



MANEJO Y CONTROL DE ESPECIES DESTRUCTORA DE LA CAPA DE OZONO



**Bases de
un Modelo
de Gestión
Ambiental
Integrado
de SAO en Chile**

Denis Clavijo Contador

Raúl G.E. Morales Segura





Denis Clavijo Contador

es Químico Ambiental de la Universidad de Chile (2012). Actualmente se desempeña en el Laboratorio de Análisis Ambientales S.A., filial de Aguas Andinas, donde realiza la coordinación y logística de servicio de toma de muestras y análisis de aguas (potables, superficiales, marinas, subterráneas, etc), de riles, lodos y RESPEL. A su vez, trabaja directamente con clientes gestionando solicitudes y/o realizando asesorías referentes a la normativas vigentes en este campo. También se ha desempeñado como Analista Atmosférico en la misma empresa, Análisis Ambientales S.A. (ANAM, grupo Aguas), realizando la coordinación y logística mensual de los servicios de monitoreo de gases odorantes del área de gestión calidad del aire y en la elaboración de informes y estudios de impacto ambiental, así como en el desarrollo de proyectos de desodorización. Además ha realizado servicios profesionales tanto en la elaboración de propuestas técnicas y evaluaciones económicas, como en la formulación de instructivos y mejoramientos en el sistema de gestión de calidad. Otras experiencias profesionales están en el campo de la Espectroscopía Molecular, en particular en la caracterización vibracional de aminoazúcares.

***MANEJO Y CONTROL
DE ESPECIES DESTRUCTORA
DE LA CAPA DE OZONO***

***Bases de un Modelo de
Gestión Ambiental Integrado
de SAO en Chile***

Santiago de Chile, 2016

(c) Denis Clavijo Contador y Raúl Morales Segura

Inscripción N°

ISBN:

Primera Edición 500 ejemplares

Edición del Centro de Ciencias Ambientales de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.

Impresión en

Santiago de Chile, Noviembre de 2016.

Este documento monográfico de estudio puede ser reproducido para fines académicos y docentes con la cita correspondiente del título del libro y sus autores.

Indice

<i>I. La capa de Ozono a nivel planetario</i>	9
<i>II. Los clorofluorocarbonos</i>	16
<i>Química de los CFC</i>	17
<i>Usos y producción</i>	20
<i>La pérdida del ozono polar</i>	21
<i>Mecanismos de destrucción de la capa de ozono</i>	23
<i>Efectos de la radiación ultravioleta</i>	28
<i>III. Protocolo de Montreal</i>	32
<i>IV. Algunas experiencias internacionales</i>	37
<i>Unión Europea</i>	37
<i>Canadá</i>	38
<i>México</i>	39
<i>Uruguay</i>	43
<i>V. La experiencia chilena</i>	48
<i>VI. Bases de un modelo de gestión ambiental integrado para las SAO</i>	58
<i>Vacios Jurídicos</i>	58
<i>Proposición de un Modelo de Gestión</i>	59
<i>Programa de Eliminación de Residuos</i>	60
<i>Plan de Manejo de Residuos Controlados</i>	62
<i>VII. Palabras finales</i>	79
<i>VIII. Referencias Bibliográficas</i>	81

Prólogo

La contaminación ambiental ha sido un concepto que gradualmente ha ido penetrando en la conciencia ciudadana y eso obliga al mundo académico a levantar puentes de comunicación entre el mundo del conocimiento, el mundo de los valores y el mundo de los compromisos y deberes jurídicos nacionales e internacionales, a la hora de educar en los temas medioambientales.

En esta oportunidad, tras una singular experiencia que ha permitido a los autores incursionar en el campo de la Gestión Ambiental para lograr un mundo más vivible y con menos impactos negativos provenientes de nuestra propia actividad industrial y doméstica cotidiana, hemos convenido en el esfuerzo de pensar procesos de gestión que aseguren un mejor manejo y control de especies químicas nocivas para la capa de ozono estratosférica como lo son los Clorofluorocarbonos.

Es más, junto a un amplio número de profesionales y científicos ligados a los diferentes campos asociados al uso de estas especies o sus impactos en la atmósfera, hoy clasificadas como especies que no ingresan a nuestro país, al menos las acordadas tras el Protocolo de Montreal, pero que en el desarrollo económico de nuestros pueblos han significado facilidades inmensas para el avance en el crecimiento productivo y del confort doméstico, hemos confrontado diferentes aspectos de este esfuerzo monográfico para establecer las bases para un Plan de Gestión Ambiental Integrado, que pueda ser empleado como modelo de gestión tanto para entidades gubernamentales como para el sector productivo nacional.

Esperamos que como país, en los próximos años no sólo hayamos dado respuesta a los compromisos internacionales

que en materia de contaminación estratosférica hayan contribuido a controlar la destrucción de la capa de Ozono y la emisión de Gases de Efecto Invernadero, si no que también lo hayamos logrado de la forma más satisfactoria y profesional para ser eficientes y respetuosos de nuestro propio planeta y de las generaciones venideras.

Denis Clavijo Contador

Raúl Morales Segura

Santiago de Chile, Primavera de 2016

Glosario de Términos

Almacenamiento o acumulación: se refiere a la conservación de residuos en un sitio y por un lapso determinado.

Cancerígeno o carcinogénico: sustancia capaz de inducir cáncer.

Contenedor: recipiente portátil en el cual un residuo es almacenado, transportado o eliminado.

Destinatario: propietario, administrador o persona responsable de una instalación expresamente autorizada para eliminar residuos controlados generados fuera de ella.

Disposición final: procedimiento de eliminación mediante el depósito definitivo en el suelo de los residuos controlados, con o sin tratamiento previo.

Eliminación: cualquiera de las operaciones señaladas en la última sección.

Generador: titular de toda instalación o actividad que dé origen a residuos controlados.

Instalación de Eliminación: planta o estructura destinada a la eliminación de residuos controlados.

Manejo: todas las operaciones a las que se somete un residuo controlado luego de su generación, incluyendo, entre otras, su almacenamiento, transporte y eliminación.

Minimización: acciones para evitar, reducir o disminuir en su origen, la cantidad de los residuos generados. Considera medidas tales como la reducción de la generación, la concentración y el reciclaje.

Reciclaje: recuperación de residuos o de materiales presentes en ellos, por medio de las operaciones señaladas, para ser utilizados en su forma original o previa transformación, en la fabricación de otros productos en procesos productivos distintos al que los generó.

Residuo: sustancia, elemento u objeto que el generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar.

Tratamiento: todo proceso destinado a cambiar las características físicas y/ o químicas de los residuos, con el objetivo de neutralizarlos, recuperar energía o materiales o eliminar o disminuir su peligrosidad.



I. La Capa de Ozono a nivel planetario

El Ozono es un gas muy reactivo, de estructura molecular triatómica a base de oxígeno (Figura 1) y que forma parte de los gases constituyentes de la atmósfera. Pero contrariamente a la mayoría de los gases atmosféricos más abundantes, su concentración aumenta con la altura y alcanza su mayor densidad en la estratósfera en una zona comprendida entre los 20 y 60 kilómetros, siendo este el lugar preferente en donde las reacciones fotoquímicas solares actúan sobre el oxígeno molecular para generar su mayor formación, por lo que a esta zona se le denomina preferentemente como la capa de ozono (Figura 2).

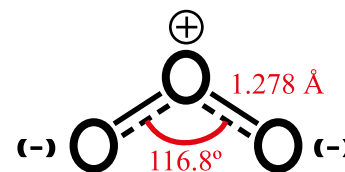


Figura 1. Molécula de ozono.

La presencia de ozono en la estratósfera se debe a que su formación se inicia mediante la disociación de oxígeno molecular, a través de procesos fotoquímicos de absorción de la radiación ultravioleta (UV) solar, lo que produce oxígeno atómico y que al reaccionar con moléculas de oxígeno forma finalmente la molécula de ozono. A su vez, en el mismo espacio fotoquímico, el ozono formado es a su vez destruido por radiación ultravioleta de menor energía, lo que en un proceso dinámico y exotérmico, genera una aumento de la temperatura en esta parte de la atmósfera estratosférica e induce una inversión térmica con la altura que se manifiesta desde aproximadamente los 10 mil metros de altura.

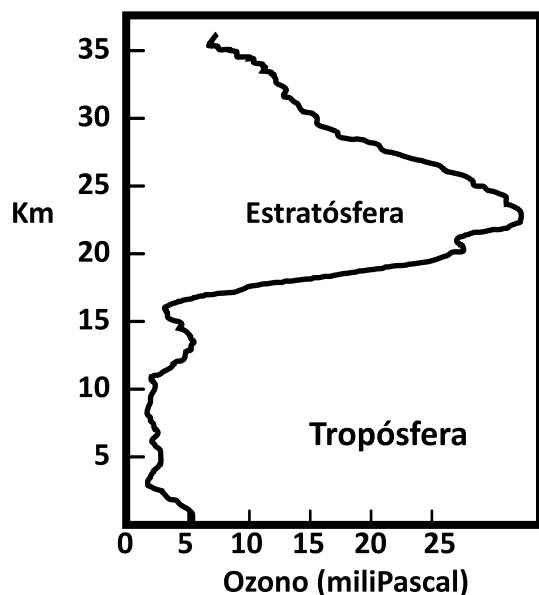


Figura 2. Distribución Atmosférica del Ozono.

Una característica relevante de la capa de ozono es que ésta no tiene una densidad uniforme en la atmósfera planetaria, particularmente debido a las diferentes intensidades de radiación solar que se observan en función de la latitud, desde los trópicos hasta los polos, así como los movimientos de transporte de masas de aires mediante los ciclos de Hadley y Ferrer, de modo que la concentración existente de ozono varía con la latitud y longitud, así como con la hora del día.

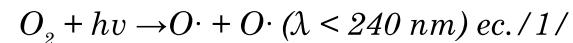
Sin embargo, desde un punto de vista experimental, la concentración de este gas se puede medir mediante la absorción de radiación ultravioleta solar que experimenta en la atmósfera. El científico inglés Gordon Dobson fue un pionero en la determinación de la concentración atmosférica de ozono iniciando su medición en diferentes partes del planeta en el siglo pasado, mediante un instrumento de medición de radiación solar. Hoy la unidad de concentración de este gas lle-

va su nombre, conocida como Unidad Dobson (UD), la que tiene un equivalente a $2,69 \times 10^{16}$ moléculas/cm² y que en condiciones estándar de temperatura y presión atmosférica corresponde a una capa de un espesor de 0,01 mm. De manera que si, en una situación imaginaria, se lograra comprimir en condiciones normales de un gas ideal toda la cantidad de ozono disponible que se encuentra en una columna de aire atmosférico, correspondiente en esencia al ozono existente en la tropósfera y en la estratósfera, para luego colocarlo a nivel del mar, se obtendría una capa de un espesor promedio del orden de 3 mm o su equivalente de 300 UD, capa que envolvería a toda la superficie terrestre.

Derivado de estas mediciones, otro científico británico Sydney Chapman, abordó la formación y destrucción del ozono estratosférico, cuya teoría hacia 1930 fue más tarde reconocida bajo el nombre de *mecanismo de Chapman*. Hoy día una materia clásica de estudio en todo curso de Química Atmosférica.

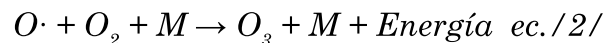
Chapman propuso que el ozono se distribuía predominantemente en una capa de aire a nivel de la estratósfera debido a la fotólisis del oxígeno molecular que se distribuye con la altura de acuerdo a la ley barométrica, siendo las moléculas más cercanas del sol las que comienzan a experimentar los procesos fotoquímicos con fotones solares más energéticos de longitudes de onda mas cortas que 240 nm.

De ahí que la fotólisis de la molécula de oxígeno sigue la siguiente reacción química:



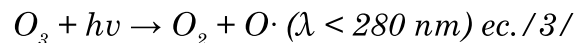
en donde los átomos de oxígeno son radicales altamente reactivos. Estos al encontrarse en su vecindad con una molécula de oxígeno darán origen a una molécula de ozono, mediante

la participación de una tercera molécula del aire en la reacción (M), que debido a condiciones propias de fenómenos cinéticos exotérmicos, se requiere de una interacción a tres cuerpos que capture el exceso de energía que libera la formación de la unión química del ozono según:

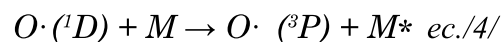


En este caso, la especie M puede corresponder a alguna de las especies moleculares más abundantes en el aire como lo son N₂ u O₂.

Las moléculas de ozono (O₃) al ser especies con enlaces químicos de menor energía que el oxígeno molecular son afectadas por la radiación solar de longitud de onda más larga, o sea, con fotones de menor energía, resultando así fotolizadas con radiación UV solar de longitudes de onda en el intervalo 240 < λ < 280 nm. Este proceso vuelve a restituir la molécula de oxígeno y a un átomo de oxígeno altamente reactivo y dispuesto a formar una nueva molécula, actuando finalmente el proceso fotoquímico como un filtro natural de radiaciones UV.



De acuerdo a la energía fotónica solar con que haya sido destruida la molécula de ozono, ésta puede generar un átomo de oxígeno en un estado excitado singulete del tipo O(¹D) o en un estado fundamental de tipo triplete O(³P). Cuando el fotón es de suficiente energía se generará el estado singulete el que posteriormente puede estabilizarse transfiriendo su exceso de energía a una molécula M del entorno, que para efectos prácticos pueden ser otras moléculas componentes del aire como N₂ u O₂:

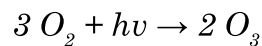
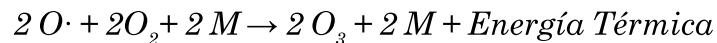
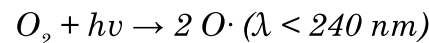


Estas dos reacciones de fotólisis de oxígeno molecular y de ozono, (ec./1/ y ec./3/) respectivamente, permiten mantener un filtro permanente a las radiaciones ultravioletas del tipo B (280 a 320 nm) y C (menor a 280 nm), disminuyéndolas sus intensidades ostensiblemente en la parte alta y media de la atmósfera antes de que éstas puedan llegar a la superficie troposférica de la tierra.

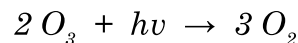
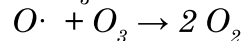
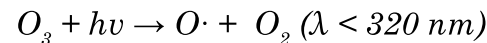
Es por ello que la capa de ozono es trascendental para la vida, siendo la única capaz de absorber un alto porcentaje de radiación ultravioleta proveniente del sol, la que se ha ido regulando de manera natural entre los componentes atmosféricos y la intensidad de la radiación solar, a través de la historia planetaria.

