexto, um determinado projeto didático pode ser dividido em disciplinas, capítulos ou seções, devendo essas partes estar devidamente concatenadas.

Após ser dessincretizado, o saber a ser ensinado passa pela despersonalização, uma vez que o tópico a ser ensinado é descontextualizado, retirado de seu contexto original em que foi produzido, para na sequência ser recontextualizado em outro discurso. Cabe ressaltar aqui a importância de os conceitos envolvidos não serem deturpados nesse processo. Para que esse processo não promova a divulgação de um saber pseudo-histórico, capaz de propiciar o surgimento de obstáculos epistemológicos e ontológicos, é fundamental que conhecimentos de história da ciência orientem essa recontextualização.

A recontextualização implica ainda em uma determinada formatação para a programabilidade, a qual sumariza uma espécie de algoritmo para a aprendizagem. No tocante à química, essa formatação envolve corriqueiramente a memorização de fórmulas e equações químicas, sem a correta compreensão dos conceitos químicos envolvidos. No caso dos livros

de Química Ambiental que abordam a decomposição do ozônio estratosférico pelos CFCs, foi constatado que existe a tendência de sumarizar todo o processo na forma de equações químicas que representam a decomposição dos CFCs pela radiação UV e a decomposição do ozônio estratosférico pelos radicais cloro, ou simplesmente explicando textualmente esses mecanismos.

6.4 - Livros didáticos de Química Ambiental (1970-1995)

6.4.1. - Apresentação

Como foi discutido, a análise dos periódicos no período da chamada “Guerra do Ozônio” (década de 1970 até o início da década de 1990) revela as visões da comunidade química sobre os riscos oferecidos pelos CFCs, com destaque para a possível destruição da “camada de ozônio”. Em busca de um material que registrasse o resultado desses debates, chegamos aos livros didáticos (LDs) de Química Ambiental. Diferentemente de outros materiais voltados para a educação ambiental, estas obras são escritas por profissionais da área de química. Sendo assim, com o propósito de investigar como essa comunidade reproduz suas visões sobre o assunto, como aquelas debatidas nos periódicos investigados, foram analisados dezessete LDs com datas de publicação no período de interesse (Tabela 10).

A escolha dos LDs de Química Ambiental foi feita de modo a abranger diferentes períodos. A Tabela 11 mostra a distribuição do total de livros analisados ao longo dos três períodos em que foi subdividido o intervalo considerado: 1970-1975, 1976-1985 e 1994-1995.

Título	Autores	País de Origem	Data de Publicação
Chemistry for Environmental Engineering	Sawyer e McCarty	Japão	1978[1967]
Chemical Ecology	Sondheimer e Simeone (eds.)	EUA	1970
Our Chemical Environment	Giddings e Monroe (eds.)	EUA	1972
Problems for General and Environmental Chemistry	Risen Jr. e Flynn	EUA	1972
Chemistry, Man and Environmental Chance: an integrated approach	Giddings	EUA	1973
Chemistry: An Ecological Approach	Gymer	EUA	1973
Chemistry and Civilization	Eubanks e Dermer	EUA	1975
Química e Poluição	Benn e McAuliffe (trad. Pitombo e Massaro)	Grã-Bretanha	1981[1975]
Contemporary Chemistry Science, Energy and Environmental Science	Wade	EUA	1976
Environmental Chemistry	Moore e Moore	EUA	1976
Environmental Chemistry	Bockris	Australia	1977
Environmental Chemistry	Bailey	Grã-Bretanha	1978
Environmental Chemistry	Raiswell <i>et al.</i>	Grã-Bretanha	1980
The Handbook of Environmental Chemistry	Hutzinger	EUA	1980
Environmental Chemistry	Manahan	EUA	1984
Chemistry: An Environmental Perspective	Buell e Girard	EUA	1994
Environmental Chemistry	Baird	EUA	1995

Tabela 10 – Livros didáticos de Química Ambiental selecionados para análise.

Período	total de livros analisados
1970 – 1975	8
1976 – 1985	7
1994 – 1995	2

Tabela 11 – Distribuição dos livros de Química Ambiental ao longo do período analisado.

6.4.2 - Os primeiros livros de Química Ambiental (1970-1975)

Os livros da primeira metade da década de 1970 são, em sua grande maioria, livros de Química Geral com um enfoque ambiental permeando os capítulos, ou, em certos casos, com somente um capítulo abordando a química descritiva – como é o caso de Eubanks & Dermer (1975) e Risen Jr. & Flynn (1972). Uma abordagem a partir de estudos de caso é feita por Giddings & Monroe (1972) e Sondheimer & Simeone (1972), sendo que o primeiro aborda temas amplamente discutidos na década de 1970 (poluição do ar, poluição das águas, contaminação dos solos e fontes energéticas) e o segundo procura focar mais nos problemas causados à vida pelos agrotóxicos, em especial o DDT.

Alguns dos livros publicados nesse período não mencionam a questão da camada de ozônio, como é o caso de Sondheimer & Simeone (1970), Benn & McAuliffe (1975), Eubanks & Dermer (1975), Sawyer & McCarty (1978[1967]) e Risen Jr. & Flynn (1972).

Gymer (1973) e Giddins (1973) são os primeiros livros didáticos de Química Ambiental que abordam a destruição da camada de ozônio. São ressaltados os resíduos gerados pelos aviões supersônicos na estratosfera – a água e os óxidos de nitrogênio. Os mecanismos envolvendo os radicais hidróxi, provenientes da decomposição fotolítica da água, e os óxidos de nitrogênio estão presentes, com destaque para a destruição do ozônio via NO:

Johnston mostrou que quantidades significativas de ozônio seriam removidas por uma simples reação química $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ (...) a segunda reação corresponde à reação do NO_2 com átomos de oxigênio... $\text{NO}_2 + \text{O} \rightarrow$

$\text{NO} + \text{O}_2$. Baseando seus cálculos na velocidade dessas e de outras reações, Johnston estimou que 500 aviões supersônicos reduziriam a quantidade de ozônio na estratosfera pela metade, e então um grande aumento na penetração da perigosa radiação UV poderia ocorrer. Esta análise não é necessariamente a resposta final à questão dos aviões supersônicos, mas é o resultado mais completo que temos até a presente data, e deveria nos colocar em alerta contra isso rapidamente... (Giddings, 1975, p.210.)

Gymer (1973) também classifica o Freon-12 (CCl_2F_2) como um poluente do ar supostamente inócuo.

Dessa maneira, o primeiro período (1970-1975) é marcado por diferentes formas de abordagem da química ambiental. Nesse contexto, são privilegiados problemas que estão afligindo diretamente a sociedade e fazem parte de um consenso científico. Nesse caso enquadra-se, por exemplo, a questão dos agrotóxicos – na década de 1970 já existiam dados de pesquisas respaldadas que apontavam para a toxicidade do DDT e de outros pesticidas. A questão da destruição da camada de ozônio, quando mencionada, era relacionada aos aviões supersônicos que voavam na estratosfera.

6.4.3 - Livros de Química Ambiental publicados entre 1976 e 1985

A partir da metade da década de 1970, passa a prevalecer uma abordagem de química ambiental ligada às questões pertinentes aos grandes problemas ambientais enfrentados pela humanidade. Essa abordagem, geralmente, aparece associada à subdivisão do ambiente em atmosfera, hidrosfera e litosfera.

Com o destaque alcançado pelo debate acerca da possibilidade de aviões supersônicos destruírem o ozônio estratosférico, os ciclos catalíticos de destruição do ozônio passaram a ganhar mais destaque nos livros de química ambiental. Como a determinação das constantes de velocidade das reações químicas envolvendo os óxidos de nitrogênio e oxigênio já havia

sido realizada pela comunidade química, a associação desses óxidos à destruição do ozônio estratosférico foi feita através da articulação desses dados com o já conhecido modelo de Chapman. Nesse contexto, a hipótese de Molina-Rowland (1974) possibilitou que esse debate ganhasse uma nova dimensão, pois os potenciais causadores da destruição do ozônio passaram a ser compostos – os CFCs – que vinham sendo empregados de maneira crescente havia quarenta anos.

Os CFCs são destacados pelos livros didáticos de química ambiental somente a partir de 1976. Moore & Moore (1976) foi o primeiro entre os livros didáticos analisados a abordar a questão dos CFCs. Primeiramente, os autores chamam a atenção para o modelo de Johnson, o qual considera outros mecanismos para o consumo do ozônio estratosférico que poderiam contribuir para a manutenção da concentração de estado estacionário na atmosfera. O mecanismo proposto por Stolarsky e Cicerone envolvendo a catálise por átomos de cloro é considerado:

Quanto à origem dos átomos de cloro, foram sugeridos o HCl e, a partir de Molina e Rowland, os CFCs. De acordo com Moore & Moore, os CFCs são praticamente inertes, liquefazem facilmente com o aumento de pressão, não possuem rotas naturais de decomposição bacteriana, possuem tempos de vida na troposfera longos e, em razão disso, podem se difundir até a baixa estratosfera, onde são decompostos fotoliticamente pela radiação ultravioleta. Segundo os autores:

Nenhum dos estudos baseados em experimentos prova que os freons afetam o nível de ozônio estratosférico – conclusões baseadas na correlação dos freons com a concentração de ozônio medida de fato seriam mais convincentes. Sem as provas científicas necessárias, o governo dos EUA concluiu que o banimento dos propelentes de freon seria prematuro. Contudo, uma herança de 20-30 anos de difusão dos clorofluorocarbonos na estratosfera requer uma rápida resolução das incertezas que ainda permanecem. Se um problema real existe mesmo, o consumo contínuo de propelentes de freon, com a velocidade de crescimento atual, dobrará sua periculosidade em cerca de cinco anos. Caso não haja suficientes dados científicos disponíveis em breve, o mais prudente parece ser uma moratória outorgada no uso dos aerossóis propelentes de freon. Muitos desses produtos estão disponíveis em outras embalagens, e a possibilidade intensa de perigos ambientais irreversíveis deveria ser suficientemente dura para a conveniência do consumidor e o lucro de poucos fabricantes. (Moore & Moore, 1976, p.191.)

Hutzinger (1980) é o livro que dá maior destaque aos CFCs. Nele, são discutidos: a química dos CFCs; os métodos analíticos empregados na identificação desses compostos (em especial, a cromatografia gasosa com o detector de captura de elétrons); as reações químicas e fotoquímicas; a relação dos CFCs com o metabolismo, biodegradação e acumulação; e os efeitos biológicos e a toxicidade dos CFCs.

Bailey (1978) destaca o mecanismo de destruição do ozônio estratosférico pelos CFCs evidenciando os termos espectroscópicos – o livro conta com um capítulo voltado para os princípios de fotoquímica. A decomposição dos CFCs ocorreria pelos átomos de oxigênio excitados:

(O CFC pode ser o CFC-11 ou o CFC-12).

Com o passar dos anos, à medida que os tempos de vida dos CFCs foram sendo determinados em várias altitudes, a decomposição dos CFCs pela radiação UV passou a ser mais aceita.

Wade (1976) e Raiswell *et al.* (1980) chamam a atenção para o fato de os CFCs serem inócuos nas condições ambientes. Segundo Raiswell *et al.*,

os CFCs manufaturados desde 1930 não são integrados a ciclos biogeoquímicos, não são absorvidos ou degradados no solo ou no oceano. Em razão da não destruição dessas moléculas por reações químicas na baixa atmosfera, presume-se que algumas dessas moléculas podem eventualmente alcançar a estratosfera. Nesse lugar, as moléculas de CFCs podem ser quebradas pela radiação ultravioleta disponível e liberar uma grande quantidade de átomos de cloro altamente reativos, que podem fazer uma rápida conversão de ozônio para oxigênio. Embora algumas pesquisas estejam sendo feitas, a complexidade das reações químicas na alta atmosfera significa provavelmente que teremos um longo tempo antes que nós conheçamos com segurança os efeitos de nossa interferência na atmosfera. (Raiswell *et al.*, 1980, p.124.)

Wade (1976), por sua vez, aponta que o tempo de difusão dos CFCs para a estratosfera era de, aproximadamente, 50 anos. Sendo assim, os CFCs estariam agora distribuídos uniformemente pela atmosfera.

Raiswell *et al.* (1980) afirmam que os freons podem ser removidos da atmosfera ou transformados por ela: uma das formas é pela dissolução nos oceanos, e a outra, pela quebra na estratosfera. Os mesmos autores destacam que:

a decomposição do ozônio pelos átomos de cloro não é muito eficiente, tendo em vista que os átomos de cloro podem ser removidos do ciclo pelas reações com as moléculas de metano (CH₄) para formar HCl, que pode ser

posteriormente transportado pela troposfera na forma de chuva. (Raiswell *et al.*, 1980, p. 125.)

Manahan (1984) afirmou que o papel da diminuição do ozônio atmosférico permanecia sendo um assunto de considerável controvérsia e incerteza. Segundo o autor:

Mesmo se a produção fosse interrompida hoje em dia, esses compostos persistiriam na atmosfera por muitas décadas. Se os CFCs são de fato responsáveis pela diminuição do ozônio estratosférico, serão necessários muitos anos antes que o perigo possa ser revertido. Em consideração a isso, os propelentes de CFC estão sendo banidos nos EUA. (Manahan, 1984, p. 350.)

Hutzinger (1980) e Manahan (1984) destacam a importância da cromatografia gasosa com o detector de captura de elétrons na identificação de haletos orgânicos. Desde o princípio da década de 1970, essa técnica já vinha sendo empregada por Lovelock para a medição de organoclorados na troposfera. Dados que indicam a presença desses compostos em altitudes maiores só foram obtidos a partir do final da década de 1970.

Percebe-se que o debate acerca dos CFCs se fez rapidamente presente nos livros didáticos de química ambiental, mesmo em um momento em que esses compostos ainda não haviam sido identificados na estratosfera (Lovelock, 2000). Além de uma percepção de risco global desencadeada pós-1974 pela hipótese de Molina-Rowland, Hutzinger (1980) aponta para uma percepção de risco individual, segundo a qual os CFCs desencadeariam problemas respiratórios.

6.4.4 - Livros didáticos pós-identificação da camada de ozônio (1994-1995)

Com as imagens no infravermelho registradas por satélites do chamado “buraco” na camada de ozônio, foram caracterizados diferentes compostos. As fotos da contra-capá do livro *Environmental Chemistry*, de Baird (1995), ilustram a variação das concentrações dos

radicais $\text{ClO}\cdot$ e do ozônio, ao longo de um ano. Imagens similares também estão presentes em Buell e Girard (1994). Sendo assim, a consequente elaboração de mecanismos e explicações condizentes com os fenômenos observados possibilitou que essa questão fosse tratada da maneira muito mais detalhada pelos livros didáticos de Química Ambiental.

