



# MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



## COSTOS Y BENEFICIOS AMBIENTALES DEL PLAN NACIONAL DE ELIMINACIÓN DE HIDROCLOROFLUOROCARBONOS

Como se ha mencionado a lo largo del análisis de impacto regulatorio, la emisión la regulación que se propone, deriva de las obligaciones de nuestro país en el marco del Protocolo de Montreal. En esta línea, México cuenta con un Plan Nacional de Eliminación, Etapas I y II, aprobado y financiado por el Fondo Multilateral para la aplicación del Protocolo de Montreal.

### Etapa I del Plan Nacional de Eliminación de HCFC

En la Sexagésima cuarta Reunión del Comité Ejecutivo del Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal, celebrada en Montreal, Canadá, del 25 al 29 de julio de 2011, se aprobó a nuestro país la Etapa I del Plan Nacional de Eliminación de los Hidroclorofluorocarbonos y se le asignaron fondos por un monto de 18,066,211 dólares para realizar dicho plan en los años de 2011 a 2018. Nuestro país se comprometió a reducir 417.3 toneladas PAO (Potencial de agotamiento de ozono) de su consumo de hidroclorofluorocarbonos (HCFC). Las actividades y reducciones de la Etapa I se resumen en la siguiente tabla:

Proyecto	Reducción del Consumo de HCFC (Ton. PAO)
Eliminación de los HCFC en la fabricación de espumas aislantes en Mabe	55.9
Eliminación de HCFC-22 y HCFC -141b en la fabricación de aerosoles.	11
Eliminación del HCFC-141b en tres empresas de refrigeración comercial	23
Eliminación de HCFC-141b en casas de sistemas y sus consumidores.	300
Eliminación del HCFC-141b en el servicio y mantenimiento de equipos de refrigeración	27.4

Capacitación al personal de aduanas	0
Supervisión/verificación de la producción de los HCFC	0
Establecimiento de medidas normativas y regulatorias y difusión	0
Coordinación y supervisión del proyecto	0
<b>Total de Eliminación de HCFC en la Etapa I</b>	<b>417.3</b>

Sobre los beneficios ambientales en el punto 48 del documento **UNEP/OzL.Pro/ExCom/64/39**, del 17 de junio de 2011, se indica que con la ejecución de la etapa I del plan de eliminación de HCFC en nuestro país, **se evitará la emisión a la atmósfera de 2,500,999 toneladas/año de CO<sub>2</sub>-equivalente por año**, asociado a la conversión de los fabricantes de espumas que utilizan el **HCFC-141b**, según lo indica el **Cuadro 1**. Las actividades de asistencia técnica propuestas para el sector de servicios, que incluyen introducir un mejor confinamiento de refrigerantes y del control de fugas, y la aplicación de controles de importación de los HCFC, reducirán la cantidad del **HCFC-22** usado para el servicio y mantenimiento de equipos de refrigeración. **Cada kilogramo (kg) de HCFC-22 no emitido debido a mejores prácticas de servicio de refrigeración ahorra 1,8 tonelada de CO<sub>2</sub>-equivalente aproximadamente.**

**Cuadro 1.** Impacto en el clima

<b>Sustancia</b>	<b>Potencial de efecto invernadero</b>	<b>Toneladas/año</b>	<b>CO<sub>2</sub>-e (toneladas/año)</b>
<b>Antes de la conversión</b>			
HCFC-141b	725	3 497,7	2 535 978
Total			
<b>Después de la conversión</b>			
Formiato de metilo/ciclopentano	20	1 749,0	34 979
<b>Impacto neto</b>			<b>2 500 999</b>

Con la implementación de la etapa I ademas de eliminar 417.3 toneladas PAO (potencial de agotamiento del ozono),se tendrá un impacto importante en el clima al evitar la emisión a la atmósfera de 2,500,999 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq por año.

## **Etapa II del Plan Nacional de Eliminación de HCFC**

En la septuagésima tercera reunión del Comité Ejecutivo del Fondo Multilateral para la aplicación del Protocolo de Montreal, celebrada en París, Francia, del 9 al 13 de noviembre de 2013, se aprobó a nuestro país la Etapa II del Plan Nacional de Eliminación de los Hidroclorofluorocarbonos y se le asignaron fondos por un monto de 11,087,772 dólares para realizar dicho plan en los años de 2014 a 2022. Nuestro país se comprometió a reducir 436.5 toneladas PAO (Potencial de agotamiento de ozono) de su consumo de hidroclorofluorocarbonos (HCFC). Las actividades y reducciones de la Etapa II se resumen en la siguiente tabla:

<b>Proyecto</b>	<b>Reducción del Consumo de HCFC (Ton. PAO)</b>
Conversión de compañías del sector aerosoles para eliminar el consumo de HCFC-22 y HCFC-141b	63.37
Asistencia para introducir alternativas HC	7.98
Eliminación de agentes de limpieza en el sector de servicio y mantenimiento de equipos de refrigeración	32.23
Programa de capacitación de técnicos	55.01
Fortalecimiento de la red de recuperación, reciclaje y reclamación de gases refrigerantes.	3.44
Establecimiento de medidas normativas y regulatorias y difusión	2.42
Supervisión y auditoria de la producción de HCFC	0
Supervisión y coordinación del plan de gestión para la eliminación de los HCFC	0
Apoyo técnico a la conversión de empresas no sujetas de financiamiento para eliminar el consumo de HCFC	272.10
<b>Total ETAPA II</b>	<b>436.55</b>

Sobre los beneficios ambientales en el documento **UNEP/OzL.Pro/ExCom/73/43**, del 14 de octubre de 2014, en sus puntos 64 y 65 indica los beneficios en el clima.