De modo que al conjunto de estas ecuaciones en un equilibrio cinético de estado estacionario determina el mecanismo de Chapman según:

Ciclo Formativo de Ozono:



Ciclo Destructivo de Ozono:



Efectivamente la energía solar que corresponde al rango electromagnético de la radiación ultravioleta y que llega en

mayor cantidad en la parte alta de la atmósfera, tiene la particularidad de afectar la energía electrónica de las moléculas, iniciando procesos fotoquímicos y cambiando la estructura electrónica y sus conformaciones moleculares. Son de particular interés los efectos en las especies químicas que forman parte de las estructuras moleculares biológicas a nivel de ADN, ARN, proteínas y enlaces peptídicos, por lo que esta radiación UV suele clasificarse en tres rangos bien característicos:

- UV-A: se ubica en el espectro electromagnético de manera continua a la radiación visible y va desde los 380 a los 315 nm.
- UV-B: va entre los 315- 280 nm, siendo la más efectiva en la fotólisis de moléculas biológicas, cambiando su naturaleza química y alterando la máquina de reproducción genética.
- UV-C: corresponde a una radiación de mayor energía, va entre 280 y 10 nm y es lo suficientemente energética para la destrucción molecular y de tejidos biológicos.

De ahí que el rol protector del oxígeno y del ozono debidos a su gran capacidad de absorber los fotones de la radiación ultravioleta solar (Figura 3), han permitido que la química de la vida se haya podido sustentar a nivel de la superficie terrestre y tras atravesar la capa atmosférica en casi aproximadamente los 100 km más cercanos a la superficie, en donde se radica más del 99% de los gases atmosféricos, sean estas dos especies moleculares las que prácticamente controlan el paso de la radiación ultravioleta, pero si siendo transparentes a la radiación visible y gran parte de la infrarroja que emite el sol y resulta ser fundamental para los procesos fotosintéticos y de calentamiento natural de los ecosistemas terrestres.

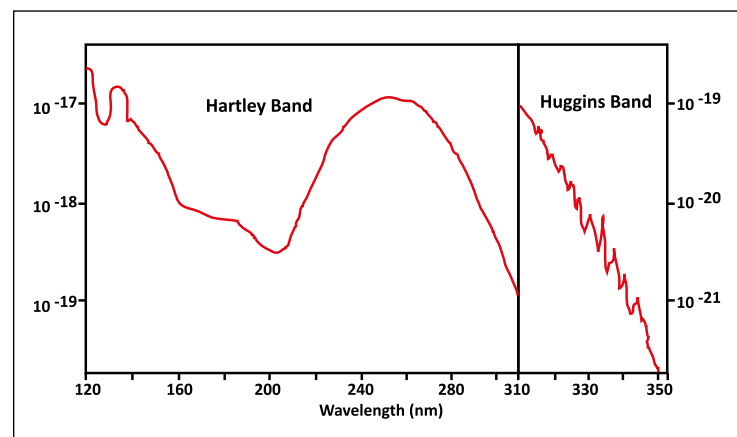


Figura 3. Espectro electrónico de absorción de radiación ultravioleta por ozono. Bandas de absorción de Hartley y de Huggins.

II. Los clorofluorocarbonos

Los clorofluorocarbonos (CFC's) surgieron en 1928 como especies químicas reemplazantes del amoníaco y dióxido de azufre en los sistemas de refrigeración y más tarde en 1930 fueron sintetizados a escala industrial por la empresa internacional DuPont. El éxito logrado con estas sustancias por su gran versatilidad en diversas aplicaciones industriales, se potenció por su inocuidad para los seres humanos. Otra de sus principales características fue su gran estabilidad química y bajo costo de producción, lo que produjo un aumento masivo de su uso. A partir de 1950, se utilizaron no solo en sistemas de refrigeración, sino que también en sistemas de aire acondicionado, en gases propulsores de aerosoles, en la fabricación de plásticos expansibles los que tienen múltiples usos en la construcción, la industria automotriz, la aislación térmica y la fabricación de envases, esponjas y vestuario en general, además se utilizaron en la limpieza de componentes electrónicos.

Hacia comienzo de los años setenta, James Lovelock inventó un sistema de análisis elemental a partir de cromatografía gaseosa con detección por captura de electrones, especialmente diseñado para detección de especies halogenadas, tal vez buscando medir la presencia de estas especies en la baja atmósfera. Si bien se sabía de la enorme estabilidad química de que gozaban estos CFC's, probablemente Lovelock sospechaba de que deberían estar expandiéndose en toda la superficie terrestre. Efectivamente sus investigaciones asociadas a la medición de estas especies tanto a nivel superficial terrestre como oceánico que enfrentó por esos años, le condujeron a una primera propuesta de que estos gases estarían alcanzando la alta atmósfera.

Posteriores estudios llevados a cabo sobre la reactividad química de halógenos y ozono por Mario Molina y Sherwood

Rowland en E.E.U.U., les permitirían concluir que la gran efectividad de la reacción de Cl con O₃ para formar ClO, sería una de las reacciones químicas causantes de la destrucción del ozono en la estratósfera de no poner atajo a la producción industrial de CFC's (ver secuencia histórica en: <http://www.theozonhole.com/ozonholehistory.htm>).

Estudios de transporte atmosférico de gases dejaron en evidencia que la estabilidad molecular de los CFC's en la tropósfera, es decir en la baja atmósfera, permitiría que sus tiempos de vida media fuesen lo suficientemente largos para sobreponerse a los dos años aproximadamente que les llevaría a estos CFC's alcanzar la estratósfera, en donde la intensa radiación ultravioleta fragmentaría uno de sus enlaces químicos, liberándose un átomo de cloro (Cl·), el que sería capaz de reaccionar con moléculas de ozono y destruirlo para generar nuevamente oxígeno molecular. Por tanto, de este modo el cloro actuaría como un verdadero agente catalizador y provocaría la destrucción de muchas moléculas de ozono en un proceso cíclico repetitivo mientras este átomo no se pudiera abatir en la formación de HCl y bajar a la tropósfera y finalmente depositarse en el suelo o neutralizarse en una molécula salina. Es en estas condiciones de reacción estratosférica de presión y temperatura que se llegó a estimar que un átomo de cloro estaría en condiciones de destruir del orden de 10⁵ moléculas de ozono antes de que otra especie lo neutralice.

Química de los CFC

Los clorofluorocarbonos (CFC's) son un grupo de compuestos químicos derivados de los hidrocarburos saturados, con la sustitución de átomos de hidrogeno por átomos de flúor y cloro (Figura 4). Su origen es netamente antropogénico de producción industrial.

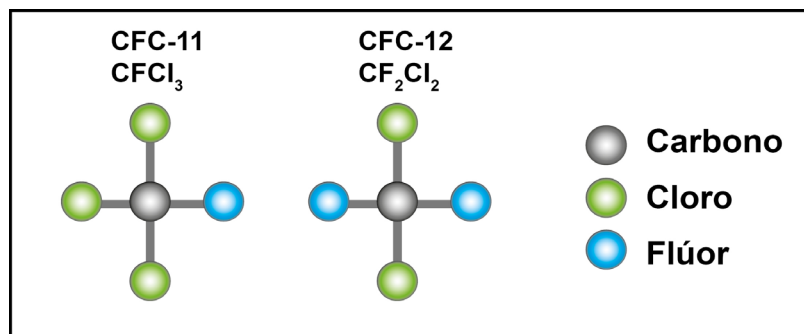


Figura 4. Moléculas de dos tipos de CFC's.

Estos compuestos son muy estables cuando se emiten a la atmósfera, tienen una vida media superior a los 100 años, además son incoloros, inodoros, inocuos, incombustibles y están catalogados como un “gas con efecto invernadero”, ya que absorben radiación infrarroja solar en la atmósfera, reteniendo el calor absorbido y transfiriéndolo a los demás gases de la atmósfera como energía térmica, elevando la temperatura de la superficie del planeta y contribuyendo a su calentamiento global.

En la tabla siguiente (Tabla 1) se muestran distintos parámetros medioambientales de Calentamiento Global para algunos CFC's.

Tabla 1

Parámetros medioambientales de algunos CFC's

Especie	Vida media (años) ^a	ODP ^b	GWP ^c (100 años)	Control ^d
CFC-11	50	1.0	3800	M
CFC-12	102	0.82	8100	M
CFC-114	300	0.85	9200	M
CFC-115	1700	0-4	9300	M

a. Estimada de la reacción con OH en la tropósfera;

b. Potencial de Disminución del Ozono relativo a CFC-11 = 1;

c. Potencial de Calentamiento Global relativo a CO_2 = 1

d. Protocolo que regula el control, M = Montreal; Fuente UNDP 1999.

Con el fin de cuantificar el efecto de cada una de las sustancias que potencialmente podrían destruir la capa de ozono, se creó un índice que estimara todos los factores que afectan a su actividad en la estratosfera (vida media, degradación fotoquímica en las capas bajas de la atmósfera, velocidad de fotólisis por radiación UV, etc.). A este índice, llamado ODP (*Ozone Depleting Potential*), le fue asignado un valor de 1.0 para todos los CFCs y HCFCs en la conferencia de Montreal (1987), esperando estudios posteriores que estimaran con más precisión este parámetro, y que han sido corregidos a medida que se desarrollaban las investigaciones. En tanto que el índice molecular de calentamiento global se definió como el Potencial de Calentamiento Global (GWP) referido a CO_2 como estándar.

Usos y producción ¹⁵

El uso de estos compuestos han tenido principalmente una finalidad industrial. En la Tabla 2 se presentan algunos de estos CFC's en sus diversas aplicaciones.

Tabla 2

Campos de aplicaciones de los CFC's

Campo de Aplicación	Especies
Refrigeración	CCl_2F_2 y CCl_3F
Agentes espumantes	CFCl_3 y CCl_3F
Agentes de limpieza	$\text{CF}_2\text{ClCFCl}_2$
Inhaladores	CCl_2F_2

Una de las razones importantes a la hora de la elaboración de estos compuestos, fue el bajo costo de producción y la alta seguridad que brindaban en su manipulación comparada con otros gases que se utilizaban para los equipos de refrigeración.

Desafortunadamente, tras los estudios de Molina y Rowland a comienzo de los años setenta, se descubrió que estas moléculas se acumulaban en la atmósfera sin descomponerse y terminaban viajando a zonas más altas, donde por la acción de la radiación solar, se descomponían y se producía la liberación de átomos de cloro, alterando la proporción de ozono en la estratósfera y disminuyendo la protección que recibimos de la atmósfera.

Dentro de la estratósfera la mezcla es muy acentuada a causa de las fuertes corrientes horizontales de aire que llegan

a alcanzar frecuentemente los 200 Km/hr. y la considerable mezcla vertical. Los movimientos horizontales facilitan el viaje de este tipo de sustancias a través de todo el globo terráqueo con gran rapidez.

La Pérdida del Ozono Polar

Ya hacia fines de la década de 1950, científicos británicos habían manifestado sus inquietudes por la disminución de niveles de ozono estratosférico que sus determinaciones a cielo abierto venían registrando en la Antártica (Figura 5). Estas mediciones en décadas más tarde dieron paso a evidencias contundentes de este fenómeno, que al parecer de tipo cíclico, alcanzaba sus mayores bajas en el período primaveral (septiembre-noviembre) de la estación en la Bahía Halley. Lo que se corroboró con las mediciones satelitales que inició el Nimbus-7 de la NASA en el año 1978, con su programa TOMS (Total Ozono Mapping Spectrometer), registrando las longitudes de onda de 3.123, 3.174, 3.311, 3.397, 3.600 y 3.800 Å, y más tarde en el año 2004 el Aura (EOS CH-1), en un esfuerzo científico multinacional.

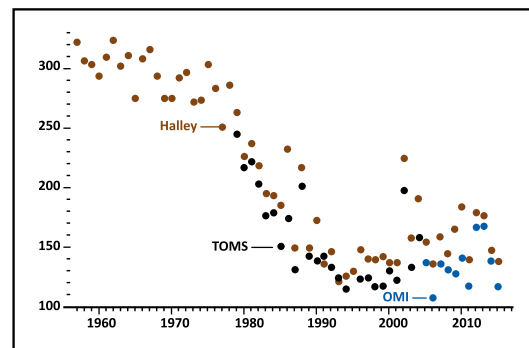


Figura 5. Mediciones anuales del Ozono Atmosférico Total (U.D.), mediante Espectroscopía de Absorción en la superficie de la Bahía Halley y mediante medición satelital del Nimbus 7 en su programa TOMS (desde 1978) y el OMI (desde 2006). Fuente: <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history.html>

En ese entonces se pensaba que los factores que controlaban el ozono estratosférico eran exclusivamente el mecanismo de Chapman y posteriormente el mecanismo de los compuestos clorados. Sin embargo, estudios conducidos por Paul Crutzen en Alemania sobre los NO_x, de forma paralela a los CFC's de Rowland y Molina en E.E.U.U., reflejaron que estos mecanismos no justificaban las concentraciones observadas, evidenciando otras reacciones que iban a acentuar la pérdida de ozono estratosférico por componentes naturales y antropogénicos. Esto hizo más compleja la dimensión del problema al observar que la disminución de ozono que presentaba la Antártica, dada su latitud desde las zonas de mayor actividad antropogénica, tenía que obedecer a fenómenos físicoquímicos de las mismas reacciones (Figura 6).

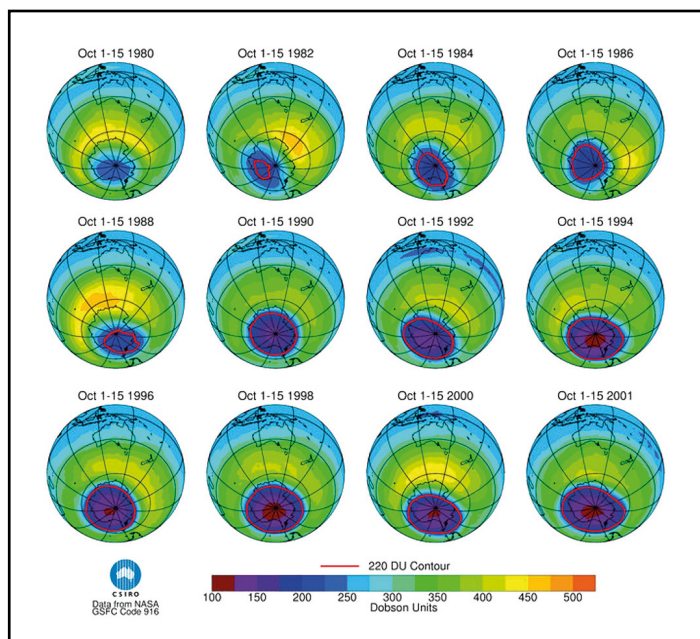
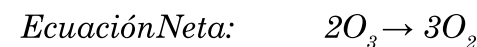
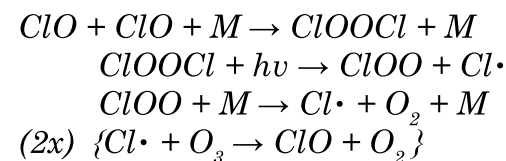


Figura 6. Disminución de la capa de ozono, según mediciones realizadas en el Polo Sur en los años 1980 a 2001.

Fuente: NASA/Goddard Space Flight Center.