Baird (1995) dedica um capítulo inteiro sobre esse a química estratosférica, denominado “Química Estratosférica: A Camada de Ozônio”. São discutidos os seguintes tópicos: regiões da atmosfera, unidades de concentrações ambientais para gases, a química da camada de ozônio, as regras químicas na destruição do ozônio, outros processos químicos na baixa estratosfera, uma visão sistemática da química estratosférica: uma revisão, questões de revisão e sugestões para leitura (estrutura de Lewis de radicais livres simples, velocidades de reações de radicais livres, fórmulas e códigos para compostos de carbono (incluindo os CFCs), os aviões supersônicos podem causar a depleção da camada de ozônio?, pesquisas recentes sobre a destruição do ozônio, e uma entrevista com Susan Solomon acerca da “Química da Camada de Ozônio”. De acordo com Baird (1995):

A súbita aparição do buraco de ozônio é consistente com uma dependência quadrática, em vez de linear, da destruição do ozônio para com a concentração de cloro, seguindo um mecanismo via Cl_2O_2 . Fica a esperança de que não existam muitos problemas ambientais cujos efeitos irão apresentar um comportamento não-linear semelhante, e que sejam capazes de nos surpreender! (Baird, 1995, p.48.)

Mesmo em Buell e Girard (1994), um livro de química geral concebido segundo um enfoque ambiental, a discussão da camada de ozônio abrange cinco páginas (414-418) do capítulo 13, denominado “O Ar que Respiramos” (pp. 395-427). Os tópicos abordados são: a depleção da camada de ozônio, o “buraco” na camada de ozônio na Antártida e no Ártico, o Protocolo de Montreal, e um texto explicativo sobre o funcionamento dos protetores solares. Segundo Buell e Girard (1994):

Evidências convincentes para o envolvimento dos CFCs na depleção do ozônio vieram em 1987. Entre agosto e setembro desse ano, pesquisadores da NASA, equipados com sofisticados instrumentos analíticos, realizaram 25 missões na região do buraco na camada de ozônio da estratosfera sobre a Antártida. Os dados colecionados mostraram conclusivamente que a concentração de ozônio diminuiu e que a concentração do radical monóxido de cloro, $\text{ClO}\bullet$, aumenta. (Buell e Girard, 1994, p. 415.)

Desse modo, as evidências científicas, viabilizadas pelo surgimento de novos dados experimentais – com destaque para as imagens registradas por satélites após 1984 – fizeram com que o tópico “destruição da camada de ozônio” se tornasse cada vez mais fulcral nos livros de Química Ambiental.

6.4.5 - Algumas Considerações

Analisando o episódio do ozônio estratosférico sob um viés filosófico e didático, percebe-se que o mesmo pode ser abordado pelo modelo proposto por Imre Lakatos. Uma vez iniciado, o programa de pesquisa de Chapman não sofreu mudanças em seu núcleo duro, apenas em seu cinturão protetor. O modelo de Chapman não foi refutado por nenhum dos experimentos realizados após 1930. Nem mesmo o advento da fotólise de pulso (década de 1950), e a determinação de constantes de velocidade de reação mais precisas, apontaram para a não validade do mecanismo de Chapman: não se caracterizou, em momento algum, um experimento crucial (Christie, 2000). Assim, as possíveis modificações propostas ao modelo, como novos radicais que poderiam interferir na quantidade de ozônio estratosférico, correspondem a uma heurística positiva, ou seja, essas mudanças atingem somente o cinturão protetor do programa de pesquisa.

Os pesquisadores químicos da área ambiental transportam a visão igualitária com que tratam os problemas ambientais perceptíveis para a questão do ozônio estratosférico. Em uma

situação em que faltavam evidências decisivas para a hipótese de Rowland e Molina, e em que outras interferências no mecanismo de Chapman eram sugeridas, a destruição do ozônio estratosférico foi incluída nos livros didáticos de Química Ambiental e os riscos a ela associados (aumento da radiação UV e dos casos de câncer de pele) foram destacados. Com o crescente número de dados experimentais, os fenômenos atmosféricos, incluindo o tópico camada de ozônio, passaram a ser mais discutidos pelos livros de Química Ambiental.

Considerações Finais

Com a experiência e os conhecimentos adquiridos ao longo do processo de desenvolvimento do tetraetilchumbo como antidetonante, Midgley pôde chegar ao CFC-12 como o fluido que atendia as necessidades da indústria de refrigeração na década de 1920. Dada sua inocuidade, e outros usos encontrados para os CFCs, estes passaram a ser produzidos em larga escala, e paulatinamente se dispersaram na atmosfera. Isto não era visto como um problema, até a década de 1970. Essa década representou um momento marcante em termos da emergência de uma consciência de responsabilidade ambiental no seio da comunidade química. Profundas modificações ocorreram não apenas em âmbito individual por parte dos cientistas, mas também na maneira como as indústrias químicas passaram a encarar a questão ambiental (Laszlo, 2006) – por exemplo, os CFCs, que até então eram tidos como inócuos, passaram a ser vistos como portadores de sério risco ambiental. O advento de novas tecnologias permitiu a identificação e quantificação de substâncias no meio ambiente – como fez Lovelock com os CFCs, usando a cromatografia associada ao detector de captura eletrônica. A relação da química com outras ciências permitiu observar fenômenos de maneira

mais integrada – levando à proposição da destruição do ozônio estratosférico pelos radicais cloro provenientes da clivagem dos CFCs (Molina e Rowland, 1974) . Nesse contexto, a própria ciência química passou por transformações, passando a adquirir uma dimensão dinâmica com a Química Ambiental.

A comunidade química desempenhou um importante papel nas discussões ambientais da década de 1970. A análise de periódicos e livros de Química Ambiental viabilizou o diagnóstico de três visões de mundo distintas, de acordo com a teoria cultural de Douglas e Wildavsky (1982): hierárquica, igualitária e individualista. Atentando para os resultados, o número de cartas publicadas pela revista *Chemical & Engineering News* em que se observa uma visão hierárquica apresenta uma considerável redução ao longo do tempo. O engajamento dos leitores no fervoroso debate protagonizado pela indústria química (visão individualista) e ambientalistas (visão igualitária) pode ser a causa desse quadro, fazendo com que hipóteses tais como o “efeito combinado” das emissões de CFCs e CO₂ (que supostamente resultaria na manutenção da concentração de ozônio estratosférico) fossem usadas como argumentos pelos representantes da indústria química contra o banimento dos clorofluorocarbonos.

Com as cartas e editoriais do periódico *Chemical & Engineering News*, constata-se que a percepção de riscos associados aos CFCs não corresponde somente à escala planetária. Foram observadas discussões nas cartas que apontam para riscos quando esses compostos entram em contato com a chama (formação de substâncias tóxicas), inalados em grande quantidade (provocam disritmia cardíaca) e inalados em combinação com outras substâncias (possível potencial carcinogênico). Ou seja, no calor do debate em torno do surgimento de uma nova forma de risco – o risco ambiental global – alguns dos envolvidos (químicos, cientistas) reforçavam seus argumentos recorrendo a dimensões de risco já bem conhecidas (como os riscos individuais citados acima).

No tocante aos periódicos *Nature* e *Science*, os raros debates científicos ocorridos dizem respeito aos posicionamentos científicos a respeito da possibilidade de destruição da camada de ozônio pelos CFCs. Desse modo, a visão presente é predominantemente a hierárquica, o que sugere uma posição de defesa da autoridade científica por parte destas que são consideradas duas das mais importantes revistas científicas.

Com relação aos periódicos *Environmental Science and Technology* e *Journal of Chemical Education*, foi possível verificar que são raros os artigos envolvendo os CFCs ou a camada de ozônio. Quando presentes, esses artigos apontam para conhecimentos já cristalizados, que no caso correspondem a uma visão hierárquica favorável ao banimento dos CFCs. A escassez de artigos em um periódico voltado para a formação de professores, como o *Journal of Chemical Education*, nos fez voltar o olhar também para a abordagem do assunto em livros didáticos de química ambiental.

Os livros didáticos de química ambiental analisados ratificam a visão igualitária, e o interesse desse segmento da comunidade química na discussão da destruição do ozônio estratosférico. Todavia, uma análise criteriosa indica que em muitos dos livros a abordagem desse tema se resume à divulgação da hipótese de Rowland-Molina (1974) e suas possíveis consequências para a humanidade. Dentre os motivos que provocaram esse tipo de abordagem, destaca-se o pouco conhecimento que a comunidade química tinha acerca dos fenômenos atmosféricos – em especial quando esses fenômenos não ocorriam na troposfera. Já com as informações decorrentes da observação do “buraco” na camada de ozônio, o conhecimento sobre essa questão passa a ser abordado de maneira mais sistêmica, indo além de mecanismos de reações químicas e de possíveis riscos causados pelos agentes catalisadores da destruição do ozônio estratosférico.

O comportamento desse segmento de químicos ambientais revela a adoção, mesmo que implícita, dos fundamentos de um princípio que viria a se tornar um dos fundamentos do

Direito Ambiental no final da década de 1990: o Princípio da Precaução (Setzer, 2007). Assim, o caso dos CFCs mostra que a compreensão do impacto da química sobre a sociedade vai muito além do entendimento das propriedades químicas das novas substâncias lançadas no ambiente: nesse sentido, aspectos da história e da filosofia da química mostram-se fundamentais para a caracterização da complexidade das questões envolvidas. Nesse contexto, pode-se afirmar que uma consciência ética voltada para questões ambientais deveria permear as atitudes dos profissionais da área química. Como perspectiva futura, emerge deste trabalho a necessidade de pesquisas que abarquem as possíveis relações entre a química ambiental e a filosofia da química, como, por exemplo, os possíveis impactos sobre o conhecimento científico decorrentes da adoção do Princípio da Precaução.

Referências Bibliográficas

Alfonso-Goldfarb, A.M. **Da Alquimia à Química**. São Paulo: Nova Stella/Edusp, 1987.

Bates, D.R.; Nicolet, M. **The Photochemistry of Atmospheric Water Vapor**. Journal of Geophysical Research. 35(3): 301-327, September 1950.

Baird, D; Scerri, E.; Mc Intyre, L. Introduction: The Invisibility of Chemistry. In: **Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline**. Dordrecht: Springer Academic Publishers. 3-18, 2006.

Bailey, R. A. **Environmental Chemistry**. London: Academic Pres Inc, 1978.

Beck, U. **La sociedade del riesgo global**. Trad. Jesús Alborés Rey. Madrid: Siglo XXI, 2001.

Bemand, P. P. *et al.* Reaction of Chlorine Oxide Radicals. **J. Chem. Soc., Faraday I**, 69: 1356-1374, 1973.

Benn, F.R.; McAuliffe, C.A. **Química e Poluição**. Trad. Luiz R.M. Pitombo e Sérgio Massaro. 1980 [1975].

Blumberg, A.A. Risks and Chemical Substances. **Journal of Chemical Education**. 71(11): 912-916, 1994.

Bockris, J.O.M. **Environmental Chemistry**. New York: Plenum Press, 1977.

Boholm, Å. The cultural theory of risk: an anthropological critique. **Ethnos**. 61: 64-84, 1996.

Brito, F.A.A; Brito, A.A.A. Breves considerações sobre os princípios do Direito Ambiental. **Âmbito jurídico**, 2013. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=10685>. Acesso em 06/06/2013.

Cachapuz, A. **A necessária renovação no ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.

Carson, R. **Silent Spring**. Penguin Books, 1962.

Christie, M. **The ozone layer**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

Coley, N.G. Wilmot, S.A.H. Chemical Industry and the Quality of Life. In: Ed. Russel, C.A. **Chemistry, Society and Environment**. Cambridge: RSC. 319-349, 2000.

Comest – World Commission on the Ethics of Science and Technology. **The precautionary principle**. Paris: UNESCO, 2005.

Chapman, S. A Theory of Upper-Atmospheric Ozone. **Memoirs of the Royal Meteorological Society**. 3(26): 103-125, 1930.

Chevallard, Y. **La Transposition Didactique**. Grenoble: La Pensée sauvage, 1991.

Crutzen, P. A review of upper atmospheric photochemistry. **Canadian Journal of Chemistry** 52: 1569 – 1581, 1974.

Dobson, G.M.B.; Harrison, D.N. Measurement of the amount of ozone in the earth's atmosphere. **Proc. Phy. Soc. London**. 38: 74-76, 1925.

Dolbier Jr., W. R. Fluorine chemistry at the Millennium. **Journal of Fluorine Chemistry**. 126 (2):157-163, 2005.

Douglas, M.; Thompson, M.; Verweij, Marco. Is Time Running out? The Case of Global Warming. **Daedalus**. 132 (2): 98-107, 2003.

Fabry, C. **L'ozone atmosphérique**. Paris, 1950.

Framan, J. Halocarbons the ozone layer and the precautionary principle. In.: Harremoes, P. et al.(eds.) **Late Lessons from warning the precautionary principle 1896-2000**. Copenhagen: European Environment Agency, 22, 2001. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_22/Issue_Report_No_22.pdf>. Acesso em 20/05/09.

Garrett, A.B. Lead tetraethyl: Thomas Midgley Jr., T.A.Boyd and C.A. Hochwalt. **Journal of Chemical Education**. 39(8):414-415, 1962.

Giddings, J.C. **Chemistry Man, and Environmental Changes**. San Francisco (USA): Canfield Press, 1973.

Giunta, C. J. Thomas Midgley, Jr., and the invention of chlorofluorocarbon refrigerants: it ain't necessarily so. **Bulletin of the History of Chemistry**. 31: 67-69, 2006.

Gymer, R.G. **Chemistry: An Ecological Approach**. New York: Harper & Row Publishers Inc., 1973.

Hammond, G.S. The future of chemical science. **Chem Tech**. 24-26, Jan. 1971.

Hass, P. M. Banning Chlorofluorocarbons: epistemic community efforts to protect stratospheric ozone. **International Organization**. 46(1): 187-224, 1992.

Hunt, B.G. The Need for a Modified Photochemical Theory for Ozone. **Journal of Atmospheric Sciences**. 23: 88-95, January 1966.

Jonas, H. **O Princípio da Responsabilidade**. Rio de Janeiro: Editora PUC-Rio, 2006.

Johnston, H. Global Ozone Balance in the Natural Stratosphere. **Rev. Geophys.**, 13(5), 637–649, 1975.

Johnston, H. Reduction of Stratospheric Ozone by Nitrogen Oxide Catalysts from Supersonic Transport Exhaust. **Science**. 173: 517-518.

Kettering, C. F. Biographical Memoir of Thomas Midgley, Jr., 1889 – 1944. **Biographical Memoirs of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 24: 361-380, 1947.

Kettering, C. F. A Tribute to Thomas Midgley, Jr. **Industrial and Engineering Chemistry**. 36: 1179-1182, 1944.

Kirchhoff, V. W. J. H. *et al.* Buraco na camada de Ozônio: novidades no sul. **Ciência Hoje**. 17(99): 6-7, 1994.

Kitman, J. L. The Secret History of Lead. **The Nation**, 2 de março de 2000, 11-45.

Lacey, H. **Scientiae Studia**. São Paulo, 4(3): 373-392, 2006.

Lakatos, I.. **Falsificação e metodologia dos programas de investigação científica**. Lisboa: Biblioteca de Filosofia Contemporânea. Edições 70; 1999.

Laszlo, P. On the self-image of chemists, 1950 – 2000. **Hyle – International Journal for Philosophy of Chemistry**. 12(1): 99 – 130, 2006.

Liebmann, H. **Terra, um planeta inabitável?** Trad. Flávio Meurer. São Paulo: Edusp, 1973.

Loeb, A. P. Birth of the Kettering Doctrine: Fordism, Sloanism and the discovery of tetraethyl lead. **Business and Economic History**. 24: 72 – 87, 1995.