En el numeral 64, se señala que la ejecución de la conversión de ocho empresas productoras de aerosoles **evitaría la emisión a la atmósfera unas 589.2 mil toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente por año**, como se recoge en el **Cuadro 2**.

**Cuadro 2.** Repercusión en el clima de los proyectos de conversión de los aerosoles

Empresa	Impacto anual en el calentamiento o antes de la conversión (t-CO <sub>2</sub> E)		Impacto anual en el calentamiento tras la conversión a tecnología alternativa (t-CO <sub>2</sub> E)					Impacto en el clima de la conversión (t-CO <sub>2</sub> E)
	HCFC-22	HCFC-141b	Percloroetileno	HFC-134a	HFC-152a	HC	HFC-245fa	
<b>PCA</b>	1 810	725		1 430	124	20	1 030	
Aerosoles Internacionales	64 798	9 248		13 028,73	3 761,29			-57 256
Alben International	18 589				1 273,48			-17 315
Dimmex	109 223				7 482,66			-101 740
Envatec	126 819	10 150		14 300,00	7 944,18			-114 725
Quimica Jerez	54 119	15 950		22 471,02	2 538,40			-45 060
Quimica Marcat	164 348	57 529		35 290,97	7 042,21	45 4		-179 089
Tecnosol	123 623	35 706		50 305,97	5 851,93			-103 171
Quimobasicos	33 938	149 785					212 798	29 076
<b>TOTAL</b>	<b>973 824</b>		<b>384 543</b>					<b>-589 281</b>

El numeral 65, señala que, además, la ejecución del programa de asistencia técnica para eliminar el consumo de HCFC-141b y HCFC-22 como agentes de limpieza eliminará 278 toneladas métricas de HCFC-141b y 30 toneladas métricas de HCFC-22 que se emiten anualmente como consecuencia de las labores de servicio y mantenimiento. Esto representa una reducción anual de las emisiones a la atmósfera de unas 255 850 toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente.

En consecuencia, con la implementación de la etapa II, del Plan Nacional de eliminación de HCFC, además de eliminar 436.5 toneladas PAO (potencial de

agotamiento del ozono), se tendrá un **impacto importante en el clima al evitar la emisión a la atmósfera de 845,131 toneladas de CO2-eq por año.**

Por lo anterior expuesto, se concluye que la implementación de la Etapa I y II del Plan Nacional de Eliminación de HCFC de nuestro país tiene un costo de 29.15 millones de dólares (USD), costo que es financiado en su totalidad por el Fondo Multilateral para la aplicación del Protocolo de Montreal; por lo que el costo de la regulación que se propone para los particulares es cero (0). Asimismo, los beneficios ambientales son:

**Eliminación de 854 toneladas PAO de hidroclorofluorocarbonos, con lo que se contribuye a los esfuerzos a nivel mundial para eliminar las sustancias agotadoras de la capa de ozono y recuperar para el año 2060 nuestra capa de ozono.**

**Se dejarán de emitir 3.346 millones de toneladas de CO2-equivalentes por año, lo que tiene un impacto positivo en las acciones para mitigar el cambio climático.**

#### **BENEFICIOS PARA LA SALUD DERIVADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOCOLO DE MONTREAL<sup>1</sup>**

Para efectos de la evaluación del impacto regulatorio del Acuerdo que se somete a consideración se pondera necesario señalar que la protección de la capa de ozono está directamente relacionada con la protección de la salud humana.

**La salud humana es afectada principalmente por al aumento en la radiación UV que llega a la superficie terrestre como consecuencia del agotamiento de la capa de ozono.**

Con el objeto de explicar los beneficios para la salud que tiene la implementación del Protocolo de Montreal, a nivel mundial y en nuestro país, es necesario señalar que el futuro en el que viviremos no era el único posible cuando se constató por primera vez el agotamiento de la capa de ozono. Los mismos modelos atmosféricos y climáticos que nos permiten predecir el futuro de la capa de ozono desde su situación actual, también nos permiten vaticinar lo que habría sucedido con el ozono de no haber sido por el Protocolo de Montreal: **el “mundo que evitamos”**.