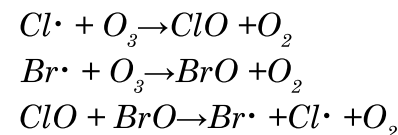
Mecanismos de destrucción de la capa de ozono

Tras varias investigaciones y mediciones a finales de los 80, se demostró que el agotamiento de O₃ estaba asociado a la concentración de ClO¹¹, ya que altas concentraciones de ClO forman un ciclo catalítico de auto-reacción del dióxido de cloro, el cual, explicaría la mayor parte de la disminución observada del O₃:



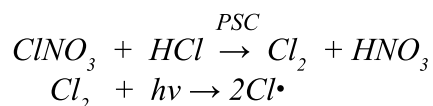
La fotólisis del ClO (ClOOC) ocurre en el enlace O-Cl en lugar del enlace OO. También se descubrió otro ciclo catalítico importante en el agotamiento de O₃ durante la primavera antártica, este implica radicales de Bromo (Br), producidos en la estratósfera por fotólisis y oxidación de Bromo antropogénico contenido en gases como el CH₃Br.

De acuerdo con los modelos actuales, el mecanismo de ClO + ClO explica alrededor del 70% de la pérdida total de O₃ en el agujero de ozono antártico y el restante 30% se explica por el mecanismo BrO + ClO.



Lo extraño resultaba ser el por qué las concentraciones de dióxido de cloro en la Antártida eran tan elevadas. De acuer-

do a una investigación realizada en la década de 1990, se demostró el papel fundamental de las bajas temperaturas en las reacciones estratosféricas. Estas bajas temperaturas en la estratósfera Antártica durante el invierno demostraron ser lo suficientemente frías para provocar la formación de nubes persistentes como el hielo en la parte inferior de la estratósfera, llamadas nubes estratosféricas polares (Polar Stratospheric Clouds, PSC). Las partículas de las PSC proporcionan superficies para la conversión de HCl y ClONO_2 (ClO_x) a Cl_2 , que rápidamente en primavera se fotoliza para producir Cl , especie que finalmente destruye el O_3 :



La primera reacción se produce rápidamente, pero esto no sucede sólo en las superficies del PSC, sino también en las superficies del H_2SO_4 acuoso presente en la estratósfera cuando las temperaturas caen a los valores del invierno antártico (por debajo de 200K). Por lo tanto, las PSC desempeñan un papel fundamental en el desarrollo del agujero de O_3 , proporcionando un mecanismo para la eliminación de HNO_3 de la estratósfera.

La formación de las nubes estratosféricas polares (PSC), se produce cuando las temperaturas caen por debajo de 190K. Aunque investigaciones muestran que las PSC comienzan a formarse a una temperatura más alta, alrededor de 197K (Figura 7), y este umbral de temperatura es responsable de la gran extensión del agujero de O_3 . Es por ello que el agujero de la capa de ozono se observa en el Polo Sur y no así en el Polo Norte.

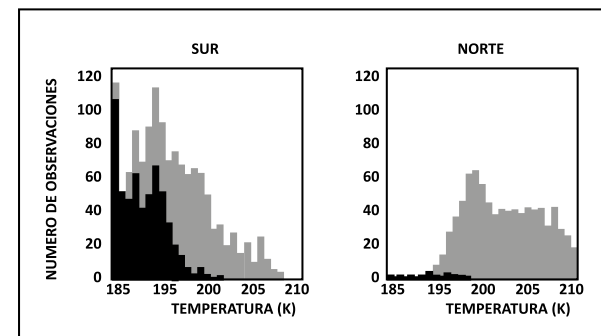


Figura 7. Distribuciones de la temperatura (barras grises) y la aparición del PSC (barras negras) en el invierno de la estratósfera inferior de cada hemisferio en la latitud 65°-80°.

Fuente: “Introduction to Atmospheric Chemistry”, Daniel J. Jacob, Princeton University Press, 1999, pág 184.

A causa de lo anterior, el agujero de la capa de ozono antártico sigue la siguiente cronología (Figura 8).

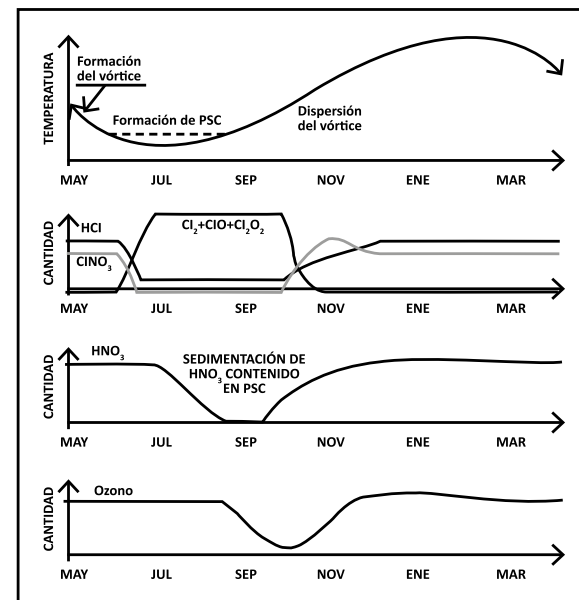


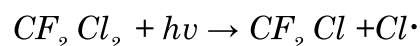
Figura 8. Cronología del agujero de ozono Antártico.

Fuente: Traducido y completado desde el sitio web: www.theozonehole.com.

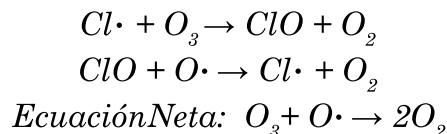
La Figura 8 muestra que se produce la formación del vórtice antártico en el otoño austral (mayo), que corresponde a la masa de aire antártico aislado en invierno, debido a la fuerte circulación circumpolar. En junio, las temperaturas en el vórtice antártico disminuyen, permitiendo la formación de PSC, que a continuación convierten el HCl y ClNO_3 en átomos de cloro.

En el invierno, sin embargo, la pérdida de O_3 se ve limitada por la falta de radiación solar para fotólisis del dímero ClOOC . El agotamiento significativo de O_3 sólo comienza en septiembre, cuando hay luz suficiente para la fotólisis de ClOOC .

En septiembre, las temperaturas han aumentado lo suficiente para que las PSC comiencen a evaporarse. Entonces se podría esperar que el HNO_3 en el vórtice fuera barrido por ClO_x suprimiendo la pérdida de O_3 . A su vez, las moléculas de los CFC's son inertes en la tropósfera, por lo que son transportadas a la estratósfera, donde se fotolizan para liberar átomos de cloro. Es el caso del CFC-12 (CF_2Cl_2), al estar en contacto con la radiación, se produce la liberación de un átomo de cloro¹⁰:



Los átomos de Cl reaccionan con el O_3 produciendo dióxido de cloro (ClO), el cual vuelve a reaccionar con los radicales de oxígeno según:



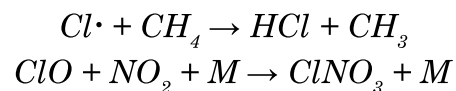
Molina y Rowland advirtieron a comienzos de los años se-

tenta que la pérdida de O_3 por la presencia y aumento en las concentraciones de CFC se convertiría en una amenaza significativa para la capa de Ozono.

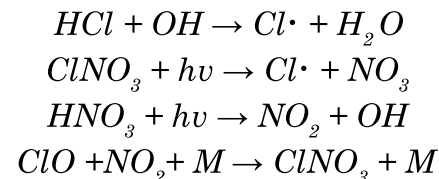
Esta advertencia tomó fuerza cuando se descubrió dos décadas después, a través de evidencia experimental, el grave estado del agujero de ozono Antártico, lo que llevó a una serie de acuerdos internacionales, como el Protocolo de Montreal en 1987, que finalmente concluyó en la prohibición total de producción de CFC's a partir de 1996.

Por los trabajos científicos sobre estas reacciones químicas del Ozono estratosférico que Molina y Rowland en E.E.U.U. y Paul Crutzen en Alemania llevaron adelante desde comienzo de los años setenta hasta los años ochenta, recibieron el Premio Nobel de Química en el año 1995.

No obstante la capacidad de recuperación como átomo libre que tiene el cloro como agente destructor del ozono estratosférico, su ciclo catalítico se termina cuando este átomo de cloro logra la conversión de ClO a HCl y ClNO_3 mediante la presencia de otros agentes químicos:



La vida útil de HCl es usualmente de un par de semanas y la de ClNO_3 es del orden del día. Formándose nuevamente radicales $\text{Cl}\cdot$ según las siguientes reacciones:



Sin embargo esta eliminación de ClO_x resulta ser ineficiente, porque las concentraciones de HNO_3 en el vórtice antártico en primavera son muy bajas. Por lo tanto, el agotamiento de HNO_3 en la estratósfera Antártica es causado por la sedimentación de las partículas HNO_3 que se encuentran contenidas en las PSC en el transcurso del invierno, aunque todavía no se comprende cómo las PSC crecen a tamaños lo suficientemente grandes para someterse a la sedimentación.

Las observaciones indican que la estratósfera de la Antártica se ha enfriado en los últimos años. Una explicación propuesta para el enfriamiento es el aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero, estos gases en la estratósfera tienen un efecto de enfriamiento neto¹² (en contraste con la tropósfera), ya que irradian el calor generado por la absorción de radiación UV por O_3 , generando un enfriamiento en la estratósfera Antártica, que en las próximas décadas podría causar un mayor desarrollo del “agujero de la capa de ozono en la Antártica”, aun cuando los niveles de cloro disminuyan debido a la prohibición de los CFC's.

Efectos de la radiación ultravioleta

Sin duda que el aumento de la radiación ultravioleta por disminución de la capa de ozono ha traído consigo impactos significativos tanto a nivel de la salud de las personas como también a especies animales y vegetales de ambientes terrestres y acuáticos.

En organismos acuáticos y terrestres¹³

El efecto más significativo, se ha observado en el fitoplancton, que expuesto a ambientes de alta radiación UV muestra un descenso en su movilidad e inhibición de sus respuestas fototácticas y fotofóbicas. En zonas donde la capa de ozono

se ha reducido hasta un 25% se ha observado una disminución de la fotosíntesis realizada por el fitoplancton hasta de un 35% (Smith et al, 1980).

En el zooplancton se ha observado una importante disminución en su capacidad reproductiva. La disminución del plancton tiene efectos inmediatos en las demás poblaciones que habitan los mares ya que constituye el primer nivel trófico del que todos dependen.

De igual modo se han detectado impactos a nivel ocular de especies marinas y terrestres debido al aumento de la incidencia de radiación solar ya sea directa como reflejada, particularmente en regiones australes.

A su vez las plantas terrestres manifiestan respuestas bioquímicas, fisiológicas, morfológicas y anatómicas a la exposición de radiaciones¹³. La radiación UV produce efectos en el crecimiento lo que conlleva la disminución en la superficie foliar y la disminución en la capacidad para utilizar la radiación solar en la fotosíntesis.

Los efectos de la radiación UV sumados a otros factores de estrés como la falta de agua, la deficiencia mineral y el incremento del CO_2 en el ambiente producen cuadros importantes de deterioro en los vegetales.

Esto se ha demostrado en estudios nacionales como por ejemplo en “Efecto de la radiación UV-B en plantas”, realizado por *Libertad Carrasco-Ríos* perteneciente al Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Tarapacá, publicado en el 2009.

En seres humanos¹⁴

Por la capacidad de penetración de la radiación UV, los principales efectos de exposición a ella se limitan a las

reacciones manifestadas por la piel y los ojos. La penetración en la piel puede superar su grosor y en los ojos los rayos UV son absorbidos por la córnea y el cristalino antes de poder llegar a la retina.

En la piel pueden reconocerse dos tipos de reacciones generadas por la radiación: agudas y crónicas. Las reacciones agudas aparecen rápidamente y en general, son de corta duración. Entre ellas se pueden mencionar las quemaduras, el bronceado y la producción de vitamina D.

Las reacciones crónicas aparecen lenta y gradualmente, y son de larga duración. Entre ellas se encuentra el envejecimiento prematuro y el cáncer de la piel, producidos por exposiciones prolongadas a la radiación.

Las quemaduras o eritema son lesiones agudas provocadas por una exposición intensa a radiaciones UV. El enrojecimiento es la respuesta al incremento de la circulación en la piel y la dilatación de los capilares superficiales de la dermis. Una sobreexposición puede producir edemas, mutaciones, y la descamación de la piel en unos cuantos días.

Todo esto se ha demostrado por estudios realizados por la **Corporación Nacional del Cáncer (CONAC), que certifica que** la tasa de melanoma maligno se incrementó en los habitantes de Santiago en un 158 por ciento desde 1992 a 1998 y que en la II Región, la mortalidad por cáncer a la piel es de 3,7 por cada 100 mil habitantes, superando largamente la tasa de la Región Metropolitana, que alcanza a 1,04 personas por cada 100 mil habitantes.

CONAC además dice que “en Chile la situación es grave, pues se calcula que 10 de cada 100 mil chilenos padece de cáncer de piel. Para los niños el cuadro es más crítico por cuanto se estima que el riesgo a lo largo de su

vida se incrementa del 10% al 16%, debido a que los efectos provocados por el sol son acumulativos y pueden tardar hasta 20 años en manifestarse. Los jóvenes en tanto, muchos de ellos asiduos a los “bronceados fascinantes”, son también susceptibles, con un aumento anual del cáncer de piel en ese rango etario del 12 al 20%”.

En el ojo humano¹⁴

Se considera que la fotoqueratitis o quemadura ocasionada por la luz es una consecuencia a la exposición de los rayos UV. Este tipo de lesión es frecuente en personas expuestas intensamente a radiación o reflejo en zonas desérticas y mayor en regiones nevadas.

Los trabajadores que se desempeñan en espacios abiertos triplican el riesgo para desarrollar carnosidades en la córnea, y tienen mucho mayor riesgo de formar depósitos de proteínas en forma de gota en la córnea. La presencia de cierto tipo de cataratas también ha sido asociada a la exposición de la radiación UV.

III. Protocolo de Montreal

Con el fin de disminuir el impacto en el deterioro de la capa de ozono, la comunidad internacional decidió abordar un conjunto de medidas para detener la liberación de sustancias responsables de su destrucción. Así nació la “Convención de Viena para la protección de la capa de ozono”, que luego se complementó con el “Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono” y sus posteriores enmiendas: Londres (1990), Copenhague (1992), Viena (1995), Montreal (1997) y Beijing (1999).

Ante los antecedentes científicos acumulados hasta mediados de los años 80 a nivel mundial, se inicia una campaña científica con las primeras redes sociales existentes generándose una verdadera conciencia de escala planetaria. Estos antecedentes mostraron que la prevalencia en la destrucción de la capa de ozono traería asociados impactos de resultados desastrosos a nivel mundial en la salud de las personas y la correspondiente sobrevivencia del planeta, al estar evidenciándose un aumento gradual de radiación ultravioleta producto de la destrucción de la capa de ozono y su eventual incremento.