Lovelock, J. E. Atmospheric halocarbons and stratospheric ozone. **Nature**. 292-294. 1974.

Lovelock, J. E. Atmospheric turbidity and CCl_3F concentrations in rural southern England and southern Ireland. **Atmospheric Environment**, 6, 917-925. 1972.

Matthews, M. R. História, Filosofía y Enseñanza de las Ciencias: la aproximación actual. **Enseñanza de las Ciencias**. 12(2): 255- 277, 1994.

Mauskopf, S. H. Introduction. In: Mauskopf, S. H. (ed.) **Chemical Sciences in the Modern World**. Filadélfia: University of Pennsylvania Press, 1993.

McGrayne, S.B. **Prometheans in the lab: chemistry and making new world**. New York: Mc-GrawHill, 2002.

Midgley Jr., T. Problem+Research+Capital = Progress. Chemistry in the next century. **Industrial and Engineering Chemistry**.31(5):504-506, 1939.

Midgley Jr., T. From the periodic table to production. **Industrial and Engineering Chemistry**. 29(2):241-244, 1937.

Midgley Jr., T. Chemistry in the next century. **Industrial and Engineering Chemistry**.27(5):494-498, 1935.

Midgley Jr., T.; Henne, A. L. Organic Fluorides as Refrigerants. **Industrial and Engineering Chemistry**.22(5):542-545, 1930.

Molina, M. J.; Rowland, F. S. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. **Nature**, 249: 810-812, 1974.

Moore, J.W.; Moore, E.A. **Environmental Chemistry**. New York: Academic Press, Inc., 1976.

Morgan, J.J. Chemistry and quality of man's environment. **Environmental Science and Technology**. 1(1): 5, January 1967.

Morrison, A.A. **O romance da Química**. Trad. Achiller Seara de Oliveira. Rio de Janeiro: José Olímpio Ed. 1937.

Mozeto, A. A.; Jardim, W. F. Química Ambiental no Brasil. **Química Nova**, 25(1): 7-11, 2002.

Nadim, F.; Zack, P.; Hoag, G. E.; Liu, S. United States experience with gasoline additives. **Energy Policy**. 29: 1-5, 2001

Nriagu, J. O. The rise and fall of leaded gasoline. **The Science of the Total Environment**. 92: 13-28, 1990.

Olstedal, S.; Moen, B.-E.; Klempe, H.; Rundmo, T. **Explaining risk perception – An evaluation of cultural theory**. Trondheim: Rotunde, 2004.

Paneth, F.A. The Chemical Analysis of Atmospheric Air. In: Boyd, R.L.R; Seaton, M.J. **Rocket Exploration of the Upper Atmosphere**. London: Pergamon Press, 157-168, 1957.

Peixoto, R. A. *et al.* A substituição dos CFCs e HCFCs e a indústria de refrigeração. **Revista Brasileira de Ciências Mecânicas**, 15(4): 376-382, 1993.

Phillips, D. Ozone – protector or polluter? **Education in Chemistry**. 36(4): 99-100, 1999.

Raiswell, R.W.; Brimblecombe, P.; Dent, D.L.; Liss, P.S. **Environmental Chemistry**. London: Edward Arnold Ltd., 1980.

Rowland, F. S.; Molina, M. J. Chlorofluoromethanes in the environment. **Review of Geophysics and Space Physics**, 13(1):1-35, February 1975.

Rowland, F.S. Stratospheric Ozone Depletion. **Phil. Trans. R. Soc. B.** 361: 769–790, 2006. Disponível em: <doi:10.1098/rstb.2005.1783>.

Russow, J. Fluorocarbons. In.: Hutzinger, O. (ed.) **The Handbook of Environmental Chemistry**. Springer-Verlag, v.2, part A, 1980.

Schummer, J. The notion of nature in chemistry. **Stud. Hist. Phil. Sci.** 34: 705-736, 2003.

Steinfeld, J. I.; Francisco, J. S.; Hase, W. L. **Chemical Kinetics and Dynamics**. New Jersey: Prentice Hall, 1989.

Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**, 2nd edition. Nova York: Wiley, 2006.

Seinfeld, J. H. **Atmospheric chemistry and physics of air pollution**. Nova York: Wiley-Interscience, 1986.

Setzer, J. **Panorama do princípio da precaução: o direito do ambiente face aos novos riscos e incertezas**. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental) – Programa de Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

Seyferth, D. The rise and fall of Tetraethyllead 1. **Organometallics**. 22(12): 2346-2357, 2003a.

Seyferth, D. The rise and fall of Tetraethyllead 2. **Organometallics**. 22(24): 5154-5178, 2003b.

Stolarski, R. S.; Cicerone, R. J. Stratospheric Chlorine: a Possible Sink for Ozone. **Canadian Journal of Chemistry**, 52: 1610-1615, 1974.

Sustein, C. R. **Laws of Fear – Beyond The Precautionary Principle**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

Thomas, V. M. The elimination of lead in gasoline. **Annual Review of Energy and Environment**. 20: 305-312, 1995.

Thompson, M.; Ellis, R.; Wildavsky, A. **Cultural Theory**. Boulder: Westview Press, 1990.

United States Environmental Protection Agency (EPA). **Partnership for Clean Fuels and Vehicles: Evaluation of the Design and Implementation of the Lead Campaign – Final Report**. Washington, 2011.

United States of America. **National Aeronautics and Space Administration (Nasa)**. Disponível em: <<http://www.nasa.gov/>>. Acessado em 08/11/08.

Wade, C.G. **Contemporary Chemistry Science, Energy and Environmental Changes**. New York: MacMillan Publishing Co. Inc. 1976.

Werner, S. Global Chemical Cycles and Pollution. **Environmental Science and Technology**. 12(3): 241, March 1978.

Yin, R. K. **Case Study Research: Design and Methods**. Londres: SAGE, 2003.

Apêndices

Apêndice A – Notícias publicadas no periódico *Chemical & Engineering News* (1975-1991)

Chlorofluorocarbons threaten ozone layer

Chem. Eng. News Archive, **1974**, 52 (38), pp 27–30

Publication Date (Print): September 23, 1974

(News)

DOI: 10.1021/cen-v052n038.p027

SCARE OVER CHEMICAL THREAT TO OZONE LAYER BUILDING UP

Chem. Eng. News Archive, **1974**, 52 (38), p 6

Publication Date (Print): September 23, 1974

(News)

DOI: 10.1021/cen-v052n038.p006

NAS agrees SST would reduce ozone

Chem. Eng. News Archive, **1975**, 53 (14), p 4

Publication Date (Print): April 7, 1975

(News)

DOI: 10.1021/cen-v053n014.p004a

Another look at the ozone question

ALBERT F. PLANT

Chem. Eng. News Archive, **1975**, 53 (6), p 2

Publication Date (Print): February 10, 1975

(Editorial)

DOI: 10.1021/cen-v053n006.p002

More evidence adds to ozone controversy

Chem. Eng. News Archive, **1975**, 53 (44), p 8

Publication Date (Print): November 3, 1975

(News)

DOI: 10.1021/cen-v053n044.p008

Study proposed to resolve ozone data

Chem. Eng. News Archive, **1975**, 53 (21), p 6

Publication Date (Print): May 23, 1975

(News)

DOI: 10.1021/cen-v053n021.p006

Federal task force probes ozone issue

LING-YEE GIBNEY

Chem. Eng. News Archive, **1975**, 53 (10), p 17

Publication Date (Print): March 10, 1975

(News)

DOI: 10.1021/cen-v053n010.p017

Chlorofluorocarbon breakdown established

Chem. Eng. News Archive, **1975**, 53 (35), pp 15–16

Publication Date (Print): September 1, 1975

(News)

DOI: 10.1021/cen-v053n035.p015

Scientists detail chlorofluorocarbon research

Chem. Eng. News Archive, **1975**, 53 (16), pp 21–23

Publication Date (Print): April 21, 1975

(News)

DOI: 10.1021/cen-v053n016.p021

Uncertainties remain in ozone controversy Although NAS study affirms destructive effect of chlorofluorocarbons on stratospheric ozone, extent of depletion still an issue

Chem. Eng. News Archive, **1976**, 54 (40), p 16

Publication Date (Print): September 27, 1976

(News)

DOI: 10.1021/cen-v054n040.p016

Fluorocarbons vs. ozone issue rages on

Chem. Eng. News Archive, **1976**, 54 (28), p 7

Publication Date (Print): July 5, 1976

(News)

DOI: 10.1021/cen-v054n028.p007a

Theory adds to confusion over ozone loss Some scientists believe chlorine nitrate reaction slows ozone breakdown by tying up chlorine freed from chlorofluorocarbons

CHRIS MURRAY

Chem. Eng. News Archive, **1976**, 54 (22), pp 13–14

Publication Date (Print): May 24, 1976

(News)

DOI: 10.1021/cen-v054n022.p013

NAS ozone panel hit for making policy

Chem. Eng. News Archive, **1976**, 54 (40), pp 4–5

Publication Date (Print): September 27, 1976

(News)

DOI: 10.1021/cen-v054n040.p004a

Chlorofluorocarbon issue swirls on Symposium points up central problem in debate over effect on ozone: knowledge of stratosphere is still very limited

Chem. Eng. News Archive, **1976**, 54 (38), pp 15–20

Publication Date (Print): September 13, 1976

(News)

DOI: 10.1021/cen-v054n038.p015

Ozone might stem red tide's effects

Chem. Eng. News Archive, **1977**, 55 (38), pp 5–6

Publication Date (Print): September 19, 1977

(News)

DOI: 10.1021/cen-v055n038.p005b

UN group urges global plan for ozone layer

Chem. Eng. News Archive, **1977**, 55 (11), p 8

Publication Date (Print): March 14, 1977

(News)

DOI: 10.1021/cen-v055n011.p008a

Industrial solvent may deplete ozone layer

Chem. Eng. News Archive, **1978**, 56 (3), p 8

Publication Date (Print): January 16, 1978

(News)

DOI: 10.1021/cen-v056n003.p008

NRC says fertilizer may deplete ozone layer

Chem. Eng. News Archive, **1978**, 56 (40), p 6

Publication Date (Print): October 2, 1978

(News)

DOI: 10.1021/cen-v056n040.p006b

NAS REPORT DOUBLES ESTIMATES OF OZONE LOSS

Chem. Eng. News Archive, **1979**, 57 (47), p 6

Publication Date (Print): November 19, 1979

(News)

DOI: 10.1021/cen-v057n047.p006

Ozone and aerosol data-gathering satellite launched

Chem. Eng. News Archive, **1979**, 57 (9), p 7

Publication Date (Print): February 26, 1979

(News)

DOI: 10.1021/cen-v057n009.p007a

Atmospheric ozone issue looms again

JEFFREY L. FOX

Chem. Eng. News Archive, **1979**, 57 (42), pp 25–35

Publication Date (Print): October 15, 1979

(News)

DOI: 10.1021/cen-v057n042.p025

The continuing controversy about ozone

Chem. Eng. News Archive, **1979**, 57 (29), pp 34–43

Publication Date (Print): July 16, 1979

(Book Review)

DOI: 10.1021/cen-v057n029.p034

Revised ozone rules meet wide opposition

Chem. Eng. News Archive, **1979**, 57 (6), p 8

Publication Date (Print): February 5, 1979

(News)

DOI: 10.1021/cen-v057n006.p008

Group plans defense of chlorofluorocarbons

Chem. Eng. News Archive, **1980**, 58 (31), p 7

Publication Date (Print): August 4, 1980

(News)

DOI: 10.1021/cen-v058n031.p007

EPA plans limits on chlorofluorocarbons

Chem. Eng. News Archive, **1980**, 58 (41), pp 4–5

Publication Date (Print): October 13, 1980

(News)

DOI: 10.1021/cen-v058n041.p004a

OZONE LOSS RISKS ANALYZED IN NRC REPORT

Chem. Eng. News Archive, **1980**, 58 (1), p 6

Publication Date (Print): January 7, 1980

(News)

DOI: 10.1021/cen-v058n001.p006

U.S. may limit fluorocarbon output

Chem. Eng. News Archive, **1980**, 58 (16), p 7

Publication Date (Print): April 21, 1980

(News)

DOI: 10.1021/cen-v058n016.p007

Alliance fights limits on chlorofluorocarbons

Chem. Eng. News Archive, **1981**, 59 (9), p 8

Publication Date (Print): March 2, 1981

(News)

DOI: 10.1021/cen-v059n009.p008a

NASA reports drop in stratospheric ozone

Chem. Eng. News Archive, **1981**, 59 (34), p 4

Publication Date (Print): August 24, 1981

(News)

DOI: 10.1021/cen-v059n034.p004a

Nations fail global move on CFC problem

Chem. Eng. News Archive, **1982**, 60 (4), pp 44–46

Publication Date (Print): January 25, 1982

(News)

DOI: 10.1021/cen-v060n004.p044

Ozone loss increases cancer risk, report finds

Chem. Eng. News Archive, **1982**, 60 (14), p 5

Publication Date (Print): April 5, 1982

(News)

DOI: 10.1021/cen-v060n014.p005

Spring peak may destroy ozone layer

Chem. Eng. News Archive, **1983**, 61 (34), p 6

Publication Date (Print): August 22, 1983

(News)

DOI: 10.1021/cen-v061n034.p006

Ozone depletion may be less than thought

Chem. Eng. News Archive, **1984**, 62 (9), p 8

Publication Date (Print): February 27, 1984

(News)

DOI: 10.1021/cen-v062n009.p008a

ANTARCTIC OZONE HOLE Expedition data so far inconclusive

Chem. Eng. News Archive, **1986**, 64 (43), pp 6–7

Publication Date (Print): October 27, 1986

(News)

DOI: 10.1021/cen-v064n043.p006

Global ozone protocol slowly evolving

Chem. Eng. News Archive, **1986**, 64 (50), p 6

Publication Date (Print): December 15, 1986

(News)

DOI: 10.1021/cen-v064n050.p006

Response to ozone depletion

Chem. Eng. News Archive, **1986**, 64 (47), pp 47–56

Publication Date (Print): November 24, 1986

(News)

DOI: 10.1021/cen-v064n047.p047

Trade group urges fluorocarbon limits

Chem. Eng. News Archive, **1986**, 64 (38), p 5

Publication Date (Print): September 22, 1986

(News)

DOI: 10.1021/cen-v064n038.p005a

Complex Mission Set To Probe Origins of Antarctic Ozone Hole

PAMELA S. ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1987**, 65 (33), pp 7–13

Publication Date (Print): August 17, 1987

(News)

DOI: 10.1021/cen-v065n033.p007

STRATOSPHERIC OZONE: Congress pushes for global CFC ban

Chem. Eng. News Archive, **1987**, 65 (8), pp 4–5

Publication Date (Print): February 23, 1987

(News)

DOI: 10.1021/cen-v065n008.p004

U.S. officials at odds over ozone treaty approval

Chem. Eng. News Archive, **1987**, 65 (23), p 8

Publication Date (Print): June 8, 1987

(News)

DOI: 10.1021/cen-v065n023.p008a

Global accord will cut CFC use 50% by 1999

Chem. Eng. News Archive, **1987**, 65 (38), p 7

Publication Date (Print): September 21, 1987

(News)