Gran parte de este trabajo desarrollado por los mismos científicos que descubrieron sus causas tuvo eco a nivel de los organismos internacionales. De este modo las principales naciones del hemisferio norte tomaron medidas para no continuar utilizando a escala industrial estas sustancias dañinas para la capa de ozono y, así, en 1987 se firmó en Canadá el Protocolo de Montreal, que señaló el compromiso de disminuir gradualmente la utilización de sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO), en donde no sólo se posicionan los CFC, sino que también otras especies de amplio uso como el bromuro de metilo y el tetracloruro de carbono, los cuales

resultan ser tanto o más dañinos que los CFC's pero que se encuentran en menores concentraciones en la atmósfera.

El Protocolo de Montreal (PM)¹⁶, convocado por los gobiernos de diferentes países, principalmente del hemisferio norte, se transforma en un efectivo tratado internacional diseñado para proteger la capa de ozono, al buscar reducir la producción y consumo de numerosas sustancias que reaccionan destruyendo al ozono estratosférico y que en un último caso son responsables del agotamiento de la capa de ozono (ver Figura 9).

El acuerdo fue firmado el 16 de septiembre de 1987 y entró en vigor el 1° de enero de 1989. Desde entonces este acuerdo ha evolucionado en cinco revisiones posteriores a través de las enmiendas ya citadas de Londres, Copenhague, Viena, Montreal y Beijing.

Así, el enfoque de este tratado fue planteado en la progresiva eliminación de las emisiones mundiales de Sustancias que Agotan el Ozono (SAO) y que se corresponden con los CFC's, halones, tetracloruro de carbono, HCFC, metilcloruro, metilbromuro, entre otras especies químicas.

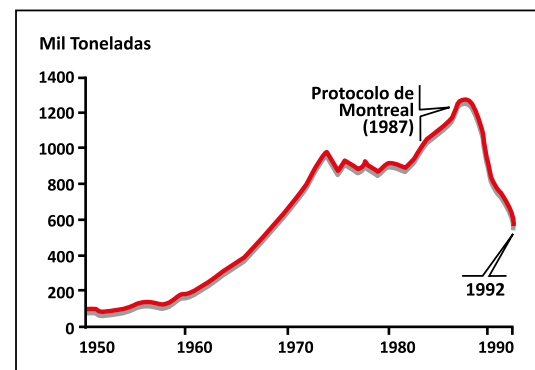


Figura 9. Producción Global de CFC'S durante los años 1950-1992.

Fuente: Figura modificada de PNUMA/ GRID- Arendal, Environmental Knowledge for Change.

Estas SAO se han clasificado en anexos y grupos como se muestra en la siguiente Tabla 3.

Dada la complejidad del tratado y la graduación con que se debería operar se acordó definir cronogramas y metas diferentes según se trate de países en proceso de desarrollo o ya desarrollados, debido al alto impacto que estas medidas restrictivas tienen o tendrían en los sistemas productivos de los diferentes países. Así en su Artículo 5, este Protocolo describe la clasificación de los países según su consumo per cápita de estas sustancias.

Países como Chile, con una tasa de consumo inferior a 0,3 kg/ habitantes, tuvieron un plazo de 10 años más para el cumplimiento de sus obligaciones con el Protocolo y también han tenido derecho a acceder a recursos del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal para la ejecución de proyectos y actividades diseñadas para reducir y eliminar el uso de las SAO.

Tabla 3

Clasificación de especies SAO

Anexo	Grupo	Tipo	Usos
A	I	CFC	Refrigerantes y espumas
	II	Halones	Extintores
B	II	CCl ₄	Disolvente
	III	Metilcloroformo	Disolvente
C	I	HCFH	Especie de transición
E	I	Bromuro de metilo	Pesticida de uso agrícola

Con estos antecedentes se procedió a diseñar el protocolo, el cual entre otros aspectos se estipuló¹⁷ lo siguiente:

- Los 145 países que operan al amparo del art. 5 no pueden aumentar su tasa de consumo dentro de los próximos años, y cesará su consumo de las sustancias mencionadas en el Anexo A, grupos I y II, y el anexo B, el grupo II, a partir del año 2010.
- En el caso de las sustancias mencionadas en el anexo B, grupo III, y anexo E, dejarán su consumo a partir del 1 de enero 2015.
- Estas sustancias agotadoras de ozono pueden ser utilizadas solo para propósitos esenciales, cuando no hay sustitutos para ellas en el mercado, y por periodos limitados de tiempo.
- En cuanto a los HCFC, sustancias con menor poder de agotamiento de ozono, que figuran en el Anexo C, el calendario de reducción se ajustó a fin de establecer la línea de base en los años 2009 y 2010, es decir, su reducción se pondría en marcha a partir del año 2013 y así se lograría su erradicación total para el año 2030.

Desde que el Protocolo de Montreal entró en efecto, las concentraciones atmosféricas de los CFC's más importantes y los hidrocarburos clorados se han estabilizado y/o se han reducido. Sin embargo la concentración de los HCFC's han aumentado significativamente, en gran parte debido a los múltiples usos en los que reemplazan a los CFC's.

Entre los más de 140 países que han ratificado el Protocolo y sus posteriores enmiendas, se encuentra nuestro país, el cual no ha estado exento de estas preocupaciones y, a través de diversas iniciativas gubernamentales legislativas y operativas, nuestros sucesivos gobiernos se han sumado a la

tarea de contribuir al proceso de recuperación planetario de la Capa de Ozono, implementando la Ley N° 20.096⁷, que establece mecanismos de control aplicables a las sustancias agotadoras de la capa de ozono. Con esta ley se logró cumplir con las metas estipuladas, sin embargo, aspectos educativos esenciales en materia de prácticas y restricciones en la manipulación y disposición final de todos aquellos gases que afectan al ozono estratosférico, particularmente los de tipo CFC's, hasta ahora no se han incorporado cabalmente a la agenda nacional.

Debido a lo anterior es que hemos evidenciado la necesidad de acometer integralmente en nuestro país un “Plan de Manejo Ambiental de las SAO” abordándose compromisos nacionales en la Protección de la Capa de Ozono, a objeto de evidenciar la puesta en marcha de un Modelo de Gestión Ambiental Integrado para desarrollar seguimientos de distribución, manipulación y disposición final de las SAO.

Este modelo permitiría contar con una herramienta de orientación para la legislación o normativa ambiental, así como también para las buenas prácticas industriales en producción limpia, de acuerdo a las políticas orientadoras del Protocolo de Montreal y de los compromisos de nuestro país en esta materia. Es en este ámbito de reflexión que buscamos hacer conciencia para evitar la liberación de estos gases a la atmósfera, que actualmente no están siendo controlado en toda su variedad de usos, ni almacenados ni tratados apropiadamente en su disposición final en nuestro país.

IV. Algunas Experiencias Internacionales

El Protocolo de Montreal instruyó un Fondo Multilateral (FMPM) para ayudar a los países en desarrollo para que puedan cumplir con sus obligaciones derivadas de este acuerdo internacional. Lo que busca este acuerdo ambiental es el control, inmovilización, reducción y eliminación progresiva del consumo de las sustancias destructoras del ozono.

A nivel mundial se tomaron medidas paliativas con el fin de reducir el uso y manipulación de SAO. A continuación presentamos algunas iniciativas que países del continente y de la Unión Europea comenzaron a desarrollar, a modo de ejemplo y con el fin exponer los tipos de avances de lo que ha representado en otras latitudes los compromisos firmados en esta materia.

Unión Europea

En el marco normativo la Unión Europea¹⁹ se implementó dos reglamentos relativos a las SAO:

- Reglamento (CE) n° 3093/94 del Consejo, de 15 de diciembre de 1994, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono.
- Reglamento (CE) No 2037/2000 Del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de junio de 2000, sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.

Las metas de 1996 de la UE con respecto a la eliminación de CFC se han cumplido, solo sigue vigente el objetivo de reducir el nivel de HCFC, con vistas a su prohibición total en 2030. La Unión Europea posee una planta de destrucción para estos gases en Alemania.

Canadá

Canadá ha tenido significativos progresos a nivel de reducción de SAO, esto a través de medidas de control aplicadas por cada provincia y gobernaciones federales, además de acciones voluntarias por parte de la industria con respecto al cambio tecnológico.

En 1992 se formuló un informe que desarrolló un plan de recuperación, reciclaje, y rescate de los CFC's para su posterior reutilización, que asegurara que el mercado de estos compuestos no entrasen a la atmósfera. En el informe también se presentó la necesidad de recuperar los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) para su reutilización¹⁸. Este trabajo se llamó "Plan Nacional de acción para la recuperación, reciclaje y rescate de los clorofluorocarbonos (CFC)", donde algunas acciones consistían en:

- Crear incentivos para recuperar y reciclar los CFC.
- Realizar un sistema de seguimiento para el movimiento y uso de materiales recuperados, crear normas y códigos de prácticas en materia de controles de emisión.
- Mejorar la educación e información sobre estas sustancias.
- Desarrollar políticas y estrategias de planificación de los propietarios de edificios importantes.
- Desarrollar un plan de acción para la destrucción de los CFC en el momento oportuno para complementar esta recuperación y reciclaje.

La destrucción de los gases clorofluorocarbonos se realiza solo para aquellos compuestos que son demasiados contaminantes para su reciclaje o que ya no son necesarios debidos a sus sustitutos en el mercado.

Posteriormente dentro del marco normativo e institucional se creó un reglamento para las sustancias que agotan el ozono, en 1998, llamado "*Depleting Substances Regulations*, (ODSR 1998)".

En el año 2003 se hicieron regulaciones federales de halocarbonos (*Federal Halocarbon Regulations, 2003* (FHR 2003)), que fueron dirigidas específicamente al área de refrigeración de los sistemas de aire, extintores de incendios y sistemas de disolvente diseñados para contener los halocarbonos.

En Canadá las provincias territoriales han complementado las regulaciones federales, siendo estas The provinces and territories are responsible for the sale, handling, use, recovery and recycling of ozone-depleting substances. las responsables de la venta, manipulación, uso, recuperación y reciclado de sustancias destructoras del ozono. All Canadian provinces have now implemented mandatory legislation for the recovery and recycling of ozone-depleting substances. Además, todas las provincias canadienses han aplicado la *legislación obligatoria* para la recuperación y el reciclado de sustancias destructoras del ozono.

Por otro lado, a través del programa bilateral, en el marco del Protocolo de Montreal, Canadá ha contribuido a importantes resultados con más de 400.000 toneladas de SAO eliminadas en los países en desarrollo en el marco del Fondo Multilateral; con más de 30 proyectos bilaterales ejecutados por Environment Canada en distintos países.

México

En la actualidad México ha reducido el consumo de CFC's en más del 85% en relación a el consumo presentado en

1992, gracias a la implementación de más de 100 proyectos en los sectores de refrigeración industrial y doméstica, espumas, aerosoles, sistemas de enfriamiento centrífugo, halones, asistencia técnica y capacitación, entre otros, para reducir su consumo de SAO²⁰ (Figura10).

Asimismo, desde 1990, los productos en aerosol distribuidos en México utilizan propelentes alternativos, y a partir de 1997, todos los refrigeradores domésticos y comerciales producidos en este país se encuentran libres de CFC's.

Gracias a la ejecución de proyectos en los sectores de solventes y espumas de poliuretano, a partir de 2005 se eliminaron el uso de CFC's en ambos sectores. Desde diciembre de 2004, se encuentra en operación el Banco de Halones Mexicano, que propicia el reciclaje y reutilización de halones en sistemas de control de incendios que no tengan otra alternativa.

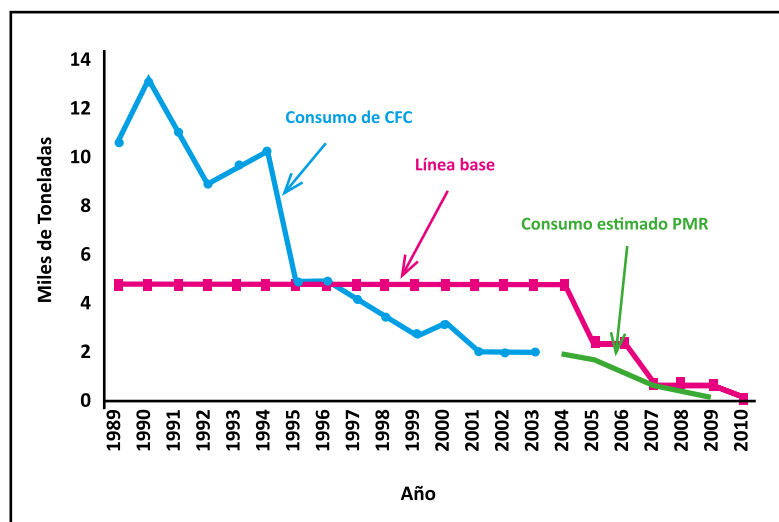


Figura 10. Consumo histórico de CFC en México.

Fuente: SEMARNAT

México realizó un plan nacional de eliminación de CFC durante el periodo de 2004-2010, acordado con el Comité Ejecutivo para la implementación del Protocolo de Montreal (2004), que tenía como objetivo proporcionar asistencia técnica, capacitación y equipamiento para la eliminación de CFC. La meta consistía en la eliminación de 1.669 toneladas de CFC, para esto se realizó un estudio a empresas para brindar asesoría técnica y financiamiento para reconvertir sus procesos.

Del estudio se encontró que en total estaban registradas 15 empresas fabricantes de equipos de refrigeración y espumas con un consumo de 49.7 toneladas de CFC. Luego se recurrió un Manual de capacitación en “Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado”, realizado por la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), equipándose los laboratorios de 27 escuelas (IPN, Tecnológicos, UABC, CETMAR, CETIS, CBTIS y CONALEP) (Figura 11).

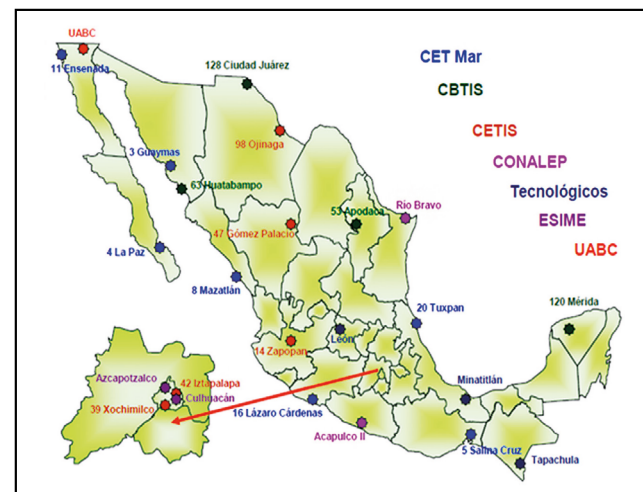


Figura 11. Ubicación geográfica de las 27 escuelas correspondientes a los siete centros.

Fuente: SEMARNAT

Se capacitaron más de 100 profesores como “Instructores” y éstos, a su vez, ya han capacitado a más de 5.000 técnicos. Además, entregaron más de 1.000 equipos a técnicos destacados. Asimismo se equiparon y pusieron en operación 14 centros de reciclado de refrigerantes (CRR), con una capacidad para reciclar 1.300 toneladas de refrigerantes por año.

Las operaciones de los CRR se registran en el SISSAO, que es el Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SISSAO), un instrumento para el registro estadístico (<http://sissao.semarnat.gob.mx>).

En octubre de 2004, impulsaron un Taller Latinoamericano de discusión sobre opciones tecnológicas para la conversión (retrofitting) de equipos de refrigeración y aire acondicionado en Asunción, Paraguay. Ahí se realizaron discusiones sobre la situación del momento y la aplicación de las alternativas tecnológicas a los CFC's en los diferentes subsectores de la refrigeración y aire acondicionado; los equipos necesarios para implementación de las reconversiones; los costos y rendimientos de los equipos después de la reconversión; y la revisión de las guías del Fondo Multilateral en el sector de servicios en refrigeración.

También se analizaron las políticas nacionales sobre “retrofitting” considerando las situaciones que se presentan al reconvertir en forma obligatoria o voluntaria la certificación de los técnicos que llevan a cabo estos trabajos, así como las opciones de “retrofitting” versus recuperación/ reciclaje.

Dentro de los participantes se encontraron funcionarios gubernamentales de: Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay, República Dominicana y Venezuela. Además

de representantes del ahorro de energía de México, representantes de la oficina regional del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA/ORPLAC), y del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Uruguay

En el marco institucional, los ministerios de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) corresponden a la autoridad nacional competente de los efectos de instrumentación y aplicación del Convenio de Viena y del Protocolo de Montreal según dicta el Art. 18 de la Ley 17.283 relativa a la Protección General del Ambiente.

Por otro lado, también crearon la Comisión Técnica Gubernamental de Ozono por Resolución Ministerial N° 39/93, el 3 de marzo de 1993, la cual se encargó de la implementación y aplicación de las medidas pertinentes para asegurar el cumplimiento de las obligaciones que impone el Protocolo de Montreal, a través de la ejecución de un programa nacional para la reducción gradual del uso de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAO)²¹.

- La Unidad de Ozono ha promovido la aprobación de leyes relativas a la protección de la Capa de Ozono:
- Ley General de Protección al Ambiente, Ley N° 17.283 del 28 noviembre de 2000 que corresponde a la creación del marco legal para la implementación de un sistema de licencias para la comercialización de sustancias agotadoras del ozono.
- Ley de Presupuesto, Ley N° 17.296 del 21 de febrero de 2001.
- Creación del Sello Ozono Amigo, que corresponde a la creación de un sello para ser utilizado en aquellos productos

que no contengan o no utilicen en sus procesos de producción, las sustancias controladas por el Protocolo de Montreal.

- Creación del Programa Nacional de Halones, Decreto N° 308/994 del 29 de junio de 1994.
- Reglamentación de la producción, importación, exportación de Sustancias controladas y equipos que las contienen, Decreto 345/004. 24 de Setiembre de 2004.

Además, el Programa Nacional de Reducción Gradual de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono” tiene dos grandes componentes:

- 1.- *Un Programa de Reconversión Tecnológica.*
- 2.- *Un Programa de Fortalecimiento Institucional,* compuesto a su vez por cuatro elementos o actividades principales:

- La ejecución de actividades generales tales como la elaboración de reportes de avance del Programa País y del consumo de sustancias agotadoras del ozono, de modo que Uruguay atienda sus obligaciones con el Protocolo de Montreal y sus órganos operativos, tales como la Secretaría del Ozono del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Secretaría del Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal, las agencias de implementación de los proyectos, ONUDI, PNUD, PNUMA y Banco Mundial,
- La implementación de un sello denominado Sello “Ozono Amigo”,
- La implementación de un Programa de concientización y de sensibilización ambiental,
- Y el establecimiento de un marco regulatorio adecuado.

Programa de Reconversión Tecnológica

Este Programa consiste en la ejecución de proyectos de inversión para los sectores consumidores de SAO y proyectos de capacitación en nuevas tecnologías y asistencia técnica para estimular la oferta de los productos libres de SAO.

Los sectores que consumían SAO al inicio de la implementación del Programa Nacional se presentan en la Figura 12.

A través de la ejecución los proyectos de reconversiones industriales se asistió a los sectores de producción de espumas rígidas de poliuretano, producción de espumas flexibles de poliuretano, producción de refrigeradores comerciales, producción de refrigeradores domésticos, producción de extintores de fuego de Halon 1211, producción de extintores de fuego de Halon 1301.

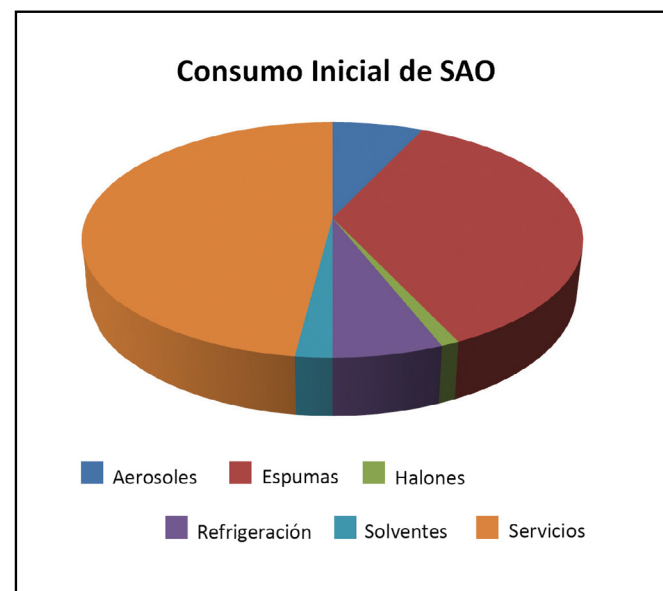


Figura 12. Consumo Inicial SAO Uruguay (Año 1992): 316 toneladas.

Además se ejecutaron proyectos de demostración y asistencia técnica para la conservación, recuperación y reciclado de CFC-12 en el sector de refrigeración doméstica, asistencia técnica para la conversión del sector de Aerosoles, Recuperación y Reciclado de CFC-12 en talleres de mantenimiento de equipos en el sector de refrigeración industrial, Recuperación y Reciclado de CFC-12 en aire acondicionado móvil y camiones refrigerados, identificación de Alternativas al uso de Bromuro de Metilo como fumigante de suelos en cultivos hortícolas, y un Plan de Manejo de Refrigerantes.

En la actualidad, todos los sectores industriales consumidores de SAO ya han sido reconvertidos, restando solamente la conversión de un subsector dentro del Sector de Aerosoles, los aerosoles médicos o Inhaladores de Dosis Medida (IDM). A estos efectos, se está iniciando la ejecución de un nuevo proyecto para la eliminación del uso de CFC en la producción de IDM en Laboratorios Haymann.

Otro sector que aún consume SAO es el de servicios en refrigeración. Actualmente para este sector se encuentran en ejecución el Plan de Manejo de Refrigerantes Agotadores de la Capa de Ozono, el Programa de incentivos para usuarios finales de refrigeración industrial y comercial y el Proyecto de Demostración y Entrenamiento para la utilización de Hidrocarburos como refrigerantes.

El otro sector que aún consume SAO es el sector hortícola, que utiliza Bromuro de Metilo para la desinfección de suelos. Para la asistencia a este sector se encuentra en ejecución un Proyecto de Eliminación del Uso de Bromuro de Metilo como fumigante de suelos.

Uno de los objetivos del Programa Nacional es influir en el comportamiento del consumidor a través del fomento de la

conciencia del público y con el apoyo de un sello denominado “Ozono Amigo”. Otro objetivo fue la sensibilización de la población en cuanto al problema del deterioro de la capa de ozono y su influencia sobre la salud humana y el medio ambiente. Para ello se desarrolló el *Programa de concientización y de sensibilización ambiental* en el marco del proyecto de Fortalecimiento Institucional.

Otro componente es el establecimiento de un marco regulatorio. Este marco no se limitó únicamente a la aprobación de las leyes de ratificación de las Enmiendas del Protocolo de Montreal, sino que se impulsó la aprobación de las Leyes y los Decretos presentados anteriormente, de forma de contribuir al cumplimiento del país con las medidas de control del Protocolo de Montreal.

Dentro de los logros del Programa Nacional de Uruguay se encuentra el cumplimiento de la primera obligación emergente del Protocolo de Montreal, el congelamiento del consumo de los Clorofluorocarbonos (CFC) al nivel de base (consumo promedio 1995 a 1997) a partir del 1° de julio de 1999. Además, en el año 2004, el consumo nacional de los Clorofluorocarbonos (CFC) ha disminuido en un 70% con respecto al año 1992.

Debido al exitoso papel cumplido en la aplicación del Protocolo de Montreal, Uruguay se ha destacado en el contexto internacional, obteniendo reconocimientos internacionales por parte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

V. La Experiencia Chilena

Chile²² ratificó el Protocolo de Montreal y junto con ello promulgó la Ley 20.096 que establece el control de sustancias agotadoras de la capa de ozono, entrando en vigencia el 23 de marzo de 2006. Esta ley tiene la facultad de establecer controles sobre las importaciones, exportación, producción y utilización de las sustancias controladas por el Protocolo de Montreal. También, establece la obligación de que los instrumentos y artefactos que emitan radiación ultravioleta incluyan en sus especificaciones técnicas o etiquetas una advertencia respecto a los riesgos en la salud de las personas.

La creación de la ley 20.096 se produjo por la situación de incumplimiento en la que se encontraba Chile en el año 2004, junto con ella, se presentó un plan de acción que se llevaría a cabo para cumplir con los objetivos del protocolo.

Esta ley relaciona el trabajo de distintos Ministerios (salud, economía, agricultura, hacienda, relaciones exteriores) y servicios públicos como CONAMA (ahora Ministerio del Medio Ambiente) y el Servicio Nacional de Aduanas, estableciendo que:

- Al Servicio Nacional de Aduanas se la atribuye el control de ingreso y salida de las SAO y sus productos asociados. También es responsable de establecer un sistema de administración sobre los volúmenes máximos permitidos por el Protocolo y de impartir las instrucciones relacionadas a la acreditación para llevar a cabo la entrada y salida de los estos compuestos. Además, es quién ordenará, en coordinación con la autoridad sanitaria o el Servicio Agrícola y Ganadero, la eliminación o disposición final de las sustancias y productos prohibidos.
- Le corresponde al Ministerio de Salud dictar la reglamentación relacionada con la aplicación, creación, almacenamien-

to, transporte, tratamiento o reciclaje de las sustancias controladas, así como la adecuada fiscalización de ellas según lo establecido en el Protocolo.

- La radiación ultravioleta debe ser informada a través de los medios de comunicación para la oportuna protección de las personas.
- Los efectos en la salud de las personas deben ser evaluados periódicamente por el Ministerio de Salud.
- La comercialización y utilización de productos controlados que no estén prohibidos en conformidad con esta ley, deben incluir etiquetas y publicidad que de aviso que tal producto daña la capa de ozono.
- Aquellos productos que emitan radiación ultravioleta deben incluir información sobre los riesgos para la salud que produce su utilización.
- En los contratos de trabajos en los cuales los empleados deban exponerse a los rayos ultravioleta, deben especificarse las medidas tomadas para la protección eficaz de los trabajadores.
- Los productos tales como los bloqueadores, anteojos solares u otros que contribuyan a la protección de las personas deben indicar el factor de protección relativo a la exposición de los rayos ultravioleta.
- Es deber del Servicio Nacional del Consumidor velar por el cumplimiento de la reglamentación asociada a los productos relacionados con la materia.
- La sanción por incumplimiento en la importación y exportación de los productos será de 2 a 50 unidades tributarias mensuales, y el producto entrará a rentas nacionales.

A fin de aplicar la presente Ley, se publicó el DS N° 37/2007 en el mes de Septiembre de 2007 por el Ministerio Secretaría General de la Presidencia, proporcionando normas aplicables a las importaciones de SAO, los volúmenes máximos de importación y los criterios de distribución (Tabla 4).

Dentro de este marco, el Servicio Nacional de Aduanas aprobaron las Resoluciones N°5630 y N°5638, que establecen la importación de SAO y el sistema de registro de exportaciones, así como la asociadas volúmenes máximos de importación.

Tabla 4

Total de importación máxima por año

Anexo	Grupo	Especie	LBC*	2006	2007	2008	2009	2010	2015
A	I	CFC 11	828,7	414,3	124,3	124,3	124,3	0	0
		CFC 12							
		CFC 113							
		CFC 114							
		CFC115							
	II	Halón 1211	8,5	4,2	4,2	4,2	4,2	0	0
		Halón 1301							
		Halón 2402							
B	II	Tetracloruro de carbono	0,6	0,09	0,09	0,09	0,09	0	0
	III	Tricloroetano	6,4	4,4	4,4	4,4	4,4	1,9	0
C	II	Anexo C Grupo II		0	0	0	0	0	0
	III	Anexo C Grupo III		0	0	0	0	0	0
E	I	Bromuro de Metilo	212,5	170	170	170	170	170	0

* Línea base de consumo en ton PAO.

Chile ha ratificado todas las correcciones internacionales emitidas por la Convención de Viena, como se detalla en la Tabla 5. Dentro de las principales SAO que se utilizaban en Chile, de acuerdo a la información disponible en 1995, fueron: CFC-11, CFC-12, CFC 502, y el HCFC-22.

En la actualidad, a raíz de las medidas aplicadas, los refrigerantes más utilizados siguen siendo el HCFC-22, CFC 502 y, también, el HCFC-141.

Tabla 5

Estado de la ratificación en Chile

Instrumento	Entrada en vigor	Fecha de ratificación	Instrumento Jurídico
Convención de Viena	22-sep-88	06-mar-90	S.D. N° 719
Protocolo de Montreal	01-ene-89	26-mar-90	S.D. N° 238
Enmienda Londres	10-ago-92	09-abr-92	S.D. N° 1536
Enmienda Copenhague	14-jun-94	14-ene-94	S.D. N° 735
Enmienda Viena	05-ago-96		S.D. N° 483
Enmienda Montreal	10-nov-99	17-jun-98	S.D. N° 387
Enmienda Beijing	25-feb-02	03-may-00	S.D. N° 179

Evolución del consumo de SAO

En Chile no se fabrican SAO, por ende para estimar la cantidad que se encuentra en nuestro país, se analizan las importaciones. En la Figura 13, se muestra una gráfica con la evolución del consumo de SAO por grupos de productos en Chile entre los años 1989 y 2008.

La figura muestra una clara disminución del consumo en el consumo de CFC's y una alza para su sustituto, los HCFC's.

En 1998, la línea de base del consumo de CFC's en Chile fue 828,7 toneladas PAO, es decir, es un reflejo del promedio durante el período 1995 a 1997. Este valor ha disminuido gradualmente, como se refleja en las cantidades importadas para el año 2007 con 19,227 toneladas de importaciones de CFC's.