DOI: 10.1021/cen-v065n038.p007

EPA proposes 50% cut in CFC production

DAVID HANSON

Chem. Eng. News Archive, **1987**, 65 (49), pp 5–6

Publication Date (Print): December 7, 1987

(News)

DOI: 10.1021/cen-v065n049.p005a

STRATOSPHERIC OZONE: Congress pushes for global CFC ban

Chem. Eng. News Archive, **1987**, 65 (8), pp 4–5

Publication Date (Print): February 23, 1987

(News)

DOI: 10.1021/cen-v065n008.p004

New hearing focuses on global ozone issues

Chem. Eng. News Archive, **1987**, 65 (11), p 5

Publication Date (Print): March 16, 1987

(News)

DOI: 10.1021/cen-v065n011.p005

Groups disagree over proposed CFC controls

Chem. Eng. News Archive, **1987**, 65 (19), p 5

Publication Date (Print): May 11, 1987

(News)

DOI: 10.1021/cen-v065n019.p005

Lack of market stalls new chlorofluorocarbons

LOIS EMBER

Chem. Eng. News Archive, **1987**, 65 (21), p 18

Publication Date (Print): May 25, 1987

(News)

DOI: 10.1021/cen-v065n021.p018

Firms to hasten testing of alternative CFCs

LOIS EMBER

Chem. Eng. News Archive, **1988**, 66 (2), p 6

Publication Date (Print): January 11, 1988

(News)

DOI: 10.1021/cen-v066n002.p006a

Du Pont producing test lots of CFC substitute

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1988**, 66 (6), p 6

Publication Date (Print): February 8, 1988

(News)

DOI: 10.1021/cen-v066n006.p006

Sacrificing CFCs To Save the Ozone Layer

PAMELA S. ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1988**, 66 (46), pp 59–61

Publication Date (Print): November 14, 1988

(Book Review)

DOI: 10.1021/cen-v066n046.p059

CFC PRODUCTION CUTS: EPA rules already under attack

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1988**, 66 (32), p 4

Publication Date (Print): August 8, 1988

(News)

DOI: 10.1021/cen-v066n032.p004

CFC PRODUCTION: Du Pont seeks total phaseout

MARC REISCH and PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1988**, 66 (14), pp 4–5

Publication Date (Print): April 4, 1988

(News)

DOI: 10.1021/cen-v066n014.p004

Polyurethane industry tackling CFC reductions

STEPHEN C. STINSON

Chem. Eng. News Archive, **1988**, 66 (43), pp 23–27

Publication Date (Print): October 24, 1988

(News)

DOI: 10.1021/cen-v066n043.p023

EC moves on CFCs, other air pollutants

DERMOT O'SULLIVAN

Chem. Eng. News Archive, **1988**, 66 (26), p 6

Publication Date (Print): June 27, 1988

(News)

DOI: 10.1021/cen-v066n026.p006a

EPA calls for total ban on chlorofluorocarbons

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1988**, 66 (40), p 8

Publication Date (Print): October 3, 1988

(News)

DOI: 10.1021/cen-v066n040.p008

International Gathering Plans Ways To Safeguard Atmospheric Ozone

DERMOT A. O'SULLIVAN

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (26), pp 33–36

Publication Date (Print): June 26, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n026.p033

International Effort To Examine Arctic Ozone Loss Gets Under Way

PAMELA S. ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (1), pp 30–33

Publication Date (Print): January 2, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n001.p030

CFC producers race to bring on substitutes

MARC REISCH

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (27), p 8

Publication Date (Print): July 3, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n027.p008b

Recycling, new blend to cut CFC-12 emissions

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (6), p 6

Publication Date (Print): February 6, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n006.p006a

CFC SUBSTITUTES: Candidates pass early toxicity tests

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (41), p 4

Publication Date (Print): October 9, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n041.p004

EPA Plans Health, Environmental Safety Review of CFC Substitutes

Growing number of controls

PAMELA S. ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (43), pp 14–15

Publication Date (Print): October 23, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n043.p014

Producers, Users Grapple with Realities of CFC Phaseout

PAMELA S. ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (30), pp 7–13

Publication Date (Print): July 24, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n030.p007

CFC phaseout feasible by 2000, panel says

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (33), p 5

Publication Date (Print): August 14, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n033.p005a

SAVING THE OZONE LAYER: Key issues face tough negotiations

DERMOT O'SULLIVAN and PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (11), pp 4–5

Publication Date (Print): March 13, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n011.p004

CFC alternatives may face phaseout

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (49), pp 5–6

Publication Date (Print): December 4, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n049.p005a

Meeting to explore faster CFC phaseout

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (17), pp 5a–6

Publication Date (Print): April 24, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n017.p005a

International Effort To Examine Arctic Ozone Loss Gets Under Way

PAMELA S. ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (1), pp 30–33

Publication Date (Print): January 2, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n001.p030

Union Carbide foam process uses no CFCs

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1989**, 67 (39), p 8

Publication Date (Print): September 25, 1989

(News)

DOI: 10.1021/cen-v067n039.p008a

Progress on CFC substitutes discussed

RON DAGANI

Chem. Eng. News Archive, **1990**, 68 (36), p 8

Publication Date (Print): September 3, 1990

(News)

DOI: 10.1021/cen-v068n036.p008

Fate of CFC alternatives remains up in the air

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1990**, 68 (29), pp 5–6

Publication Date (Print): July 16, 1990

(News)

DOI: 10.1021/cen-v068n029.p005a

EPA Proposes Nationwide Recycling Program for Ozone-Depleting CFCs

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1990**, 68 (19), pp 44–45

Publication Date (Print): May 7, 1990

(News)

DOI: 10.1021/cen-v068n019.p044

Scientists, CFCs, and the Ozone Layer

PAMELA S. ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1990**, 68 (14), pp 21–23

Publication Date (Print): April 2, 1990

(Book Review)

DOI: 10.1021/cen-v068n014.p021

EPA urged to speed up CFCs, halons phaseout

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1991**, 69 (49), p 5

Publication Date (Print): December 9, 1991

(News)

DOI: 10.1021/cen-v069n049.p005

Antarctic ozone hole could double in size

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1991**, 69 (1), p 7

Publication Date (Print): January 7, 1991

(News)

DOI: 10.1021/cen-v069n001.p007

Satellite data confirm CIO/ozone depletion link

Chem. Eng. News Archive, **1991**, 69 (50), p 4

Publication Date (Print): December 16, 1991

(News)

DOI: 10.1021/cen-v069n050.p004a

GLOBAL OZONE LOSSES: Tougher chlorine controls urged

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1991**, 69 (43), p 4

Publication Date (Print): October 28, 1991

(News)

DOI: 10.1021/cen-v069n043.p004

Atmosphere research satellite to study ozone

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1991**, 69 (36), p 5

Publication Date (Print): September 9, 1991

(News)

DOI: 10.1021/cen-v069n036.p005

Supersonic jets' effect on ozone still hazy

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1991**, 69 (25), p 23

Publication Date (Print): June 24, 1991

(News)

DOI: 10.1021/cen-v069n025.p023

Destruction of ozone layer is accelerating

PAMELA ZURER

Chem. Eng. News Archive, **1991**, 69 (15), p 6

Publication Date (Print): April 15, 1991

(News)

DOI: 10.1021/cen-v069n015.p006

Apêndice B – Editoriais do Periódico *Chemical & Engineering News* (1975-1991)

Ano	Data	Título	Principais Pontos	Autor
1974	23/09	Voting for Chemistry	→ Tanto individualmente como em grupos, os químicos deveriam buscar métodos para transferir alguns dos seus conhecimentos de química para o sistema legislativo.	Albert F. Plant
1974	30/09	Another disaster threatens	→ Não existe a necessidade de pânico, mas é evidente a necessidade de mais investigação sobre o problema; existe um risco potencial e não uma verdade científica. → A Associação das Indústrias Químicas já começou a trabalhar para obter resultados: necessidade de um esforço prioritário.	Albert F. Plant
1975	21/07	Reaction, overreaction, anticipation	→ Cientistas deveriam contribuir para a antecipação de problemas ambientais: evitar reações exageradas por parte de políticos e do grande público.	Albert F. Plant
1976	02/02	A matter of responsibility	→ Responsabilidade da companhia e dos indivíduos na redução dos riscos.	Albert F. Plant
1976	09/02	The struggle continues	→ Decisão de abdicar da produção de Concorde por causa da decomposição do ozônio estratosférico é precipitada: faltam argumentos concretos; → A questão do barulho deveria ser o principal argumento para que o uso dos Concorde seja abdicado.	Albert F. Plant
1976	20/12	The impact of stratospheric aviation	→ Argumentação contra a posição tomada pelo editorial de A. Plant: os NO _x produzidos pelas aeronaves poderiam contribuir com a decomposição do ozônio estratosférico	→ Harold S. Johnson - Department of Chemistry - University of California, Berkeley

1978	15/05	Scientists and the holistic approach	→ Necessidade de uma perspectiva holística para a compreensão das relações entre as especialidades e também para tratar os problemas que afligem a humanidade.	Russel Peterson - Head of Office of Technology Assessment, Congress think tank
1980	08/09	The Bond between chemistry and society	→ Química, a ciência central: deveria desempenhar um papel de destaque na definição e realização das metas sócias; necessidade: levar o conhecimento químico, e científico, à sociedade.	George E. Brown Jr. (D.-California) – chairman of the House of Representatives Subcommittee on Science, Research & Technology
1980	22/09	Academic silence	→ Fim do crescimento econômico por causa da destruição de dois instrumentos vitais pelo governo: o sistema de direitos de contrato e as grandes corporações; → Governo submisso às vontades dos ambientalistas e provocando a derrocada da indústria.	John McKetta – member of chemical engineering faculty of the University of Texas, Austin.
1986	24/11	The Sky is falling, maybe for real	→ “Buraco na camada de ozônio”: fenômeno natural ou causado pelos CFCs. → Proteção da atmosfera: depende da cooperação de sociedades em escala global	Michael Heylin Editor

Apêndice C – Resenhas de Livros do Periódico *Chemical & Engineering News* (1975-1991)

Ano	Data	Título	Livros analisados	Principais pontos	Autor
1979	16/07	“The continuing controversy about ozone”	<i>The ozone war</i> – Lydia Dotto e Harold Schiff	Obra não é uma referência científica; o debate sobre a destruição do ozônio estratosférico pelos CFCs permanece não resolvido.	Peter Block – Pesquisador <i>senior</i> na Pennwalt Corp.
1988	14/11	“Sacrificing CFCs to save the Ozone Layer”	<i>Stones in Glass House: CFCs and ozone depletion</i> – Douglas G. Cogan; e <i>Saving our skins: technical potential and policies for elimination of ozone-depleting chlorine compounds</i> – Arjun Makhijani, Annie Makhijani, Amanda Bickel	Governo e a indústria enfrentam o clamor popular para a abolição dos CFCs	Pamela Zurer – Jornalista responsável pela cobertura da destruição da camada de ozônio para a revista C& EN
1989	22/05	“Chemicals as a Cause of Câncer”	<i>In Search of Safety: Chemicals and Cancer Risk</i> - John D. Graham, Laura C. Green and Marc J. Roberts	Para a prevenção do câncer, mudanças no estilo de vida são mais importantes do que a exposição a produtos químicos	John W. Weisburger – Membro <i>senior</i> da <i>American Health Foundation</i> e diretor emérito do <i>Naylor Dana Institute</i>

1990	02/04	“Scientists, CFCs, and the Ozone Layer”	<i>Ozone Crisis: the 15-year evolution of sudden Global Emergency</i> – Sharon L. Roan, John Wiley <i>et al.</i>	Interesses políticos se misturaram com a ciência para complicar o prolongado debate sobre o banimento dos CFCs para proteger a camada de ozônio da Terra	Pamela Zurer
1990	16/04	“Our Planet’s Environmental Cataclysm”	<i>The End of Nature</i> – Bill McKibben	Humanos deturparam tanto o planeta que nenhum sistema natural independente e selvagem existe mais	Ralph Cicerone – Chefe do Departamento de Geociências da Universidade da Califórnia, Irvine
1991	11/06	“Telling the Public about Risks”	<i>Chemicals, the Press, and the Public: a journalist’s guide to reporting on chemicals in the community</i> – Environmental Health Center; e <i>A citizen’s right to know: risk communication and public policy</i> – Susan G. Hadden	Os cidadãos devem ter o direito de conhecer os riscos químicos, e também o direito de saber como agir frente aos problemas	Carol Chess – diretora do <i>Environmental Communication Research Program</i> da Universidade Rutgers

Apêndice D – Cartas do Periódico *Chemical & Engineering News* (1975-1991)

Ano	Data	Título	Principiais pontos	Autor/ Local
1975	21/04	“Ozone depletion”	<p>→ A destruição do ozônio estratosférico pelos aviões supersônicos e pelos CFCs;</p> <p>→ Interessado na aplicação das ciências em conexão como o meio ambiente e a ecologia;</p> <p>→ Variação da destruição do ozônio estratosférico pelos aviões supersônicos e CFCs;</p> <p>→ Não existia a compreensão do que estava acontecendo na atmosfera.</p>	Victor E. Erlich/ consultor (escreveu tese de doutorado acerca do efeito da concentração de O ₂ em uma mistura com N ₂ na formação de ozônio a partir do impacto de descargas elétricas).
1975	09/06	“About ozone layer”	<p>→ Destruição da camada de ozônio pelos aviões supersônicos e CFCs</p> <p>→ Perigo da radiação uv cancerígena;</p> <p>→ Sugestão: U.S. Weather Bureau deveria viabilizar estações que controlassem a radiação UV.</p>	William F. Yates, Monsanto Polymers Co.
1975	junho	“Ozone depletion”	<p>→ Decomposição fotosensibilizada do ozônio pelo cloro ocorre somente em altas concentrações de ozônio (maior que 10% a pressão atmosférica e temperatura ambiente) e não é uma reação em cadeia;</p> <p>→ Diversas reações podem ocorrer em concentrações baixas de ozônio - menores que 10% nas condições descritas no item anterior (incluindo aí as reações com H₂O, NO₂, etc).</p>	J.W.T. Spinks, University of Saskatchewan, Canadá
1975	07/06	“Fuel for SST's”	<p>→ O impacto econômico e ambiental causado pelos combustíveis fósseis dos aviões supersônicos na atmosfera.</p>	Gilbert F. Pollnow Department of Chemistry, University of Wisconsin, Oshkosh.

1975	25/08	“Ozone layer”	<p>→ A controvérsia sobre os aviões supersônicos se aproxima da visão histórica com que os problemas ambientais são tratados;</p> <p>→ O ozônio é formado pela ação do sol sobre oxigênio: regeneração da camada de ozônio.</p>	A.N.Kay Geneva, III
1975	01/09	“Chrofluoro-carbon ban”	→ Estado de Oregon se manifestou favorável ao banimento dos CFCs como propelente de aerossóis (outras unidades da federação deveriam, segundo Pitzer, seguir o mesmo caminho).	K.S.Pitzer, Professor of Chemistry, University of Califórnia, Berkeley
1975	22/09	“Halocarbon propellants”	→ “Nossa preocupação com o ozônio parece ter provocado o esquecimento de um outro perigo para a saúde associados com o uso de propelentes de halocarbonos, isto é, a sua decomposição em produtos tóxicos em contato com chamas e objetos quentes. Esta pode ser uma causa de doença pulmonar e, portanto, pode ser tão importante como a exposição ultravioleta.” (p.74)	Lawrence Stein Downers Grove III
1975	22/09	“Halocarbon propellants”	<p>→ “A <i>Du Pont</i> já tinha conhecimento destes potenciais riscos no passado e, consciente de que era uma possibilidade remota em determinadas situações, alertou o público evitar o contato das concentrações elevadas de fluorocarbono com chamas” (p.74);</p> <p>→ Indústria está estimulando novas pesquisas para que substitutos sejam encontrados.</p>	Charles S. Booz Jr. Public Affairs Dept., Du Pont, Wilmington
1976	19/01	“Ozone layer again”	<p>→ Como podemos acreditar que a camada de ozônio existe?</p> <p>→ Cientistas deveriam para os problemas ambientais que estão acontecendo de fato.</p>	Howard P.Moore Columbus, Ohio
1976	05/04	“Concorde decision”	→ O leitor se posiciona contra a decisão de limitar os vôos do Concorde enfatizando suas vantagens (diminuição do preço e do tráfico aéreo)- o editorial de Fev. 9/1977 coaduna com essa posição.	J. Whitfield Robbins Fulton, N.Y.
1976	05/04	“Concorde decision”	→ O leitor se mostra favorável ao parecer da National Academy of Science que reforça a idéia de banimento dos Concorde e contra o editorial de 9 de fevereiro de 1976.	Malcolm M. Renfrew Moscow, Idaho

1976	25/10	“Stratospheric ozone”	<p>→ O maior perigo da diminuição do ozônio estratosférico é o aumento dos casos de câncer de pele;</p> <p>→ O sistema estratosférico não deve ser perturbado: aviões supersônicos e CFCs devem ser banidos;</p> <p>→ Humanidade pode viver sem aviões supersônicos e CFCs.</p>	Julian Heicken Professor of Chemistry, Pennsylvania State University
1976	22/11	“Measuring chlorofluorocarbons”	<p>→ Os últimos estudos do ozônio estratosférico feitos pela NASA ainda não permitem afirmar que a compreensão dessa questão esteja próxima;</p> <p>→ Monitoramento da radiação ultravioleta para testar a veracidade da hipótese de Rowland-Molina (considerar o tempo meia-vida das espécies envolvidas).</p>	E.L. Lippert Jr., Ph.D. Corporate Technology, Owens-Illinois, Toledo.
1976	29/11	“Stratospheric Ozone”	<p>→ Aumento da radiação ultravioleta causado pela perturbação da quantidade de ozônio na estratosfera, em especial na região do equador- onde a camada de ozônio é mais fina;</p> <p>→ Necessidade futura de uma elevada proteção contra os raios ultravioleta – imposto por uma ação externa;</p> <p>→ Possível aumento de temperatura na troposfera (cerca de 0,16% para uma diminuição de 10% da quantidade de ozônio);</p> <p>→ Heickeln (Oct.25, p.5) : modificações no balanço de ozônio.</p>	Frederick Kaufman, Professor of Chemistry, University of Pittsburgh
1976	29/11	Ban chlorofluorocarbons	<p>→ Fluorine Division’s Symposium;</p> <p>→ Favorável ao banimento dos CFCs: pesquisas apontam que os CFCs podem provocar alterações psicóticas em animais e atacar a camada de ozônio. No tocante a destruição da camada de ozônio, o autor enfatiza a importância dos computadores para essa caracterização.</p>	Mildred E.Olson Associate Scientist and Associative Member, ACS Division of Chemical Information & Computer Sciences.
1976	13/12	Back to the dark ages?	<p>→ Prejuízo causado pela abdicação das tecnologias: the National Academy of Science conclui que não havia evidências mensuráveis disponíveis para justificar o banimento dos CFCs.</p>	A.L.Jones Cleveland

1977	31/01	“No concorde with Concorde”	→ Posição favorável ao banimento dos aviões supersônicos em razão do elevado barulho produzidos por estes (cidadão reside próximo ao aeroporto Kennedy).	Paul B. Slawter Executive Vice-President, Rosston, Kremer & Slawter Inc., New York, N.Y.
1977	31/01	“More on aerosol dangers”	→ Não concorda com o ponto de vista de Olson (Nov.29, 1976) e da American Chemical Society: CFCs foram desenvolvidos por Midgley para serem usados como fluído refrigerante ou propelente, sendo que suas propriedades tóxicas foram testadas em vários animais; → Não existem evidências que o ozônio estratosférico esteja sendo destruído pelos CFCs.	David R. Lide Jr. Editor, Journal of Physical and Chemical Reference Data.
1977	31/01	“More on aerosol dangers”	→ Olson (Nov.29, 1976) ignorou o fato da toxicidade ser relacionada com a dose: de acordo com o seu julgamento, todas as coisas na terra deveriam ser banidas. Além de tudo, o oxigênio é rapidamente fatal se respirado em concentração maior do que 1 ppm!	→ James P. Lodge Jr. Boulder, Colorado
1977	31/01	“More on aerosol dangers”	→ “Caso Olson leve alguns segundos a mais para programar seu computador, ela poderia achar que a partir de agora não há nenhuma evidência real de destruição do ozônio na estratosfera por clorofluorocarbonos, nem há qualquer indicação de um aumento dos raios ultravioleta que atinge a a terra na faixa de 290 a 320 nm, que é o maior responsável por queimaduras solares, câncer de pele e outros efeitos biológicos.” (p.3)	→ Morris J. Root ACS member Barr Co., Niles, Ill.
1977	14/02	“Nitrogen in the stratosphere”	→ Como o leitor não é um químico e sim um meteorologista (nas suas próprias palavras), ele é cético em acreditar que a injeção de nitrogênio propiciaria a redução de ozônio (ressalvas à posição de H. Johnson). Além da própria limitação da química do processo, o leitor cita que as observações da quantidade total de ozônio seriam inadequadas e que o mecanismo de transporte na estratosfera necessita ser melhor.	Hugh W. Ellsaesser. Livermore, Calif.

1977	25/07	“Protective ozone layer”	<p>→ “Estou intrigado com a lógica aplicada à questão de interesse atual sobre os efeitos destrutivos da clorofluorocarbonos frente a camada protetora de ozônio. Embora eu acredite que as provas concretas para apoiar a destruição da hipótese de ozônio sejam pequenas, eu estou disposto a admitir que isso poderia acontecer. Mas aqui é onde eu compactuar com os pessimistas.” p.2</p> <p>→ “Como a camada de ozônio se formou na atmosfera superior em um primeiro momento? Se a camada de ozônio é fina como a química propões, a radiação ultravioleta não deveria penetrar mais facilmente? - produzindo uma maior incidência de câncer de pele, dizem alguns.” (p.2)</p>	William N. Maclay Monroeville, Pa
1977	31/10	“Potential ozone destruction”	→ Não existem processos troposféricos relevantes para destruição dos CFCs.	F.S. Rowland Professor of Chemistry, University of Califórnia, Irvine
1978	01/05	“Choose your risk”	→ Os indivíduos não podem escolher os riscos ambientais segundo fatores econômicos. Posição contrária a Elssaesser, Jan.3, 1978, p.2): “ Elssaesser assumiria os custos médicos dos casos de câncer adicionais se a falta de controle dos CFCs resultasse em um aumento da taxa de casos de câncer?”	Selina Bendix, Ph.D Reserch Director, Bendix Reserch, Berkeley, Califórnia.
1979	20/08	“The ozone controversy”	→ O leitor faz referência ao trabalho de Groves, Mattingly and Tuck [Nature, 273, 711, june 29, 1978], chamando atenção para o ato do aumento do aumento da concentração de CO ₂ implicar implicar em um aumento da “camada de ozônio”, anulando assim o efeito destrutivo dos CFCs – dessa forma, o banimento dos CFCs em aerossóis pode ser discutido.	Montfort A. Johnsen. Vice President, R D, Peterson/ Puritan Inc., Danville, III.
1979	24/09	“The ozone war”	→ Necessidade de uma melhor compreensão científica acerca dos CFCs na atmosfera antes de sua regulação (a simples média das mudanças de dois efeitos calculados pode ser muito enganosa).	B. Peter Block Chairman, External Affairs Task Force, CMA Fluorocarbon Project Panel; Pennwalt Corp., King of Prussia, Pa.

1979	26/11	“Atmospheric aerosol research”	→ Argumenta contra a influência significativa do N ₂ O lançado por indústrias na quantidade de ozônio estratosférico.	Donald H. Stedman University of Michigan, Ann Arbor
1980	03/11	“Comments to John McKetta”	→ Chuvas com pH na ordem de 4 pode aumentar a quantidade de átomos de cloro na estratosfera.	M. Jerome Bigelow
1981	23/02	“Regulating pollutants”	→ A importância da EPA (Environment Protection Agency); → Medo que os poluentes possam afetar a “camada de ozônio”: Nós sabemos o que acontece quando os organoclorados evaporam? Eles são carregados pelas chuvas e se acumulam nos corpos d’água? O que acontecerá se eles, também, afetarem a camada de ozônio?	Helen R. Rutledge Acton, Mass.
1986	11/08	“Resilient ionosphere”	→ Elogios ao artigo “Chemistry in Thermosphere and Ionosphere”: foco nas espécies químicas que podem ser formadas com a radiação solar.	Paul Bernhardt Atmospheric Sciences Earth and Space Division Los Alamos National Laboratory
1987	10/08	“Atmospheric ozone”	→ Resultados de laboratórios estariam sendo tão bem manipulados que até pessoas bem instruídas podem aceitá-los como provas de mudanças climáticas globais; → Com relação á variação do ozônio atmosférico divulgada por Callis (Nov. 3, 1986, p.5) , esta aparentemente não tem encontrado muitos divulgadores – talvez pelo fato dos efeitos dessa variação serem bem piores que os imaginados.	G. Gruebwald Eric, Pa.
1987	novembro	“Rejuvenating the ozone layer”	→ Previsões apontam que a concentração de ozônio na camada de ozônio será 6% menor que a atual (ano de 1987); → A fim de evitar as consequências ecológicas globais causadas pelo aumento da radiação uv, o leitor propôs o enriquecimento da camada de ozônio com ozônio feito pelo homem (o leitor discute como essa operação poderia ser feita).	Leon Y. Sadler Departament os Chemical Engineering, University of Alabama, Tuscaloosa.

1988	29/02	“Ozone Layer rejuvenation”	→ O autor discute a hipótese de introdução de ozônio artificial na estratosfera de Leon Sadler (Nov.9,1987,p.2), reforçando o fato da atmosfera ser dinâmica, a alta reatividade do ozônio e a existência de ciclos catalíticos relacionados, assim com os evidenciados pelo buraco de ozônio na Antártida.	Michael C. MacCracken Atmospheric and Geophysical Sciences Division, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California
1989	26/06	“Ozone depletion”	→ O leitor se mostra cético sobre a possibilidade de destruição do ozônio pelos CFCs; → Suspeita que a “ozone hysteria” causado pelo “buraco na camada de ozônio” seja na verdade um fenômeno natural de origem eletromagnética que se repete há milênios.	Roland A.Beck Whittier, California
1989	10/07	“Health and environment”	→ A lista de questões que necessitam ser resolvidas com urgência é desesperadoramente longa: destaque para a destruição da camada de ozônio pelos CFCs.	David Taber Chicago
1989	10/07	“Environmental news”	→ O leitor questiona a precisão com que as notícias de meio ambiente são tratadas pelo periódico C & E News, incluindo aí as pesquisas recentes sobre a formação de buracos na camada de ozônio na Antártida e no Ártico.	Jurgen H. Thiele Ecotech, Mannheim, West Germany
1989	17/07	“Ozone-depleting chemicals”	→ O leitor demonstra ser a favor do banimento do CFCs: “dadas as terríveis consequências da destruição da camada de ozônio, posso entender o porquê de pessoas conscientes serem favoráveis ao banimento dos CFCs e substâncias relacionadas”. (p.135.) → O leitor propõe a criação de taxas sobre as substâncias químicas que causam destruidoras do ozônio.	Alexander R. Kovnat West Bloomfield Township, Mich.
1989	04/09	“Methyl Chloroform concern”	→ Estudos da EPA mostram que o metil-clorofórmio também pode afetar o ozônio estratosférico- o leitor chama esses estudos de “hipóteses errôneas”; → O metil-clorofórmio não pode ser considerado um substituto para os CFCs em muitos dos assuntos discutidos no Protocolo de Montreal.	Paul A. Crammer President, Halogenated Solvents Industry

1989	11/09	“Upper atmosphere”	<p>→ O leitor concorda com a posição de Beck (junho 12, 1989 p.2);</p> <p>→ Sugestão: estudo da distribuição de outros destruidores do ozônio em torno do globo;</p> <p>→ Apesar dos especialistas concordarem que os CFCs e outros poluentes podem remover o ozônio estratosférico, são necessárias explicações alternativas e soluções possíveis para o problema.</p>	John R. Milne Fullerton, Califórnia
1990	29/01	“Ozone hysteria”	<p>→ As conclusões obtidas acerca do buraco na camada de ozônio podem ter sido obtidas a partir de experimentos que produzem resultados desejados;</p> <p>→ Seria embaraçoso se o ozônio retornasse após um período de declínio da atividade solar;</p> <p>→ Necessidade: pesquisa sem vícios e independente.</p>	Jim Sloss, Benicia, Califórnia.
1990	março	“Fuel for SST”	<p>→ A questão dos combustíveis usados nos aviões supersônicos não foi devidamente discutida;</p> <p>→ Petróleo como combustível: “wishing will make it so” Walt Disney.</p>	Albert A. Bar University of Colorado, Prof. Emeritus, Boulck.
1990	23/04	“Toxicity of CFCs”	<p>→ Posição contrária a Charles L. Elkins, diretor da EPA, o qual afirma que “nós não devemos nos preocupar com a toxicidade que qualquer CFCs podem oferecer para os funcionários”;</p> <p>→ Risco oferecido pelos CFCs: CFCs causam disritmia ventricular (diferente de asfixia) e são carcinogênicos quando expostos juntamente com hidrocarbonetos poliaromáticos aminofluorados (maior periculosidade em espaço fechados e/ou mal ventilados) – primeiras pesquisas sobre a toxicidade de CFCs datam de 1968.</p>	<p>John Osterloh Associate Professor of Clinical Laboratory Medicine; University of California, San Francisco Director, Toxicology Laboratories, San Francisco General Hospital.</p> <p>Pierre-Etienne Senical Toxicology fellow; University of California, San Francisco.</p>

1990	30/04	“Scientific truth”	<p>→ A verdade científica pode ser questionada: caso o argumento divulgado pela revista Science que os radicais provenientes dos CFCs poderiam deteriorar a camada de ozônio e acelerar o efeito estufa o o Alaska já teria o clima das ilhas do sul da Califórnia, e a taxa de crescimento do câncer de pele seria dez vezes maior do que a atual.</p> <p>→ A espaçonave Terra pode morrer em virtude dos resíduos químicos: isso em nome do lucro e do progresso.</p>	Edward M. Fashing Sr. Sturgenon, Mo.
1990	16/07	“Ozone control”	<p>→ O leitor discute a revisão do livro “Ozone Crisis: the 15-year Evolution of Sudden Global Emergency” feita por Pamela S. Zurer, posicionando contra a redução de emissões de CFCs e gases causadores do efeito estufa;</p> <p>→ Argumento: “não foi observado nenhum aumento de temperatura em dez anos!”, “não temos conhecimento se o buraco na camada de ozônio está oscilando de tamanho em sincronismo como as tempestades solares ou algum outro fenômeno cósmico, e possivelmente estes ciclos podem estar acontecendo por milhares de anos sem a intercessão de CFCs” (p.45);</p> <p>→ “Seria benéfico prevenir a histeria e a demanda por novas leis e regulamentos” até que nós possamos compreender os reais perigos propiciados pelas substâncias questionadas” (p.45).</p>	Alfred N. Rogers Pleasanton, Califórnia
1990	23/07	“Ozone depletion”	<p>→ Ralph Cicerone e Pamela Zurer tratam a diminuição do ozônio estratosférico como sendo um fato em suas revisões de livros (C&Eng. News: 16 de abril, p.31 e 2 de abril, p.21, respectivamente);</p> <p>→ A diminuição global do ozônio pode ser apenas um artefato de análises, enquanto a diminuição do ozônio sobre a Antártida é real;</p> <p>→ Teoria deve mudar para explicar os fatos: cita o caso do aumento da temperatura global não ter sido detectado até então;</p> <p>→ Não concorda com a afirmação de Paula Zurer de que a vida tem um formato pior do que há vinte anos atrás (afirma que a jornalista não usa um critério como expectativa de vida ou renda per capita nessa comparação).</p>	S. Fred Singer Director, Science & Environmental Policy Project, Washington Institute for Values in Public Policy Washington, D.C.