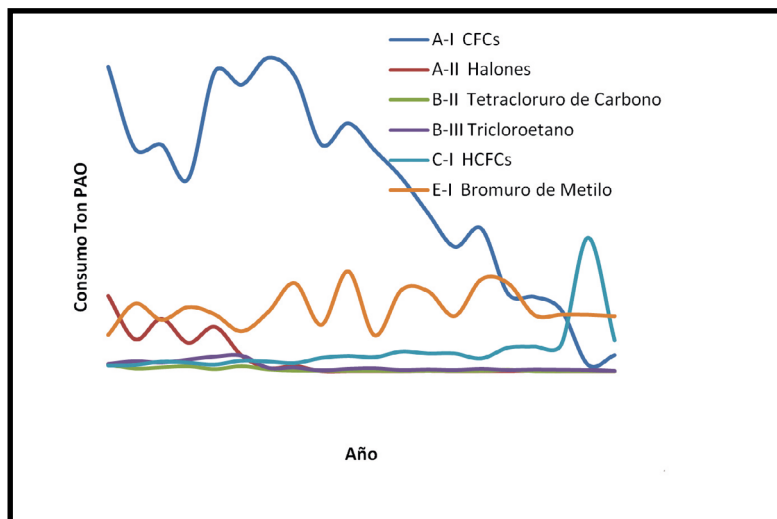


Figura 13. Consumo de SAO entre los años 1989 y 2008.

En Chile se realizó un Programa de Financiamiento para la conversión tecnológica, cual contó de dos fases (Fase I y II). Este programa logró eliminar la mayoría de los CFC's utilizados en las espumas rígidas y el sector de fabricación de equipos de refrigeración, formados por medianas y grandes empresas. Se estima que el consumo restante de CFC's se encuentra destinado principalmente para el mantenimiento y conservación de sectores domésticos, comerciales, industriales, de transporte y sistemas de aire acondicionado.

En el pasado, el sector de la refrigeración comercial, como armarios, cajas de helados, y enfriadores de bebidas, etc., solían emplear preferentemente de CFC-12, HCF-22 y R-502. Hoy en día, los refrigerantes principales son el HFC-134a y R-404a, éste último en sustitución del R-502. Sin embargo, CFC-12 sigue siendo utilizado para equipos de baja capacidad, principalmente en las pequeñas tiendas.

La antigua CONAMA realizó estimaciones de la capacidad actual de los CFC's en los equipos instalados, asociados a equipos de refrigeración y aire acondicionado en Chile, sobre la base de datos proporcionados por empresas de mantenimiento y conservación, así como por los usuarios de los CFC's en los talleres participativos organizados por CONAMA.

Esta información se complementó con encuestas directas a los participantes del Programa I + I, que consumían CFC's, con el fin de recopilar información adicional. La información obtenida se desglosa en los siguientes dos grupos principales:

- Estimación de la cantidad de CFC en los equipos instalados actualmente en uso.
- Estimación de la cantidad total de CFC que podría ser necesario en el futuro para las operaciones de mantenimiento y conservación de todos los equipos que actualmente están en uso.

A modo de tener una visión en perspectiva, de los datos de la época, podemos apreciar que la estimación realizada corresponde al total de los CFC12 instalados en los distintos sub-sectores para el año 2006, los que se presentan en la Tabla 6.

De acuerdo a las estimaciones de ese año, en los equipos existentes en el país habían del orden de 550,03 toneladas

de CFC-12 (*ref. CONAMA 2008*); donde el sector de la refrigeración industrial representaba el 42% de este total, el sector de aire acondicionado móvil (incluyendo automóviles y transporte público) el 15%, el sector de refrigeración comercial (tanto en los supermercados y los equipos de mini-mercado) alcanzaba el 18%, el de refrigeración doméstica un 15%, y finalmente el transporte refrigerado (camiones) se estimaba en un 9%.

De acuerdo a lo presentado por el informe de la CONAMA, se estimó que para el 2008 sólo habría un número muy reducido de equipos fabricados en el país basados en CFC's, dado que, como ya se ha dicho, todos los fabricantes nacionales de refrigeradores se habían convertido con el apoyo de CONAMA y/o por propia iniciativa empresarial.

Tabla 6

Estimación de CFC-12 para sectores de refrigeración y aire acondicionado* en el año 2006 (toneladas).

Sector	CFC-12
Refrigeración Doméstica	84
Refrigeración Comercial: Supermercados	56,25
Refrigeración Comercial: Mini markets	45,21
Refrigeración Industrial	231,26
Contenedores refrigerados	0
Transportes refrigerados	50,18
Aire acondicionado: buses	13,63
Aire acondicionado: automóviles	67,28
Aire acondicionado: taxis	2,22
Total	550,03
(*) Sin embargo, el Aire Acondicionado Fijo no fue evaluado en el estudio.	

Además CONAMA, en ese entonces, estableció que en el sector de equipos de refrigeración existirían aproximadamente 700.000 refrigeradores fabricados con CFC-12 hasta el año 2006 y este parque se previó que no llegaría a no más de 760.000 unidades.

Para ello se tomó en cuenta las estimaciones de ventas anuales de los frigoríficos fabricados por Sindelen al año 2007, considerándose que se dejaría de fabricar equipos con CFC-12 al sustituirlos por R-600 a partir de enero de 2008. Por lo que dicho parque de refrigeradores se reduciría gradualmente al ser sustituido por nuevas unidades, ya sea, porque llegaron al final de su vida útil, o porque el costo de las reparaciones estaría cerca del precio de una nueva unidad.

Como resultado, se previó una reducción de un 15% para el año 2010, es decir, 430.000 unidades con 53 toneladas de CFC-12. Estos datos permitieron estimar un potencial restante de CFC-12 de consumo para mantenimiento y conservación para este sub-sector de casi 19,2 toneladas/año para el año 2010. En la Tabla 7 se muestra la proyección que se estimó por sector.

De acuerdo con esta tabla, se estimó para el 2010 alrededor de 506,4 toneladas de CFC-12 instalado en equipos existentes y que se necesitarían alrededor de 51,8 toneladas / año para mantenimiento y conservación. Estas cifras no incluyeron las actividades de conversión.

Además, a fines de 2007, se iniciaron actividades de recuperación y reciclado, que se muestran en la Tabla 8 para el CFC-12 para un período de 6 meses.

En síntesis, Chile se ha adscrito a un proceso gradual de reducción de las SAO, en donde desde 1999 se inicia con

el congelamiento de las sustancias del Anexo A, Grupo I, al promedio del consumo 1995-1997.

Tabla 7

Estimación de CFC-12 en cuanto a capacidad y consumo por subsectores en el año 2010 (ton/año)

Area	Equipamientos	Consumos por servicios y mantención
Refrigeración Doméstica	53	19,2
Refrigeración Comercial		
Supermercados	54	6,1
Mini markets	48,9	8,8
Refrigeración Industrial	250,3	1
Transporte refrigerados	52,2	6,3
MAC	48	10,4
Total	506,4	51,8

En el año 2001 se congela el consumo de halones, al nivel de 1995-1997 y en el 2010 se llega al cierre de las importaciones para el consumo de todos los CFC's, sustancias del Protocolo con excepción del bromuro de metilo. Recientemente, y desde el año 2015, en Chile comenzó la prohibición de la importación de bromuro de metilo para las formulaciones que están destinadas al uso en suelos agrícolas.

Tabla 8

Toneladas de recuperación, recicladas y recargas de CFC's

Recuperadas	Recicladas	Recargas
0,33	0,14	0,25

En la actualidad, se ha debido continuar progresando con las restricciones a los sustitutos de los CFC's, vale decir el empleo de nuevas especies químicas, aun cuando éstas son menos agresivas que las anteriores, también tienen un fuerte impacto en el efecto del Calentamiento Global.

De ahí, que de acuerdo a los delineamientos que han seguido del Protocolo de Montreal, desde el Ministerio del Medio Ambiente se proyectan iniciativas sobre los HCFC's con financiamiento del Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal 2012-2015.

Algunas líneas estratégicas generales se han proyectado desde instancias gubernamentales y entre estas se cuentan las de implementar un marco regulatorio para los HCFC's, con un calendario de reducción gradual esperándose alcanzar una eliminación total hacia el año 2030.

Así, se plantean metas como para el año 2020 de una reducción del 45% y al 2021 del 65% de los HCFC's, junto con un término del HCFC-141b.

Otras iniciativas van por establecer programas de apoyo al sector de espumas, al sector de refrigeración junto con programas de sensibilización y monitoreos que abarcarían el período de los próximos 15 años.

VI. Bases de un Modelo de Gestión Ambiental Integrado para las SAO

Aún cuando a través del Ministerio del Medio Ambiente se ha fijado un Plan de Gestión para la Eliminación de HCFC en Chile hacia el año 2030, esta sola resolución no nos resulta del todo satisfactoria, atendiendo a una serie de aspectos que a nuestro entender han quedado abiertos y sin una orientación clara de cómo proceder con el actual material existente al respecto.

Por nuestra parte, los antecedentes que hemos recopilado nos permitieron establecer un conjunto de sugerencias producto de observar vacíos o faltas de regulaciones en algunas materias que nos parecieron esenciales en la acción última de proteger desde nuestra contribución nacional la capa de ozono y que a continuación describiremos.

Vacíos Jurídicos

De lo observado a nuestro conocimiento consideramos que:

a. No habría una regulación para los generadores de residuos, que los obligue y los responsabilice a hacerse cargo de ellos aplicando un modelo de gestión para la disposición final, posterior al almacenaje de éstos.

b. No habría regulación en la fiscalización ni sanciones de los procesos de manipulación y disposición final de los residuos.

c. No habría un proceso establecido y único de certificación para técnicos del área.

d. No habría una información oficial homogénea para técnicos y/o empresas del rubro, en relación a la gestión de los residuos.

Respecto a las medidas implementadas para reducir los residuos de las SAO, en su gran mayoría han sido de carácter voluntario, sin legislación específica al respecto.

Proposición de un Modelo de Gestión

Es por ello que, siendo el sector de refrigeración y climatización el principal rubro de nuestro país en materia de las SAO, una propuesta de plan de manejo ambiental se debería centrar, según los antecedentes que hemos recopilado, en soluciones específicas a las diversas deficiencias que en este sector surgen a temas que han quedado inconclusos o inactivos a nivel país y por cuanto, deberían reflejarse en una normativa *ad hoc*.

A nuestro criterio, este Plan de Manejo Ambiental para sustancias controladas específicamente como las SAO, buscaría establecer condiciones mínimas a las que deberían someterse los procedimientos de almacenamiento, transporte, tratamiento, reciclaje y disposición final de eliminación de estos residuos.

En materia de fiscalización y control del presente Plan de Manejo para estas sustancias controladas, consideramos que hoy día el Ministerio del Medio Ambiente debería contar con las instancias legales pertinentes, además de contar ya con un Departamento de Ozono para tales fines. Además, se deberían establecer los procedimientos y metodologías a seguir, como también un reglamento para la acreditación de técnicos y/o empresas que presten servicios de refrigeración y climatización.

Por otro lado también deberían crearse incentivos por el cambio de gases refrigerantes ecológicos y a su vez multas por recargas del gas, evaluándolo por porcentaje de recuperación.

Los órganos del Estado que ejerzan funciones relacionadas con los residuos controlados deberían cumplir tales cometidos coordinadamente propendiendo a la unidad de acción y a la colaboración recíproca.

Los residuos controlados deberían identificarse y etiquetarse de acuerdo a una clasificación. Esta obligación debería ser exigible desde que tales residuos se almacenen y hasta que se eliminen.

Durante el manejo de los residuos controlados se deberían tomar todas las precauciones necesarias para prevenir descargas y emanaciones a la atmósfera y protección frente a cualquier fuente de riesgo capaz de provocar tal efecto.

Sólo se podrían mezclar o poner en contacto residuos controlados cuando sean de naturaleza similar o compatible.

Solo profesionales certificados por el MMA, posterior a la realización de cursos de buenas prácticas, podrían ser capaces de manipular este tipo de residuos y participar del plan de manejo.

También, deberían ser considerados residuos todos los residuos que sean descartados, es decir, que se encuentren vencidos, fuera de especificación o se encuentren como remanentes en envases y recipientes.

Programa de Eliminación de Residuos

Así, como parte de este Plan de Gestión Ambiental Integrado, debiera explícitamente desarrollarse un Programa de

Eliminación de Residuos, a ser aprobado por la Autoridad Ambiental, que a nuestro entender, al menos considere los siguientes aspectos:

a. Contenidos mínimos de un Programa de Eliminación de Residuos

A objeto de regular el tema de los residuos, a lo menos se debería considerar lo siguiente:

- Diseño de los lugares de recepción, almacenamiento y su respectivo registro.
- Sistema de recolección y transporte hasta los lugares de recepción, almacenamiento y hasta el sitio de eliminación.
- Identificación de la instalación de eliminación y procedimiento a utilizar para disponer, tratar o reciclar los residuos.
- Identificación del uso que se dará al material de envase recuperado, en caso que el procedimiento contemple el reciclaje.

b. Identificación y clasificación de residuos

La presencia de cloro y/o bromo en la estructura molecular de algún residuo de gas refrigerante obligaría a que fuese calificado como residuo controlado.

Se debe realizar una identificación del residuo y posteriormente una rotulación para su posterior reutilización o eliminación.

Estas sustancias químicas serían consideradas residuos controlados aun cuando sean descartadas, se encuentren vencidas o fuera de especificación o se encuentren como remanentes en envases y recipientes.

c. Generación de residuos

A su vez, establecimientos o actividades que generen residuos de las SAO deberían contar con un Plan de Manejo de Residuos Controlados presentado ante la Autoridad Ambiental.

Las instalaciones, establecimientos o actividades que generen este tipo de residuos deberían ser identificadas por la Autoridad mediante un número identificador para crear un registro.

El Plan debería ser diseñado por un profesional e incluir todos los procedimientos técnicos y administrativos necesarios para lograr que el manejo interno y la eliminación de los residuos se haga con el menor riesgo posible. Toda modificación del Plan debería ser previamente presentada ante la Autoridad Ambiental.

Plan de Manejo de Residuos Controlados

El Plan de Manejo de Residuos Controlados debería privilegiar opciones de sustitución, minimización y reciclaje cuyo objetivo sea reducir la cantidad y/o volumen de residuos que fueran a disposición final.

El Plan de Manejo de Residuos Controlados debería contemplar al menos los siguientes aspectos:

- Descripción de las actividades, flujos de materiales.
- Identificación de puntos generación de residuos.
- Identificación de los residuos y estimación anual de c/u.
- Análisis de alternativas de minimización de residuos y justificación.