1990	06/08	“Rigorous science”	<p>→ Comentários sobre a carta de Sr. Fashing(C&EN., Abril 30,p.3) de alguém que “acredita no rigor científico”;</p> <p>→ Afirma que a único fato conhecido sobre os CFCs é que eles reagem e destroem o ozônio;</p> <p>→ É necessário se encontrar a verdade científica antes, com os resultados definidos racionalmente, antes de abolir o uso de compostos em razão do medo;</p> <p>→Crítica aos cientistas: estes estariam entrando na arena da filosofia e da política deixando de lado suas pesquisas.</p>	James H. Bentley Alamogordo, N.M.
1990	29/10	“Science Education”	<p>→ Ensino de conteúdos químicos a partir de tópicos do cotidiano como “a camada de ozônios e os CFCs”: aumento do interesse dos estudantes pela química.</p>	John W. Moore, Director Anthony T. Jacob, Fellow Institute of Chemical Education University of Wisconsin, Madison
1990	29/10	“Environmental hazards”	<p>→ Participação humana na formação dos buracos de ozônio sazonais - na Antártida e no Ártico - ainda necessita ser comprovada;</p> <p>→Monitoramento da radiação solar ultravioleta entre os anos de 1974 e 1985 indicou uma leve diminuição em oito estações [Science, 239,762 (1988)] “Se o ozônio[estratosférico] está diminuindo, por que não há um aumento da radiação UV? Talvez outros fatores estejam influenciando na atenuação da radiação UVB do que era suspeito” (p.3);</p> <p>→ “Uma nova indústria baseada nos riscos ambientais presumidos está sendo criada a custo do público, com pouca ou nenhuma justificção.” (p.3)</p>	John A. Johnson, University of Nebraska Medical Center

1990	06/11	“Ozone layer”	<p>→ Concorda com os posicionamentos de Ronald A. Beck (June 26, p.62);</p> <p>→ Dúvidas em relação à destruição do ozônio estratosférico pelos CFCs: 1) Por que as moléculas de CFCs possuem uma massa maior do que as moléculas de ar e não sofrem o efeito da gravidade? 2) Por que os CFCs são produzidos majoritariamente no hemisfério norte e o buracos na camada de ozônio se forma no hemisfério sul?</p> <p>→ O leitor menciona uma reportagem, sem citar referência, que os óxidos de nitrogênio podem proteger a camada de ozônio contra a destruição provocada pelo mecanismo catalisado pelos átomos de cloro;</p> <p>→ Enfatiza a importância dos CFCs para os equipamentos de ar condicionada: esperança que os substitutos dos CFCs sejam rapidamente encontrados.</p>	Thomas H. Donnelly, Western Springs, IL.
1991	08/04	“Ozone depletion”	<p>→ Rowland compara a destruição do ozônio estratosférico pelos CFCs 12 e 113, enfatizando que o CFC-12 potencial de destruição maior e concentrações estratosféricas maiores.</p>	F. Sherwood Rowland Professor of Chemistry University of Califórnia, Irvine

Apêndice E – Artigos e notícias do periódico *Nature* (1974-1990)*Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atomcatalysed destruction of ozone*

Mario J. Molina & F. S. Rowland

Nature 28 June 1974 249, 810-812

doi:10.1038/249810a0

Atmospheric halocarbons and stratospheric ozone

J. E. LOVELOCK

Nature 22 November 1974 252, 292-294

doi:10.1038/252292a0

Stratospheric ozone as viewed from the Chappuis band

Ronald J. Angione, Edward J. Medeiros & Robert G. Roosen

Nature 27 May 1976 261, 289-290

doi:10.1038/261289a0

Atmospheric temperature calculated for ozone depletions

RUTH A. RECK

Nature 9 September 1976 263, 116-117

doi:10.1038/263116a0

USA: Treading softly on the ozone layer

Colin Norman & Chris Sherwell

Nature 23 September 1976 263, 268-269

doi:10.1038/263268a0

*FDA's aerosol ban**Nature* 21 October 1976 263, 629-629

doi:10.1038/263629a0

*Warning on fluorocarbons**Nature* 2 December 1976 264, 394-394

doi:10.1038/264394b0

The observability of possible atmospheric removal processes for chlorfluorocarbons 11 and 12

Robert J. Gelinas, David K. Hall & Robert G. Nelson

Nature 17 March 1977 266, 229-331

doi:10.1038/266229a0

Methyl chloroform in the troposphere as an indicator of OH radical abundance

J. E. LOVELOCK

Nature 267 5 May 1977, 32-32

doi:10.1038/267032a0

Sweden follows US example on aerosols

David Dickson

Nature 15 December 1977 270, 552-552

doi:10.1038/270552a0

A threat from fluorocarbons?

A Correspondent

Nature 16 November 1978 276, 215-216

doi:10.1038/276215a0

Measurement of carbon tetrafluoride in the atmosphere

R. A. RASMUSSEN, S. A. PENKETT & N. PROSSER

Nature 15 February 1979 277, 549-551

doi:10.1038/277549a0

*US scientists double estimates of ozone depletion rate**Nature* 15 November 1979 282, 220-220

doi:10.1038/282220a0

Influence of stratospheric cooling from CO₂ on the ozone layer

I. S. A. Isaksen, E. Hesstvedt & F. Stordal

Nature 10 January 1980 283, 189-191

doi:10.1038/283189a0

Dutch aerosol propellants ban imminent

Casper Schuurin

Nature February 1980 283, 807-807

doi:10.1038/283807e0

Controversy buried

MICHAEL ALLABY & J.E. LOVELOCK

Nature 26 June 1980 285, 610-610

doi:10.1038/285610b0

Possible ozone reductions and UV changes at the Earth's surface

J. A. Pyle & R. G. Derwent

Nature 24 July 1980 286, 373-375

doi:10.1038/286373a0

Measurements of CHFCl_2 in background tropospheric air

S. A. Penkett, N. J. D. Prosser, R. A. Rasmussen & M. A. K. Khalil

Nature 21 August 1980 286, 793-795

doi:10.1038/286793a0

Two-dimensional model calculations of stratospheric HCl and ClO

C. Miller, J. M. Steed, D. L. Filkin & J. P. Jesson

Nature 4 December 1980 288, 461-464

doi:10.1038/288461a0

Congress faces decision on CFC

David Dickson

Nature 3 September 1981 293, 3-4

doi:10.1038/293003a0

Increase of CHClF_2 in the Earth's atmosphere

M. A. K. Khalil & R. A. Rasmussen

Nature 27 August 1981 292, 823-824

doi:10.1038/292823a0

Two-dimensional modelling of potential ozone perturbation by chlorofluorocarbons

J. M. Steed, A. J. Owens, C. Miller, D. L. Filkin & J. P. Jesson

Nature 28 January 1982 295, 308-311

doi:10.1038/295308a0

On the validation of one-dimensional CFC–ozone depletion models

R. G. Derwent & A. E. J. Eggleton

Nature 1 October 1981 293, 387-389

doi:10.1038/293387a0

Biologically damaging radiation amplified by ozone depletions

S. A. W. Gerstl, A. Zardecki & H. L. Wiser

Nature 26 November 1981 294, 352-354

doi:10.1038/294352a0

Two-dimensional modelling of potential ozone perturbation by chlorofluorocarbons

J. M. Steed, A. J. Owens, C. Miller, D. L. Filkin & J. P. Jesson

Nature 28 January 1982 295, 308-311

doi:10.1038/295308a0

A 2-D model calculation of atmospheric lifetimes for N₂O, CFC-11 and CFC-12

Malcolm K. W. Ko & Nien Dak Sze

Nature 27 May 1982 297, 317-319

doi:10.1038/297317a0

Atmospheric chemistry: Ozone fears revisited

H.I. Schiff

Nature 15 November 1984 312, 194-195

doi:10.1038/312194b0

Reductions in ozone at high concentrations of stratospheric halogens

Michael J. Prather, Michael B. McElroy & Steven C. Wofsy

Nature 15 November 1984 312, 227-231

doi:10.1038/312227a0

Two-dimensional modelling of potential ozone perturbation by chlorofluorocarbons

J. M. Steed, A. J. Owens, C. Miller, D. L. Filkin & J. P. Jesson

Nature 28 January 1982 295, 308-311

doi:10.1038/295308a0

Ozone depletion: Europe takes a cheerful view

Anna Lubinska

Nature 28 February 1985 313, 727-727

doi:10.1038/313727a0

Increasing abundance of CBrClF₂ in the atmosphere

S. Lal, R. Borchers, P. Fabian & B. C. Krüger

Nature 11 July 1985 316, 135-136

doi:10.1038/316135a0

Continental sources of halocarbons and nitrous oxide

Michael J. Prather

Nature 19 September 1985 317, 221-225

doi:10.1038/317221a0

Are Antarctic ozone variations a manifestation of dynamics or chemistry?

Ka-Kit Tung, Malcolm K. W. Ko, José M. Rodriguez & Nien Dak Sze

Nature 28 August 1986 322, 811-814

doi:10.1038/322811a0

Nimbus 7 satellite measurements of the springtime Antarctic ozone decrease

R. S. Stolarski, A. J. Krueger, M. R. Schoeberl, R. D. McPeters & P. A. Newman.

Nature 28 August 1986 322, 808-811

doi:10.1038/322808a0

Stratospheric ozone: Global limit for CFC emissions

Tim Beardsley

Nature 25 September 1986 323, 286-286

doi:10.1038/323286a0

Ozone depletion: US gets tough on CFC emissions

Tim Beardsley

Nature 13 November 1986 324, 102-102

doi:10.1038/324102b0

Deaths foretold

Tim Beardsley

Nature 13 November 1986 324, 102-102

doi:10.1038/324102c0

Causes and effects of a hole

J. J. Margitan

Nature 22 January 1987 325, 297-298

doi:10.1038/325297a0

US call to end CFC emissions

Steven Dickman

Nature 26 February 1987 325, 748-748

doi:10.1038/325748a0

Europe agrees to act for protection of the ozone layer

Kathy Johnston

Nature 26 March 1987 326, 321-321

doi:10.1038/326321a0

Ozone layer protection deal still up in the air

Kathy Johnstone

Nature 7 May 1987 327, 3-3

doi:10.1038/327003a0

West Germany strides towards CFC elimination by 2000

Steven Dickman

Nature 14 May 1987 327, 93-93

doi:10.1038/327093d0

Expedition faces Antarctic ozone hole mysteries

Alun Anderson

Nature 6 August 1987 328, 463-463

doi:10.1038/328463a0

UK publishes report on CFCs based on old data

Kathy Johnston

Nature 13 August 1987 328, 568-568

doi:10.1038/328568b0

New US position threatens to jeopardize CFC agreement

Kathy Johnston

Nature 27 August 1987 328, 749-749

doi:10.1038/328749c0

First steps in ozone protection agreed

Kathy Johnston

Nature 17 September 1987 329, 189-189

doi:10.1038/329189b0

Looking ahead to the greenhouse after ozone agreement reached

Kathy Johnston

Nature 24 September 1987 329, 277-277

doi:10.1038/329277a0

Ozone hole deeper than ever

David Lindley

Nature 8 October 1987 329, 473-473

doi:10.1038/329473a0

An important uncertainty in coupled chlorine-carbon dioxide studies of atmospheric ozone modification

R. S. Eckman, J. D. Haigh & J. A. Pyle

Nature 21 October 1987 329, 616-619

doi:10.1038/329616a0

First steps towards preserving the Earth's ozone layer

David Lindley

Nature 10 December 1987 330, 513-513

doi:10.1038/330513b0

Future emission scenarios for chemicals that may deplete stratospheric ozone

James K. Hammitt, Frank Camm, Peter S. Connell, William E. Mooz, Kathleen A. Wolf.

Nature 31 December 1987 330, 711 - 716

doi:10.1038/330711a0

CFC protocol agreed

Jospeh Palca

Nature 24 March 1988 332, 295-295

doi:10.1038/332295c0

New and unexpected reactivity of saturated fluorocarbons

David D. MacNicol & Colin D. Robertson

Nature 3 March 1988 332, 59-61

doi:10.1038/332059a0

CFCs cause part of global ozone decline

David Lindley

Nature March 1988 332, 293-293

doi:10.1038/332293b0

A measurement of the altitude variation of greenhouse radiation from CFC-12

W. F. J. Evans

Nature June 1988 333, 750-752

doi:10.1038/333750a0

Atmosphere may rise to the top of the West German agenda

Steven Dickman

Nature 11 August 1988 334, 459-459

doi:10.1038/334459a0

Measurements of atmospheric BrOx radicals in the tropical and mid-latitude atmosphere

O. N. Singh, R. Borchers, P. Fabian, S. Lal & B. H. Subbaraya

Nature 18 August 1988 334, 593-595

doi:10.1038/334593a0

Future CFC concentrations under the Montreal Protocol and their greenhouse-effect implications

T. M. L. Wigley

Nature 22 September 1988 335, 333-335

doi:10.1038/335333a0

Call for total ban of production and use of chlorofluorocarbons

Carol Ezzell

Nature 6 October 1988 335, 483-483

doi:10.1038/335483a0

HOW deep is an 'ozone hole'?

J. C. FARMAN, B. G. GARDINER & J. D. SHANKLIN

Nature 17 November 1988 336, 198-198

doi:10.1038/336198a0

International expedition studies Arctic ozone

Joseph Palca

Nature 5 January 1989 337, 3-3

doi:10.1038/337003a0

Evidence for a decline in the atmospheric accumulation rate of CHClF₂ (CFC-22)

Curtis P. Rinsland, Douglas W. Johnson, Aaron Goldman & Joel S. Levine

Nature 9 February 1989 337, 535-537

doi:10.1038/337535a0

London ozone meeting wins some hearts

Christine McGourty

Nature 9 March 1989 338, 101-101

doi:10.1038/338101a0

CFC photolysis

M. E. MCINTYRE

Nature 6 April 1989 338, 456-456

doi:10.1038/338456b0

Japan supports ban by the year 2000

David Swinbanks

Nature 27 April 1989 338, 694-694

doi:10.1038/338694b0

Understanding of science

WILLIAM BAINS

Nature 3 August 1989 340, 336-336

doi:10.1038/340336a0

On the road to Montreal

Philippa Lloyd

Nature 19 October 1989 341, 578-578

doi:10.1038/341578a0

Global atmospheric chemistry of CFC-123

Ronald G. Prinn & Amram Golombek

Nature 1 March 1990 344, 47-49

doi:10.1038/344047a0

Effects of CFC substitutes

Keith Shine

Nature 5 April 1990 344, 492-493

doi:10.1038/344492b0

Stratospheric ozone depletion and future levels of atmospheric chlorine and bromine

Michael J. Prather & Robert T. Watson

Nature 19 April 1990 344, 729-734

doi:10.1038/344729a0

Model calculations of the relative effects of CFCs and their replacements on global warming

Donald A. Fisher, Charles H. Hales, Wei-Chyung Wang, Malcolm K. W. Ko & N. Dak Sze

Nature 5 April 1990 344, 513-516

doi:10.1038/344513a0

Model calculations of the relative effects of CFCs and their replacements on stratospheric ozone

Donald A. Fisher, Charles H. Hales, David L. Filkin, Malcolm K. W. Ko, N. Dak Sze.

Nature 5 April 1990 344, 508-512

doi:10.1038/344508a0

Letting the bald patches show

Frederick Urbach

Nature 12 April 1990 344, 598-598

doi:10.1038/344598a0

Stratospheric ozone depletion and future levels of atmospheric chlorine and bromine

Michael J. Prather & Robert T. Watson

Nature 19 April 1990 344, 729-734

doi:10.1038/344729a0

Britain going CFC-free?

Peter Aldhous

Nature 14 June 1990 345, 562-562

doi:10.1038/345562c0

Progress towards a quantitative understanding of Antarctic ozone depletion

Susan Solomon

Nature 27 September 1990 347, 347-354

doi:10.1038/347347a0

Tropospheric lifetimes of three compounds for possible replacement of CFC and halons

A. C. Brown, C. E. Canosa-Mas, A. D. Parr, K. Rothwell & R. P. Wayne

Nature 11 October 1990 347, 541-543

doi:10.1038/347541a0

Evaluating ozone depletion potentials

SUSAN SOLOMON & ADRIAN TUCK

Nature 15 November 1990 348, 203-203

doi:10.1038/348203a0

Evaluating ozone depletion potentials

DONALD A. FISHER, MALCOLM KO, DONALD WUEBBLES & IVAR ISAKSEN

Nature 15 November 1990 348, 203-204

doi:10.1038/348203b0

Future changes in stratospheric ozone and the role of heterogeneous chemistry

Guy P. Brasseur, Claire Granier & Stacy Walters

Nature 13 December 1990 348, 626-628

doi:10.1038/348626a0

Evidence for stratospheric ozone-depleting heterogeneous chemistry on volcanic aerosols from El Chichón

F. Arnold, Th. Bührke & S. Qiu

Nature 1 November 1990, 348, 49-50

doi:10.1038/348049a0

Apêndice F – Cartas e Resenha de livro do Periódico *Nature* (1975-1991)

Ano	Data	Título	Principais Pontos	Autor	Referências
1975	15/04	Haze in the stratosphere from the Fuego Eruption		F.E.Voltz, E.P.Shettle. Airforce Geophysics Laboratory	
1976	04/03	Alternative refrigerants	→ chama atenção para possíveis substitutos dos CFCs (pontos de ebulição entre -45 e -15°C). → exclui o chamado R-22	J.W.Birks, T.J Leck	
1976	25/03	Alternative refrigerants	→ Salvar a atmosfera coibindo o uso de aerossóis e controlando o uso dos refrigerantes.	F.A.Cotton Departament of Chemistry Texas A & M University College of Science	
1976	06/05	Alternative refrigerants	→ Uso do refrigerante 22 (segundo ele, 50% do usado nos EUA) e banimento dos aerossóis que empregam outros refrigerantes.	W.J. Megaw York University, Ontario	
1976	17/06	Alternative refrigerants	→ Como estudos recentes mostram que moléculas de HCl provocam redução do ozônio estratosférico, não é necessária seguir a recomendação de Megaw para sacrificar produtos de higiene pessoal.	Richard B. Ward Organic Chemicals Departament, Dupont	

1976	19/08	Alternative refrigerants	→ Resumo das cartas anteriores; → Favorável que os CFCs 11 e 12 só sejam abolidos quando os seus substitutos ideais forem encontrados (existiria um prazo de dois anos para reduzir 0,1% do ozônio estratosférico).	Thomas J. Leck John W. Birks School of Chemical Sciences	Cita Sze e outros, sem mencionar a referência. Bureau of Domestic Commerce study (Economic Significance of Fluorocarbons, december 1975)
1978	06/07	Nature's ozone	→ Percepção do ozônio	Charles M. Cegielsky Chicago Illinois, USA	
1980	26/06	Controversy buried	→ Retrata as tensões entre os grupos contrários e favoráveis ao banimento do uso dos CFCs	Michell Allaby Wadebridge, UK J.E. Lovelock Launceston, U.K.	
1988	18/08	Ozone layer	→ Questionamento: por que não se usam sprays com o ozônio?	Eugene Leeb London UK	
1988	11/08	Polar Observatories		H.C. Spruit A.M. Title R.C. Peterson Max Planck Institut, FRG	

Resenha de livro

Ano	Data	Título	Livro	Autor
1979	08/02	The Major Controversy	<i>The Ozone War</i> . L. Dotto e H. Schiff. 1978	B.A. Thrush

Apêndice G – Artigos e notícias publicados no periódico *Science* (1976- 1991)

Atmospheric Carbon Tetrachloride: Another Man-Made Pollutant

HANWANT BIR SINGH, DOUGLAS P. FOWLER, and THOMAS O. PEYTON

Science 18 June 1976: 1231-1234. [DOI:10.1126/science.192.4245.1231]

Experiment Planned to Test Feasibility of a "Science Court"

PHILIP M. BOFFEY

Science 9 July 1976: 129. [DOI:10.1126/science.193.4248.129]

The Science Court Experiment: An Interim Report Science 20 August 1976: 653-656.

[DOI:10.1126/science.193.4254.653]

Ecologic Dilemmas

Abel Wolman

Science 27 August 1976: 740-742. [DOI:10.1126/science.193.4255.740]

The Ozone Layer: The Threat from Aerosol Cans Is Real

THOMAS H. MAUGH II

Science 8 October 1976: 170-172. [DOI:10.1126/science.194.4261.170]

The Panel's Recommendations

THOMAS H. MAUGH II

Science 8 October 1976: 171. [DOI:10.1126/science.194.4261.171]

Stratospheric Ion Chemistry and the 11-Year Variation in Polar Ozone

F. C. FEHSENFELD, E. E. FERGUSON, G. E. STREIT, and D. L. ALBRITTON

Science 29 October 1976: 544-545. [DOI:10.1126/science.194.4264.544]

Will Fertilizers Harm Ozone as Much as SST's?

DEBORAH SHAPLEY

Science 18 February 1977: 658. [DOI:10.1126/science.195.4279.658]

The Fertilizer-Ozone Connection

HAROLD S. JOHNSTON

Science 25 March 1977: 1280. [DOI:10.1126/science.195.4284.1280]

Scattering Phenomena

JOHN N. HOWARD

Science 3 June 1977: 1084-1085. [DOI:10.1126/science.196.4294.1084-a]

Solar Proton Event: Influence on Stratospheric Ozone

DONALD F. HEATH, ARLIN J. KRUEGER, and PAUL J. CRUTZEN

Science 26 August 1977: 886-889. [DOI:10.1126/science.197.4306.886]

How Much Are Nature's Services Worth?

Walter E. Westman

Science 2 September 1977: 960-964. [DOI:10.1126/science.197.4307.960]

Atomic Chlorine and the Chlorine Monoxide Radical in the Stratosphere: Three in situ Observations

J. G. ANDERSON, J. J. MARGITAN, and D. H. STEDMAN

Science 4 November 1977: 501-503. [DOI:10.1126/science.198.4316.501]

Methyl Chloroform: Impact on Stratospheric Ozone

J. C. McCONNELL and H. I. SCHIFF

Science 13 January 1978: 174-177. [DOI:10.1126/science.199.4325.174]

Government Takes Partial Step to Protect Ozone Layer

R. Jeffrey Smith

Science 14 April 1978: 187. [DOI:10.1126/science.200.4338.187]

Wrangling over Patent Licensing Extended 120 Days

R. Jeffrey Smith

Science 14 April 1978: 186-187. [DOI:10.1126/science.200.4338.186-a]

Sun Day Seen as More Potent Politically than Earth Day

LUTHER J. CARTER

Science 14 April 1978: 185-187. [DOI:10.1126/science.200.4338.185]

Committee on National Statistics

WILLIAM H. KRUSKAL

Science 28 April 1978: 380. [DOI:10.1126/science.200.4340.380-b]

Methylchloroform in the Stratosphere

A. P. ALTSHULLER

Science 19 May 1978: 718-719. [DOI:10.1126/science.200.4343.718]

Methylchloroform in the Stratosphere

HANWANT B. SINGH

Science 19 May 1978: 719-720. [DOI:10.1126/science.200.4343.719]

Methylchloroform in the Stratosphere

J. C. McCONNELL and H. I. SCHIFF

Science 19 May 1978: 720-722. [DOI:10.1126/science.200.4343.720]

Atmospheric Halocarbons, Hydrocarbons, and Sulfur Hexafluoride: Global Distributions, Sources, and Sinks

H. B. SINGH, L. J. SALAS, H. SHIGEISHI, and E. SCRIBNER

Science 2 March 1979: 899-903. [DOI:10.1126/science.203.4383.899]

Atmospheric Carbon Tetrafluoride: A Nearly Inert Gas

RALPH J. CICERONE

Science 5 October 1979: 59-61. [DOI:10.1126/science.206.4414.59]

Heterogeneous Atmospheric Reactions: Sulfuric Acid Aerosols as Tropospheric Sinks

ALAN C. BALDWIN and DAVID M. GOLDEN

Science 2 November 1979: 562-563. [DOI:10.1126/science.206.4418.562]

Too Much Light May Be Shed on Body Public

Nicholas Wade

Science 23 November 1979: 913. [DOI:10.1126/science.206.4421.913]

The Threat to Ozone Is Real, Increasing

THOMAS H. MAUGH II

Science 7 December 1979: 1167-1168. [DOI:10.1126/science.206.4423.1167]

Ozone depletion would have dire effects

TH Maugh 2nd

Science 25 January 1980: 394-395. [DOI:10.1126/science.7350672]

Stratospheric Ozone, Middle Ultraviolet Radiation, and Carbon-14 Measurements of Marine Productivity

RAYMOND C. SMITH and KAREN S. BAKER

Science 9 May 1980: 592-593. [DOI:10.1126/science.208.4444.592]

Volcanic Contribution of Chlorine to the Stratosphere: More Significant to Ozone Than Previously Estimated?

DAVID A. JOHNSTON

Science 25 July 1980: 491-493. [DOI:10.1126/science.209.4455.491]

Atmospheric Trace Gases in Antarctica

R. A. RASMUSSEN, M. A. K. KHALIL and R. W. DALLUGE

Science 16 January 1981: 285-287. [DOI:10.1126/science.211.4479.285]

New study links chlorination and cancer

TH Maugh 2nd

Science 13 February 1981: 694. [DOI:10.1126/science.7455706]

Chlorine Oxide in the Stratospheric Ozone Layer: Ground-Based Detection and Measurement

A. PARRISH, R. L. DE ZAFRA, P. M. SOLOMON, J. W. BARRETT and E. R. CARLSON

Science 13 March 1981: 1158-1161. [DOI:10.1126/science.211.4487.1158]

Satellite Data Indicate Ozone Depletion

Colin Norman

Science 4 September 1981: 1088-1089. [DOI:10.1126/science.213.4512.1088]

Chlorine Monoxide Radical, Ozone, and Hydrogen Peroxide: Stratospheric Measurements by Microwave Limb Sounding

J. W. WATERS, J. C. HARDY, R. F. JARNOT, and H. M. PICKETT

Science 2 October 1981: 61-64. [DOI:10.1126/science.214.4516.61]

High-Latitude Stratospheric Aerosols Measured by the SAM II Satellite System in 1978 and 1979

M. P. MCCORMICK, W. P. CHU, G. W. GRAMS, PATRICK HAMILL, B. M. HERMAN, L. R. MCMASTER, T. J. PEPIN, P. B. RUSSELL, H. M. STEELE and T. J. SWISSLER

Science 16 October 1981: 328-331. [DOI:10.1126/science.214.4518.328]

Annual Meeting

Richard Berendzen

Science 30 October 1981: 532-547. [DOI:10.1126/science.214.4520.532]

New link between ozone and cancer

TH Maugh 2nd

Science 23 April 1982: 396-397. [DOI:10.1126/science.7071584]

Trace Gases Could Double Climate Warming

RICHARD A. KERR

Science 24 June 1983: 1364-1365. [DOI:10.1126/science.220.4604.1364]

The Infrared Astronomy Satellite (I)

M. MITCHELL WALDROP

Science 24 June 1983: 1365-1368. [DOI:10.1126/science.220.4604.1365]

Is There Any Chlorine Monoxide in the Stratosphere?M. J. MUMMA, J. D. ROGERS, T. KOSTIUK, D. DEMING, J. J. HILLMAN,
and D. ZIPOY

Science 15 July 1983: 268-271. [DOI:10.1126/science.221.4607.268]

EPA's Studies of the Greenhouse Effect

D. L. KEYES, J. S. HOFFMAN, S. R. SEIDEL and J. G. TITUS

Science 10 February 1984: 538-540. [DOI:10.1126/science.223.4636.538-a]

What is the risk from chlorofluorocarbons?