- Detalle de procedimientos para recoger, transportar, embalar, etiquetar y almacenar los residuos.
- Definición del perfil del profesional técnico responsable de la ejecución y operación del Plan.
- Definición de los equipos y señalizaciones que deberán emplearse para el manejo de los residuos.
- Capacitación para personas (cursos BP) que manejan residuos.
- Plan de Contingencias.
- Identificación de los procesos de eliminación de los residuos, explicitando el reciclaje.
- Registro de los residuos generados y consignándose cantidad en volumen e identificación residuo:
 - generados diariamente
 - ingresen o egresen del sitio de almacenamiento,
 - reutilizados y/o reciclados,
 - enviados a terceros para su eliminación

El Generador asociado a un Plan de Manejo de Residuos Controlados, que encomiende a terceros el transporte y/o la eliminación de sus residuos sería responsable de:

- i) retirar y transportar los residuos controlados a través de transportistas que cuenten con autorización necesaria,
- ii) realizar la eliminación de sus residuos en Instalaciones de Eliminación que cuenten con la Autorización Medio Ambiental,

iii) proporcionar oportunamente la información correspondiente al Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos.

Los Generadores que no estén obligados a sujetarse a un Plan de Manejo de Residuos Controlados por generar una mínima cantidad de residuos (menos de 60 Kg anuales), deberían en todo caso cumplir con la obligación señalada en la letra b) precedente.

d. Almacenamiento de residuos

Todo sitio destinado al almacenamiento de residuos controlados debería contar con la correspondiente autorización ambiental de instalación.

El diseño, la construcción, ampliación y/o modificación de todo sitio que implique almacenamiento de dos o más residuos controlados, debería contar con un proyecto previamente aprobado por la Autoridad Ambiental. Este proyecto de ingeniería debería ser elaborado por un profesional acreditado.

Todo Generador que se encuentre obligado a sujetarse a un Plan de Manejo de Residuos Controlados debería tener un sitio de almacenamiento para sus residuos. Estos sitios dispondrían de suficiente capacidad para acopiar la totalidad de residuos generados durante el período previo al envío de éstos a una Instalación de Eliminación.

El período de almacenamiento de los residuos controlados no debería exceder de un año. Sin embargo, en casos justificados, se podría solicitar a la Autoridad Ambiental, una extensión de dicho período hasta por un lapso igual, para lo cual se debería presentar un informe técnico.

En caso de inexistencia de una Instalación de Eliminación, imposibilidad de acceso a ella u otros casos calificados, la Autoridad Ambiental debería disponer de bodegas de trans-

ferencia, como almacenamiento provisional para su posterior eliminación.

Los sitios donde se almacenen residuos controlados deberían cumplir las siguientes condiciones:

i) Contar con un cierre perimetral de a lo menos 2,0 metros de altura que impida el libre acceso de personas y animales.

ii) Estar techados y protegidos de condiciones ambientales tales como humedad, temperatura y radiación solar.

iii) Garantizar que no ocurrirán emisiones y en general cualquier otro mecanismo de contaminación del medio ambiente que pueda afectarlo.

iv) Tener acceso restringido, en términos que sólo ingresará personal debidamente autorizado por el responsable de la instalación.

Los contenedores, recipientes o cilindros de residuos controlados deberían cumplir con los siguientes requisitos:

i) tener un espesor adecuado y estar contruidos con materiales que sean resistentes al residuo almacenado y a prueba fugas,

ii) estar diseñados para ser capaces de resistir los esfuerzos producidos durante su manipulación, así como durante la carga y descarga y el traslado de los residuos, garantizando en todo momento que no serán liberados al medio ambiente, es decir, que permitan soportar una presión interior máxima hasta de 500 psi,

iii) estar en todo momento en buenas condiciones, debiéndose reemplazar todos aquellos contenedores que muestren deterioro (oxidación),

iv) estar rotulados indicando, en forma claramente visible, las características del tipo de residuo contenido, el procedencia del residuo y la fecha de su ubicación en el sitio de almacenamiento.

e. Transporte de residuos

Sólo podrían transportar residuos controlados por calles y caminos públicos las personas naturales o jurídicas que hayan sido autorizadas por la Autoridad Ambiental. Al momento de otorgar la autorización, dicha Autoridad asignaría un certificado que acredite su capacitación.

El transportista sería responsable de que la totalidad de la carga de residuos controlados sea entregada en el sitio de destino fijado en el correspondiente formulario del Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Controlados. Además debería estar debidamente capacitado para la operación adecuada del vehículo y para enfrentar posibles emergencias.

No se podría transportar residuos controlados sin que se porte el respectivo Documento de Declaración establecido.

Además, debería incluir un pequeño Plan de Contingencia para abordar posibles accidentes que ocurran durante el proceso de transporte.

El Plan de Contingencia debería contemplar al menos lo siguiente:

- i) Capacitación del personal.
- ii) Identificación de las responsabilidades del personal.
- iii) Sistema de comunicaciones portátil para alertar a las autoridades competentes.

iv) Listado actualizado de los organismos públicos y personas a las que se deberá dar aviso inmediato en el caso de ocurrir una emergencia, debiendo considerar al menos la comunicación con la Autoridad Ambiental.

Cualquier accidente que presente la liberación del residuo al medio ambiente, debería recibir una sanción declarada por la Autoridad Ambiental.

El transportista verificaría que la totalidad de la carga de residuos controlados que se le entrego sea la expresada en el correspondiente formulario del Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos controlados.

f. Instalación para la eliminación de residuos

Toda Instalación de Eliminación debería contar con un proyecto y la respectiva autorización otorgada por la Autoridad Ambiental, en la que se especificaría el residuo que se eliminará y la forma en que dicha eliminación sería llevada a cabo.

El proyecto debería describir todas las operaciones necesarias para el adecuado manejo de tales residuos, incluyendo:

« El diseño de las unidades y equipos necesarios para el manejo de los residuos controlados;

« Cantidades de residuos que la Instalación estaría habilitada para recibir y manejar;

« Determinación los perfiles de profesionales y técnicos;

« Funciones y responsabilidades específicas del personal involucrado en el manejo de los residuos.

Toda Instalación de Eliminación de Residuos Controlados debería contar con un proyecto previamente aprobado por la Autoridad Ambiental. Este proyecto de ingeniería debería ser elaborado por un profesional acreditado.

El proyecto debería incluir al menos las siguientes fases expuestas en la Figura 14.

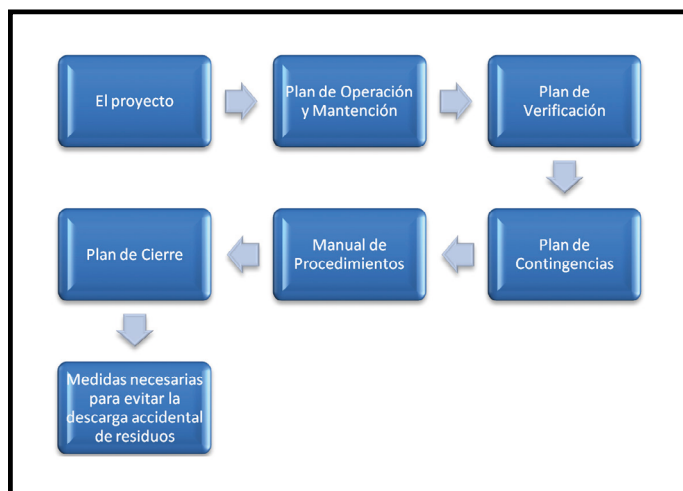


Figura 14. Fases de un Proyecto de Instalación para la Eliminación de Residuos Controlados.

Es decir, el proyecto debería contemplar todas aquellas medidas necesarias para evitar que la descarga accidental de residuos controlados provoque una contaminación atmosférica.

El Plan de Verificación tendría por objeto controlar que todos los elementos, equipos y estructuras que conforman la instalación de eliminación funcionen adecuadamente y detectar cualquier emisión, fuga o descarga que pueda poner en riesgo un debilitamiento mayor de la capa de ozono. El Plan debería contemplar:

- i) La priorización de las verificaciones necesarias.
- ii) El registro de las verificaciones realizadas.

El titular de la Instalación debería realizar inmediatamente las reparaciones que surjan de la aplicación del Plan de Verificación.

El Plan de Contingencias debería contemplar al menos las siguientes medidas:

- i) Listado actualizado de los organismos públicos y personas a los que se debe dar aviso en caso de emergencia. Dicho aviso deberá darse en forma inmediata, a la Autoridad Ambiental respectiva.
- ii) Información actualizada diariamente referente a la cantidad, características y ubicación de los residuos existentes en la Instalación.

El emplazamiento de una Instalación de Eliminación de Residuos Controlados debería cumplir los siguientes requisitos de ubicación:

- i) No debería ubicarse en zonas en que existan fallas geológicas activas, o que estén expuestas a deslizamientos o derrumbes de terrenos o estén afectadas por actividad volcánica.
- ii) No debería ser construida en zonas sometidas a inundaciones que ocurran con períodos de retorno inferiores a 100 años.
- iii) No deberían estar ubicados en sitios expuestos a subsidencias o asentamientos debido a la existencia de minas subterráneas, extracción de agua, petróleo o gas, subsuelos expuestos a disolución, etc.

iv) Debería estar alejado de actividades tales como almacenes de productos inflamables o explosivos u otros que puedan potenciar las consecuencias frente a la ocurrencia de accidentes o emergencias.

v) Debería estar fuera del perímetro de restricción fijado para puertos, aeropuertos, instalaciones de manejo de explosivos, centrales nucleares y de instalaciones militares.

La Instalación debería tener acceso restringido. Sólo podrían ingresar a ésta personas debidamente autorizadas por el responsable de la Instalación. Debería, además, contar con una barrera sólida de al menos 1,80 metros que impida el libre acceso de personas ajenas a ella y de animales.

La operación de toda Instalación de Eliminación de Residuos Controlados debería cumplir con las siguientes exigencias:

i) La recepción de los residuos solo podría hacerse cuando se asegure que los residuos pueden ser manejados en la Instalación.

ii) Mantener un registro de los residuos ingresados, que consigne la cantidad, la fecha de ingreso, la ubicación del sitio de almacenamiento y la fecha e identificación de la operación de eliminación aplicada.

iii) En el caso de que la Instalación rechace un cargamento de residuos controlados, ya sea porque el transportista no porte el Documento de Declaración o porque la información contenida en dicho documento no corresponde con los residuos transportados o por cualquier otra causa, se debería dar aviso inmediato a la Autoridad Ambiental respectiva.

El cierre de una Instalación de Eliminación debería hacerse previo aviso a la Autoridad Ambiental competente conforme al Plan de Cierre.

g. Realización de Operaciones de Reciclaje:

Deberían ser autorizados por la Autoridad Ambiental cuando ello no implique riesgo para el medio ambiente. El Ministerio de Medio Ambiente debería emitir guías técnicas de orientación e información para el manejo de aquellos residuos reciclados y/o reutilizados.

Los establecimientos que reciclen y reutilicen sus residuos, deberían mantener la documentación necesaria que permita verificar a la Autoridad Ambiental la cantidad de los residuos eliminados durante los últimos cinco años.

h. Incineración

Toda Instalación destinada a la incineración de residuos controlados debería contar con un proyecto previamente aprobado por la Autoridad Ambiental.

La operación de todo incinerador debería ajustarse a las condiciones especiales que fijaría la Autoridad Ambiental al momento de otorgar la respectiva autorización de instalación.

En dicha autorización, la Autoridad determinaría las cantidades de residuos controlados que podrían tratarse.

El proyecto debería demostrar:

i) que los quemadores estarían colocados de forma de producir la mayor destrucción posible de los residuos,

ii) que los residuos se incorporarían de manera de obtener el mayor grado de destrucción posible,

iii) y que se cumplirían las normas de emisión vigentes.

La Autoridad Ambiental determinaría para los residuos las condiciones límites de operación bajo las cuales éstos no podrían ser incinerados.

En la incineración de residuos controlados, la temperatura debería elevarse por sobre los 1.100 °C.

Durante la puesta en marcha o la parada, o cuando la temperatura de los gases de combustión descienda por debajo de las temperaturas mínimas señaladas, los quemadores no podrían alimentarse con residuos combustibles que puedan causar emisiones mayores que las producidas por la quema del combustible auxiliar utilizado en la instalación.

Sería obligatorio disponer de un sistema para impedir la incorporación de residuos controlados durante la puesta en marcha del incinerador, cuando no se haya alcanzado las temperaturas mínimas de incineración, cuando en el proceso de incineración no se mantengan tales temperaturas o cuando se sobrepasen los límites de emisión permitidos.

El diseño de una Instalación de Incineración debería contemplar una chimenea y los demás equipos que sean necesarios para asegurar que las emisiones a nivel del suelo no provoquen una contaminación que ponga en riesgo la salud.

En caso de que las mediciones efectuadas indiquen que se ha sobrepasado lo establecido en una norma primaria de emisión, se informaría de inmediato a la Autoridad Ambiental las causas del incumplimiento y las medidas correctivas para superarlas.

i. Sistema de Declaración y Seguimiento de Residuos Controlados

Los receptores de residuos controlados quedarían sujetos a un Sistema de Declaración y Seguimiento de tales residuos, válido para todo el país, que tenga por objeto permitir a la autoridad ambiental disponer de información completa, actual y oportuna sobre la tenencia de tales residuos desde el momento que salen del establecimiento de generación hasta su recepción final en una instalación de eliminación.

Desde que un residuo controlado sale del establecimiento de generación debería estar permanentemente acompañado del Documento de Declaración que corresponde emitir al generador.

Sería responsable del cumplimiento del presente plan de manejo el actual receptor de los residuos sin perjuicio de otras responsabilidades.

A su vez, correspondería al Ministerio de Medio Ambiente establecer, mediante resolución, el diseño, contenido y características del documento de declaración. Para el debido funcionamiento del Sistema de Declaración y Seguimiento los generadores, transportistas y destinatarios deberían tener a lo menos las obligaciones establecidas en la Tabla 9.

Tabla 9

Obligaciones de los generadores, transportistas y destinatarios

Generador	Transportista	Destinatario
Llenar el documento con letra legible consignando todos los datos e informaciones que se le requieren en su calidad de generador.	Verificar que la información del Documento de Declaración guarde conformidad con la entrega.	Completar con letra legible, la información correspondiente al Destinatario.
Debería retener 5 copias por un período mínimo de 2 años.	Debería verificar la información correspondiente al Transportista.	Debería firmar el Documento original y las 3 copias restantes.
Debería remitir a la Autoridad Ambiental una copia.	Firmar el original y las copias que exija el documento.	Debería guardar una copia del Documento y conservarla por un período mínimo de 2 años.
Debería entregar al Transportista, al momento de la carga, el original y las copias necesarias	Debería retener una copia y conservarla por un período mínimo de 2 años.	Debería enviar al Generador la copia 1 dentro de las 24 horas siguientes a la recepción de los residuos.
	Debería entregar al Destinatario el original y las 2 copias restantes.	Remitir el original a la Autoridad Ambiental respectiva, dentro del mismo plazo.

j. Sanciones, Procedimientos, Disposiciones Complementarias y Referenciales

La fiscalización y sanciones del incumplimiento de algún procedimiento del Modelo de Gestión de Residuos corresponderían a la Superintendencia del Medio Ambiente. Las diversas sanciones serían definidas por el Ministerio del Medio Ambiente en conjunto con profesionales capacitados en el área. Las operaciones de eliminación a las que pueden someterse los residuos controlados serían solamente las que se señalan en la Tabla 10.

Tabla 10

Tecnologías de Destrucción de CFC's aprobadas por el Protocolo de Montreal

Hornos de Cemento
Incineración de Inyección líquida
Oxidación de gases/humos
Reactor de craqueo
Incinerador de horno rotatorio
Arco de Plasma de Argón
Plasma acoplado por inducción de radiofrecuencia
Plasma de Microondas/ Nitrógeno
Deshalogenación catalítica en fase gas
Reactor de vapor sobrecalentado

Fuente: Panel de Expertos en Economía y Tecnología del Protocolo de Montreal (TEAP).

Ahora bien, en materia de algunas recomendaciones específicas, al término de este trabajo, dado nuestras limitaciones

tecnológicas a nivel nacional, sugerimos en la eliminación de residuos el poder usar hornos cementeros a partir de un co-procesamiento²⁴, lo que correspondería a un proceso implantado y controlado.

En este caso particular, la disposición de desechos y su aprovechamiento como fuente de energía o materia prima en el proceso de fabricación de clinker (principal materia prima de la que se obtiene el cemento) y cemento, podría ser un aporte energético a considerar.

Las ventajas del co-procesamiento redundan en que, de acuerdo a recomendaciones internacionales:

- Es una tecnología de bajo costo inicial.
- Genera altas temperaturas: una llama estable de aprox. 2.000°C que garantiza el craqueo de las moléculas más peligrosas.
- Altos tiempos de residencia y rápido enfriamiento, que puede variar entre los 7 y los 10 segundos a una temperatura mayor a los 870°C, para luego bajar su temperatura hasta los 100°C en menos de 10 segundos.
- Contacto con materia prima fina y dispersa, que garantiza una alta superficie de intercambio con los gases y los limpia. Con ausencia de lixiviados y subproductos dado que la fracción inorgánica no volátil de cualquier desecho se fija a la estructura molecular del clinker producido, evitando su liberación al ambiente.
- Emisiones controladas en donde las emisiones ácidas son neutralizadas por el ambiente alcalino del sistema. Las altas temperaturas y largos tiempos de residencia, junto con el rápido enfriamiento evitarían la formación de subproductos.

- Los sistemas de desempolvado garantizan que el material particulado regresa al proceso de fabricación de clinker continuamente.

- Finalmente se podría agregar que resulta ser independiente del flujo de material.

A su vez, y de acuerdo a la experiencia internacional se podrían extraer diferentes beneficios tanto para el medio ambiente como para la empresa y la sociedad, los que podemos estratificar de acuerdo a:

Para el Medio Ambiente se produce una:

- Menor generación de CO₂ global con Menor potencial de calentamiento global del CO₂ respecto a muchos desechos y menor consumo de combustible tradicional.
- Reducción de la huella ecológica, al disponer apropiadamente varios tipos de desechos y disminuir el consumo de energía.

Para la Empresa se produce una:

- Reducción de costos por servicio, basado en el principio del que contamina paga (ley 19600).
- Reducción de costos por menor consumo térmico.
- Ingresos por el mercado voluntario de carbono.
- Mejor imagen ambiental y responsabilidad social corporativa.
- Desarrollo de capacidad para procesamiento de gases o líquidos distintos a CFC.

- Posibilidad de acceso a incentivos fiscales, dependiendo de cada país.

Para la Sociedad se produce un:

- Aumento de la disponibilidad de tecnologías ambientales adecuadas para el tratamiento de desechos.
- Mejoramiento en la calidad ambiental, con disminución de los espacios destinados a disposición de desechos y del volumen de desechos que se disponen de manera no adecuada.
- Generación de fuentes de empleo tecnificado para el transporte y manejo de desechos controlados.
- Creación de asociaciones entre la industria que ofrece el servicio, el parque industrial y doméstico que lo demanda, las autoridades ambientales que lo regulan y los centros de investigación que lo estudian.
- Mejor imagen ambiental nacional e internacional.

VII. Palabras Finales

En su totalidad el reto ambiental es mucho más complejo que las simples nociones de prevención de la contaminación o la minimización de los residuos, como se da a conocer con la presente situación. En una sociedad en la que la mayoría no tiene el conocimiento o el juicio necesario para dimensionar la importancia del cambio ambiental, y mucho menos el bien común, el futuro del medio ambiente podría ser más problemático de lo que la modernización nos enseña.

El modelo de gestión propuesto no sólo nos permite cumplir con los compromisos internacionales en su correspondiente dimensión, sino que además, nos permite definir mecanismos de participación y de toma de conciencia frente a las reales consecuencias que tienen para nuestra sociedad el impacto negativo de nuestras actividades productivas, en un interés común tan peculiar como la fragilidad planetaria a través de la destrucción de la capa de ozono.

No obstante el alcance que hemos logrado en esta propuesta ensayística, en el intertanto el país ha seguido avanzando en algunas líneas conductoras que son congruentes con nuestras propuestas, a partir de la Ley 20.096, siendo necesario establecer todo un marco coherente entre buenas prácticas, marcos normativos y formación de recursos humanos.

Al finalizar, y a modo de información a nuestros lectores, quisieramos exponerles que para complementar y mejorar el modelo que inicialmente nos dimos y que en su forma final hemos presentado en este texto, desarrollamos un análisis grupal sobre la base del Método Delphis. Para ello tuvimos la ocasión de contar con el apoyo irrestricto de un significativo grupo de profesionales a nivel nacional que están asociados al uso de CFC's o sus correspondientes sustancias alternati-

vas, junto a un grupo de destacados científicos expertos asociados al tema de ozono troposférico y estratosférico. A todos ellos estamos agradecidos de sus generosas contribuciones.

Sólo esperamos que este conjunto de propuestas grandemente basadas en diferentes experiencias nacionales e internacionales de modelos de gestión ambiental, puedan ser de utilidad para nuestro medio productivo nacional, el Gobierno y de beneficio para toda nuestra sociedad nacional e internacional.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1.- Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer, 2002, OMM (Organización Mundial de Meteorología) y PNUMA.

Ubicado en el sitio web: <http://esrl.noaa.gov/csd/assessments/ozone/2002/qandas.pdf>

2.- Introducción to Atmospheric Chemistry, 1999, Daniel J. Jacob, Princeton University Press.

3.- Gaia as seen through the atmosphere, 1972, J.E. Lovelock, Atmospheric Environment, 6, 579.

4.- Los resultados de las experiencias en laboratorio de F.S. Rowland y Mario J. Molina se presentaron en la revista *Nature*, No. 5460; pp 810-812; de junio de 1974, con el título: "Stratospheric sink for chlorofluoromethanes; chlorine atom-catalyzed destruction of ozone"

5.- EPA, United States Environmental Protection Agency, ozone, science <http://www.epa.gov/ozone/science/process.html>

6.- United Nations Environment Programme, ozone secretary, Protocol Montreal

http://ozone.unep.org/new_site/en/index.php

7.- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Historia de la Ley 20.096, Establece mecanismos de control aplicables a las sustancias agotadoras de la capa de ozono

<http://www.bcn.cl/histley/lfs/hdl-20096/HL20096.pdf>

8.- Twenty Questions and Answers About the Ozone Layer, 2002, OMM (Organización Mundial de Meteorología) y PNUMA.

9.- Atmospheric Chemistry and Physics, From air pollution to climate change, John H. Seinfeld, Spyros N. Pandis, pag. 142

10.- Atmospheric Chemistry and Physics, From air pollution to climate change, John H. Seinfeld, Spyros N. Pandis, pag. 162

11.- Chemistry of the Environment, 1996, Thomas G. Spiro, William M. Stigliani, pag 154

12.- Introducción to Atmospheric Chemistry, 1999, Daniel J. Jacob, Princeton University Press, pag 187

13.- Earth Observatory, NASA, Ultraviolet Radiation, how it affects life on earth.

http://earthobservatory.nasa.gov/Features/UVB/uvb_radiation2.php

14.- EPA, United States Environmental Protection Agency, Los efectos sobre la exposición al sol

<http://www.epa.gov/sunwise/uvandhealth.html>

15.- Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, propiedades de los fluorocarburos, guía de productos químicos http://www.mtin.es/es/publica/pub_electronicas/destacadas/enciclo/general/contenido/tomo4/104-06.pdf

16.- United Nations Environment Programme, UNEP, Ozone secretariat

http://ozone.unep.org/spanish/Ratification_status/evolution_of_mp.shtml

17.- United Nations Environment Programme, UNEP, Ozone secretariat

<http://ozone.unep.org/spanish/Publications/MP-Handbook-07-es.pdf>

18.- CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment

http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1068_e.pdf

19.- European Commission Climate Action, Políticas, ozono

<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/07/1334&-type=HTML>

http://ec.europa.eu/clima/publications/docs/montreal_prot_en.pdf

20.- Sistema de Información y Seguimiento de Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SISSAO) de México.

<http://sissao.semarnat.gob.mx/sissao/archivos/logros.pdf>

http://sissao.semarnat.gob.mx/sissao/archivos/implementacion_protocolo.pdf

SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales,

<http://www.semarnat.gob.mx/temas/internacional/Paginas/Protocolode-Montreal.aspx>

Centro de Información de las Naciones Unidas para México, Cuba y República Dominicana

<http://www.cinu.org.mx/multi/comun99/9967.htm>

21.- Comisión Técnica Gubernamental de Ozono, Dirección Nacional de

Medio Ambiente,

<http://www.ozono.gub.uy/>

Programa Nacional para la Reducción Gradual del uso de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono.

http://www.ozono.gub.uy/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=34&Itemid=28

http://www.ozono.gub.uy/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=43&Itemid=44

Primer Manual Nacional de Buenas Prácticas en Refrigeración

22.- UNEP, United Nations Environment Programme

<http://ozone.unep.org/spanish/Publications/MP-Handbook-07-es.pdf>

CONAMA, Seminario Ciudadanía Ambiental en Chile desde la perspectiva Municipal y Parlamentaria, Claudia Paratori, Depto. Control de la Contaminación

<http://www.docstoc.com/docs/49338880/CHILE-frente-al-Protocolo-de-Montreal>

<http://www.pnud.cl/odm/primer-informe/odm-estadisticas/odm7.asp>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

<http://www.bcn.cl/histley/lfs/hdl-20096/HL20096.pdf>

23.- “Servicing Sector Terminal Plan CFC Phase Out Plan for Chile”, en español el “Plan Terminal de Eliminación de CFCs en el Sector de Servicios en Chile” (NPOP), 2008, Gobierno de Chile, CONAMA.

24.- Co-procesamiento de SAO en hornos de cemento.

<http://ozono.seam.gov.py/attachments/article/44/Coprocesamiento%20de%20SAO%20en%20hornos%20de%20cemento.pdf>

Otras referencias empleadas:

Memoria de Título: “Manejo ambiental de clorofluorocarbonos y compromisos nacionales en la protección de la capa de ozono”, de Denis Clavijo Contador, Universidad de Chile, 2012.

Contaminación Atmosférica D.J Spedding, capítulo de gases contaminantes menores, pag 31, 69

Evolución Temporal y Espacial de la Columna de Ozono sobre Chile con-

tinental y Antártico entre los años 1980 y 2010, María Consuelo Araya C., Francisco Muñoz, Ana María Alvarado (1); Luis Morales S., Raúl G. E. Morales S.; Manuel A. Leiva G.

Manual Buenas Prácticas en Sistemas de Refrigeración y Aire Acondicionado, 2006, SEMARNAT y ONUDI

<http://scipp.ucsc.edu/outreach/balloon/atmos/1976%20Standard%20Atmosphere.htm>

<http://www.unep.fr/ozonaction/information/mmcfiles/2174-s.pdf>

http://www.bclaws.ca/EPLibraries/bclaws_new/document/ID/freeside/36_387_99

<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/849/84911640016.pdf>

http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/sroc/sroc_spmts_sp.pdf

<http://www.env.go.jp/en/earth/ozone/gl199903.pdf>

<http://www.gestion-ambiental.com/norma/ley/300R2037.pdf>

Scientific Assessment of Ozone Depletion, 2002, UNEP, OMM <http://www.esrl.noaa.gov/csd/assessments/ozone/2002/>

http://www.macsw.org/AM/Template.cfm?Section=Section_609&Template=/CM/ContentDisplay.cfm&ContentID=5355

<http://ozone.unep.org/pdfs/ozone-action-sp.pdf>

<http://www.sinia.cl/1292/fo-article-37760.pdf>

<http://www.sinia.cl/1292/w3-article-46781.html>

<http://www.conama.cl/retc/1279/propertyvalue-15095.html>

<http://www.induambiente.com/ltimas-noticias/ministra-uriarte-alert-sobre-debilitamiento-de-la-capa-de-ozono.html>

<http://www.frioycalor.cl/Ley%20de%20Ozono.html>

<http://www.mma.gob.cl/1257/w3-article-50073.html>

http://www.bcn.cl/leyes_temas/leyes_por_tema.2007-09-03.4461676700

<http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=226458>

Raúl Morales Segura



*es Doctor en Ciencias con mención en Química de la Universidad de Chile (1981).
Obtiene la primera Beca del PNUD-Química-Chile en 1985 y realiza una estadía postdoctoral en Princeton University, U.S.A., donde comienza sus primeras aproximaciones al campo ambiental. Actualmente es Profesor Titular de la Universidad de Chile y es el Director del Centro de Ciencias Ambientales desde el año 2010.
Ha sido Fundador de la Carrera de Química Ambiental de la Universidad de Chile (1995) que a la fecha se han formado más de docientos profesionales.
Fundó también la Sociedad de Química Ambiental de Chile (1997), siendo su presidente en tres períodos; y la primera Red Latinoamericana de Ciencias Ambientales.
Entre otros cargos, ha sido Director del Centro Nacional del Medio Ambiente, Director del Departamento de Química y Decano de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.
Ha publicado más de setenta artículos científicos, además de otros artículos en educación y políticas universitarias, con más de un centenar de trabajos científicos y diversas conferencias presentadas en Congresos Nacionales, Internacionales y como Profesor Visitante en Chile, Latinoamérica y Europa. Ha publicado artículos de prensa en los principales diarios de circulación nacional y regional del país, ha escrito ensayos, monografías y libros en el área Ambiental, como "Contaminación Atmosférica Urbana. Episodios Críticos de Contaminación Ambiental de la ciudad de Santiago", Editorial Universitaria (2006). De igual modo su libro "Horizontes de la Crisis Universitaria Chilena" publicado el año 2008, ha sido un referente en el estudio de las tendencias de la educación chilena.
Recibió de la Sociedad de Química Ambiental de Chile la máxima distinción: Premio a la Trayectoria Nacional en Ciencias Ambientales (2009) y por su destacada trayectoria la Ilustre Municipalidad de San Antonio le otorgó la distinción de Hijo Ilustre en el año 2010.*