T. H. Maugh 2nd

Science 9 March 1984: 1051-1052. [DOI:10.1126/science.6695193]

Diurnal Variation of Stratospheric Chlorine Monoxide: A Critical Test of Chlorine Chemistry
in the Ozone Layer

P. M. Solomon, R. de Zafra, A. Parrish and J. W. Barrett

Science 15 June 1984: 1210-1214. [DOI:10.1126/science.224.4654.1210]

Lawsuit Seeks a Cap on Fluorocarbon Production

MARJORIE SUN

Science 14 December 1984: 1297. [DOI:10.1126/science.226.4680.1297]

This Week in Science

Science 14 June 1985: 1246. [DOI:10.1126/science.228.4705.1246]

Chemists Seek a Higher Profile

M. MITCHELL WALDROP

Science 25 October 1985: 427-428. [DOI:10.1126/science.230.4724.427]

Antarctic Ozone Hole Is Still Deepening

Richard A. Kerr

Science 27 June 1986: 1602. [DOI:10.1126/science.232.4758.1602]

Atmospheric Trace Gases: Trends and Distributions Over the Last Decade

R. A. RASMUSSEN and M. A. K. KHALIL

Science 27 June 1986: 1623-1624. [DOI:10.1126/science.232.4758.1623]

Atmospheric Chemistry

RALPH J. CICERONE

Science 22 August 1986: 896-897. [DOI:10.1126/science.233.4766.896-a]

Taking Shots at Ozone Hole Theories

RICHARD A. KERR

Science 14 November 1986: 817-818. [DOI:10.1126/science.234.4778.817]

United States Floats Proposal to Help Prevent Global Ozone Depletion

MARK CRAWFORD

Science 21 November 1986: 927-929. [DOI:10.1126/science.234.4779.927]

Halocarbons Liked to Ozone Hole

RICHARD A. KERR

Science 5 June 1987: 1182-1183. [DOI:10.1126/science.236.4806.1182]

Changes in Stratospheric Ozone

RALPH J. CICERONE

Science 3 July 1987: 35-42. [DOI:10.1126/science.237.4810.35]

"The Hole in the Sky" Transcripts Available

Science 3 July 1987: 85. [DOI:10.1126/science.237.4810.85-b]

Has Stratospheric Ozone Started to Disappear?

RICHARD A. KERR

Science 10 July 1987: 131-132. [DOI:10.1126/science.237.4811.131]

Ozone Plan: Tough Bargaining Ahead

MARK CRAWFORD

Science 4 September 1987: 1099. [DOI:10.1126/science.3629231]

Landmark Ozone Treaty Negotiated

MARK CRAWFORD

Science 25 September 1987: 1557. [DOI:10.1126/science.237.4822.1557]

Winds, Pollutants Drive Ozone Hole

RICHARD A. KERR

Science 9 October 1987: 156-158. [DOI:10.1126/science.238.4824.156]

Ozone and Acid Rain

PHILIP H. ABELSON

Science 9 October 1987: 141. [DOI:10.1126/science.238.4824.141]

Overdue Movie

THOMAS W. SIMMONS

Science 30 October 1987: 598. [DOI:10.1126/science.238.4827.598-d]

Atmospheric Trends in Methylchloroform and the Global Average for the Hydroxyl Radical

R. PRINN, D. CUNNOLD, R. RASMUSSEN, P. SIMMONDS, F. ALYEA, A. CRAWFORD,
P. FRASER, and R. ROSEN

Science 13 November 1987: 945-950. [DOI:10.1126/science.238.4829.945]

Monitoring of Atmospheric Ozone

W. F.J. EVANS, J. B. KERR, D. I. WARDLE, and A. J. FORESTER

Science 27 November 1987: 1216-1217. [DOI:10.1126/science.238.4831.1216]

Reaction of Chlorine Nitrate with Hydrogen Chloride and Water at Antarctic Stratospheric Temperatures

MARGARET A. TOLBERT, MICHEL J. ROSSI, RIPUDAMAN MALHOTRA, and DAVID M. GOLDEN

Science 27 November 1987: 1258-1260. [DOI:10.1126/science.238.4831.1258]

Antarctic Stratospheric Chemistry of Chlorine Nitrate, Hydrogen Chloride, and Ice: Release of Active Chlorine

MARIO J. MOLINA, TAI-LY TSO, LUISA T. MOLINA and FRANK C.-Y. WANG

Science 27 November 1987: 1253-1257. [DOI:10.1126/science.238.4831.1253]

"Homology" controversy

HK Kimelberg

Science 27 November 1987: 1217. [DOI:10.1126/science.3685969]

EPA to Cut U.S. CFC Production to Protect Ozone in Stratosphere

MARK CRAWFORD

Science 11 December 1987: 1505. [DOI:10.1126/science.238.4833.1505]

Global Trends in Total Ozone

KENNETH P. BOWMAN

Science 1 January 1988: 48-50. [DOI:10.1126/science.239.4835.48]

Is the Greenhouse Here?

RICHARD A. KERR

Science 5 February 1988: 559-561. [DOI:10.1126/science.239.4840.559]

Response: Stratospheric Ozone

KENNETH P. BOWMAN

Science 19 February 1988: 847-848. [DOI:10.1126/science.239.4842.847-b]

Stratospheric Ozone

ROBERT T. WATSON and MICHAEL J. PRATHER

Science 19 February 1988: 847. [DOI:10.1126/science.239.4842.847-a]

Anonymous Charges

LEE LOEVINGER

Science 19 February 1988: 847. [DOI:10.1126/science.239.4842.847]

A Larger Question?

A. C. HALL

Science 19 February 1988: 848. [DOI:10.1126/science.239.4842.848-a]

Breast cancer study

LH Kuller

Science 19 February 1988: 848. [DOI:10.1126/science.3277282]

R&D Budget Faces High Hurdles

MARK CRAWFORD

Science 26 February 1988: 965-968. [DOI:10.1126/science.239.4843.965]

Continuing Worldwide Increase in Tropospheric Methane, 1978 to 1987

DONALD R. BLAKE and F. SHERWOOD ROWLAND

Science 4 March 1988: 1129-1131. [DOI:10.1126/science.239.4844.1129]

Stratospheric Ozone Is Decreasing

RICHARD A. KERR

Science 25 March 1988: 1489-1491. [DOI:10.1126/science.239.4847.1489]

The Latest on the Antarctic Hole

RICHARD A. KERR

Science 25 March 1988: 1489. [DOI:10.1126/science.239.4847.1489-a]

A Cautionary Note

RICHARD A. KERR

Science 25 March 1988: 1490. [DOI:10.1126/science.239.4847.1490]

The Greenhouse Theory of Climate Change: A Test by an Inadvertent Global Experiment

V. RAMANATHAN

Science 15 April 1988: 293-299. [DOI:10.1126/science.240.4850.293]

This Week in Science

Science 15 April 1988: 263. [DOI:10.1126/science.240.4850.263]

Stratospheric Response to Trace Gas Perturbations: Changes in Ozone and Temperature Distributions

GUY BRASSEUR and MATTHEW H. HITCHMAN

Science 29 April 1988: 634-637. [DOI:10.1126/science.240.4852.634]

Antarctic Ozone Depletion Chemistry: Reactions of N₂O₅ with H₂O and HCl on Ice Surfaces

Margaret A. Tolbert, Michel J. Rossi, and David M. Golden

Science 20 May 1988: 1018-1021. [DOI:10.1126/science.240.4855.1018]

Evidence of Arctic Ozone Destruction

RICHARD A. KERR

Science 27 May 1988: 1144-1145. [DOI:10.1126/science.240.4856.1144]

Tighter ozone standard urged by scientists

Science 24 June 1988: 1724-1725. [DOI:10.1126/science.3381090]

Report Urges Greenhouse Action Now

RICHARD A. KERR

Science 1 July 1988: 23-24. [DOI:10.1126/science.241.4861.23]

Space Science Looks to the Future - Cautiously

M. MITCHELL WALDROP

Science 8 July 1988: 162-163. [DOI:10.1126/science.241.4862.162]

Ultraviolet Radiation Levels During the Antarctic Spring

JOHN E. FREDERICK and HILARY E. SNELL

Science 22 July 1988: 438-440. [DOI:10.1126/science.241.4864.438]

Space Science: Past and Future

PHILIP H. ABELSON

Science 22 July 1988: 397. [DOI:10.1126/science.241.4864.397]

Ozone Hole Bodes Ill for the Globe

Richard A. Kerr

Science 12 August 1988: 785-786. [DOI:10.1126/science.241.4867.785]

EPA: Ozone Treaty Weak

Mark Crawford

Science 7 October 1988: 25. [DOI:10.1126/science.242.4875.25]

A Shallower Ozone Hole, As Expected

RICHARD A. KERR

Science 28 October 1988: 515. [DOI:10.1126/science.242.4878.515-a]

Situ Northern Mid-Latitude Observations of ClO, O₃, and BrO in the Wintertime Lower Stratosphere

W. H. BRUNE, D. W. TOOHEY, J. G. ANDERSON, W. L. STARR, J. F. VEDDER and E. F. DANIELSEN

Science 28 October 1988: 558-562. [DOI:10.1126/science.242.4878.558]

The Elusive Replacements for CFCs

ROBERT POOL

Science 4 November 1988: 666-668. [DOI:10.1126/science.242.4879.666]

The Old and the New

ROBERT POOL

Science 4 November 1988: 667. [DOI:10.1126/science.242.4879.667]

Global stratospheric ozone and UVB radiation

WB Grant

Science 25 November 1988: 1111. [DOI:10.1126/science.3187538]

In Reply: Global Stratospheric Ozone and UVB Radiation

Joseph Scotto, Gerald Cotton, Frederick Urbach, Daniel D. Berger, and Thomas Fears

Science 25 November 1988: 1111-1112. [DOI:10.1126/science.242.4882.1111-b]

Changing Composition of the Global Stratosphere

Michael B. McElroy and Ross J. Salawitch

Science 10 February 1989: 763-770. [DOI:10.1126/science.243.4892.763]

Issues in Atmospheric Science

John I. Brauman

Science 10 February 1989: 709. [DOI:10.1126/science.243.4892.709]

Arctic Ozone Is Poised for a Fall

RICHARD A. KERR

Science 24 February 1989: 1007-1008. [DOI:10.1126/science.243.4894.1007]

Europe Recognizes the Ozone Threat

David Dickson and Eliot Marshall

Science 10 March 1989: 1279. [DOI:10.1126/science.243.4896.1279]

Does the Ozone Hole Threaten Antarctic Life?

LESLIE ROBERTS

Science 21 April 1989: 288-289. [DOI:10.1126/science.244.4902.288]

Planet Exploration

LOUIS FRIEDMAN

Science 5 May 1989: 515. [DOI:10.1126/science.244.4904.515]

Response: Alar and Apples

LESLIE ROBERTS

Science 5 May 1989: 515. [DOI:10.1126/science.244.4904.515-c]

Earth Observations from Space

Philip H. Abelson

Science 26 May 1989: 901. [DOI:10.1126/science.244.4907.901]

Bringing NASA Down to Earth

ELIOT MARSHALL

Science 16 June 1989: 1248-1251. [DOI:10.1126/science.244.4910.1248]

Early Data: Losing Our Memory?

ELIOT MARSHALL

Science 16 June 1989: 1250. [DOI:10.1126/science.244.4910.1250]

Ultraviolet Levels Under Sea Ice During the Antarctic Spring

H. J. TRODAHL and R. G. BUCKLEY

Science 14 July 1989: 194-195. [DOI:10.1126/science.245.4914.194]

Response: Ultraviolet Levels Under Sea Ice During the Antarctic Spring

JOHN E. FREDERICK

Science 14 July 1989: 195. [DOI:10.1126/science.245.4914.195]

Hansen and the Greenhouse Effect

W. S. BROECKER

Science 4 August 1989: 451. [DOI:10.1126/science.245.4917.451]

Rate of formation of the ClO dimer in the polar stratosphere: implications for ozone loss

SP Sander, RR Friedl, and YL Yung

Science 8 September 1989: 1095-1098. [DOI:10.1126/science.245.4922.1095]

This Week in Science

RUTH LEVY GUYER

Science 8 September 1989: 1027. [DOI:10.1126/science.245.4922.1027]

Why is this man smiling?

CONSTANCE HOLDEN

Science 13 October 1989: 214. [DOI:10.1126/science.246.4927.214-c]

Why is this man smiling?

CONSTANCE HOLDEN

Science 13 October 1989: 214. [DOI:10.1126/science.246.4927.214-c]

Ozone Hits Bottom Again

RICHARD A. KERR

Science 20 October 1989: 324. [DOI:10.1126/science.246.4928.324]

New Physics, Old Rivalries

JEREMY CHERFAS

Science 20 October 1989: 323-324. [DOI:10.1126/science.246.4928.323]

Stratospheric Hydroperoxyl Measurements

Wasley A. Traub, David G. Johnson, and Kelly V. Chance

Science 26 January 1990: 446-449. [DOI:10.1126/science.247.4941.446]

Ozone Destruction Closer to Home

Richard A. Kerr

Science 16 March 1990: 1297. [DOI:10.1126/science.247.4948.1297]

A Big Bird in the Sky for Scientists? Science 23 March 1990: 1415.

[DOI:10.1126/science.247.4949.1415-c]

Spatial variation of ozone depletion rates in the springtime Antarctic polar vortex

YL Yung, M Allen, D Crisp, RW Zurek and SP Sander

Science 11 May 1990: 721-724. [DOI:10.1126/science.11538181]

Increase in the Stratospheric Background Sulfuric Acid Aerosol Mass in the Past 10 Years

D. J. Hofmann

Science 25 May 1990: 996-1000. [DOI:10.1126/science.248.4958.996]

The CFC-Ozone Issue: Progress on the Development of Alternatives to CFCs

L. E. Manzer

Science 6 July 1990: 31-35. [DOI:10.1126/science.249.4964.31]

Proposed Structure for an International Convention on Climate Change

William A. Nitze

Science 10 August 1990: 607-608. [DOI:10.1126/science.249.4969.607]

Instrumental Requirements for Global Atmospheric Chemistry

D. L. Albritton, F. C. Fehsenfeld, and A. F. Tuck

Science 5 October 1990: 75-81. [DOI:10.1126/science.250.4977.75]

Another Deep Antarctic Ozone Hole

Richard A. Kerr

Science 19 October 1990: 370. [DOI:10.1126/science.250.4979.370]

Can Science Education Be Saved?

Elizabeth Culotta

Science 7 December 1990: 1327-1330. [DOI:10.1126/science.250.4986.1327]

The Dynamics of the Stratospheric Polar Vortex and Its Relation to Springtime Ozone Depletions

MARK R. SCHOEBERL and DENNIS L. HARTMANN

Science 4 January 1991: 46-52. [DOI:10.1126/science.251.4989.46]

Free Radicals Within the Antarctic Vortex: The Role of CFCs in Antarctic Ozone Loss

J. G. ANDERSON, D. W. TOOHEY, and W. H. BRUNE

Science 4 January 1991: 39-46. [DOI:10.1126/science.251.4989.39]

Apêndice H – Cartas publicadas no periódico *Science* (1975-1991)

Data	Título	Autor	Referência
28/03/1975	The SST and Ozone Depletion	Thomas M. Donahue University of Michigan	Jonhston, H.S. <i>Science</i> . 173, 517, 1971.
28/03/1975	The SST and Ozone Depletion	Alan J. Grobecher Departament of Transportation, Washington	
22/08/1975 (22)	Fluorocarbons	Joseph H. Simons	News & Comments, 27, June, p.128
30/10/1987	The Chlorofluorcarbon dilemma	Michael C. MacCrachen Atmospheric and Geophysical Science Division, Lawrence Livermore Laboratory	News & Comments, 24/09, p.1557.
25/11/1988 (1111-1112)	Global Stratospheric Ozone and UVB irradiation	Willian Grant	
25/11/1988 (1111-1112)	Global Stratospheric Ozone and UVB irradiation	Joseph Scotto National Cancer Institute (USA)	Voltz A. e Kley D. <i>Nature</i> . 332, 240 (1988)
23/12/1988 (1623)	Eliminating NOx	Sheldon C. Plotkin	Milton Russel, Policy Forum “Ozone Pollution: the hard choice”