La desintegración del ozono global habría tenido severos efectos sobre la radiación ultravioleta. La Organización Mundial de la Salud define un índice UV mayor a 10 como “de riesgo extremo para la salud si hay exposición desprotegida al sol”. Señalando que, sin el Protocolo de Montreal, sería habitual registrar índices UV por encima de 25 – que actualmente consideramos un absoluto extremo - en casi todas las regiones habitadas del planeta

---

<sup>1</sup> Síntesis del documento denominado “El Protocolo de Montreal y la Salud Humana, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2015, disponible en:

[http://apps2.semarnat.gob.mx:8080/sissao/archivos/1620221\\_S\\_pdf\\_web.pdf](http://apps2.semarnat.gob.mx:8080/sissao/archivos/1620221_S_pdf_web.pdf)

Es probable que, a lo largo de su evolución, el ser humano no haya experimentado nunca los niveles extremos del UV a los que se habría llegado de no ser por el Protocolo de Montreal. Cada vez está más claro que los efectos de esos índices extremos de UV en el “mundo evitado” se habrían reflejado en los cánceres de piel y otros aspectos de la salud.

Por lo que a continuación se desarrollan brevemente la relación entre el agotamiento de la capa de ozono, la radiación UV y los cánceres de piel, las enfermedades oculares, el sistema inmunológico, la vitamina D y otros efectos potenciales del agotamiento sobre la salud humana, así como una conclusión sobre el valor económico de los beneficios para la salud que la implementación del Protocolo de Montreal representa.

#### ➤ **Los cánceres de piel y la radiación UV.**

El cáncer de piel no es una enfermedad única, pero en la mayoría de los casos corresponde a uno de los siguientes tipos de cáncer: carcinoma basocelular, carcinoma de células escamosas (ambos conocidos también como cánceres de piel distintos al melanoma) y melanoma maligno. Cada año se registran en el mundo entre dos y tres millones de casos nuevos de cáncer de piel, es decir, estos representan alrededor de un tercio de todos los nuevos casos de cáncer.

La relación entre la radiación ultravioleta y el desarrollo de melanomas malignos y otros cánceres de piel ha sido claramente establecida a partir de varias líneas de evidencia, como:

- El riesgo de desarrollar melanoma maligno y otros cánceres de piel en las poblaciones de piel clara es mayor en las latitudes bajas, precisamente donde la radiación solar ultravioleta es más intensa.
- Algunas formas de cánceres de piel diferentes al melanoma aparecen con mayor frecuencia en la cara, el cuello y los antebrazos, es decir, aquellas partes del cuerpo que con más frecuencia están expuestas al sol a lo largo de la vida.
- Entre los jóvenes, el melanoma maligno se presenta habitualmente en las extremidades y el torso, y de hecho, en términos generales, durante las últimas décadas los melanomas malignos en las poblaciones de piel clara aparecen con más frecuencia en el torso.

Estas observaciones indican que la exposición intermitente a una intensa radiación UV es un importante factor de riesgo en el desarrollo de melanomas malignos; también parece evidente que este tipo de exposición al sol esté asociada a la aparición de algunos cánceres de piel diferentes al melanoma.

Un modelo del Instituto Nacional de los Países Bajos para la Salud Pública y el Medio Ambiente<sup>2</sup>, indica que hacia el 2030, el Protocolo de Montreal habrá evitado aproximadamente dos millones de cánceres de piel por año en todo el mundo. Este modelo no va más allá de 2030, pero si en una estimación muy conservadora suponemos que los efectos sobre el cáncer de piel durante el resto del siglo no van a ser peores que los previstos para 2030, obtendremos un total aproximado de 150 millones de cánceres de piel evitados antes de 2100.

Los modelos elaborados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) también proporcionan información sobre los beneficios para la salud que el Protocolo de Montreal representa a largo plazo, en términos de cánceres de piel en el “mundo evitado”. El informe de la EPA publicado en 2015<sup>3</sup> estima que el Protocolo de Montreal y sus enmiendas evitarán entre 275 y 330 millones de casos de cáncer de piel diferentes al melanoma solo en los Estados Unidos y entre 8 y 10 millones de casos de melanoma maligno.

Ninguno de estos modelos pretende hacer predicciones cuantitativas exactas sobre la incidencia futura del cáncer de piel. Todos tienen en cuenta las limitaciones que tienen los métodos utilizados y admiten las incertidumbres asociadas a las predicciones propuestas. Sin embargo, todos coinciden en un cálculo aproximado según el cual hacia el 2100 el Protocolo de Montreal habrá evitado al menos 100 millones de casos de cáncer de piel, probablemente muchos más.

#### ➤ **Enfermedades oculares.**

la exposición a una radiación UV intensa puede perjudicar las capas superficiales del ojo (córnea). El principal efecto a largo plazo de la radiación UV sobre los ojos probablemente sea el riesgo aumentado a desarrollar cataratas. Según cifras de la OMS, las cataratas causan el 51% de las cegueras del mundo; unos 16 millones de personas desarrollan cataratas cada año, con graves perjuicios para la vista.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha publicado investigaciones en las que se estima el punto hasta el cual la incidencia de cataratas habría variado si el Protocolo de Montreal no se hubiera implementado con éxito. En el informe publicado en 2015<sup>4</sup> se concluye que hacia 2100, sin un control eficaz del agotamiento de la capa de ozono, se habrían presentado entre 45 y 50 millones de casos nuevos de cataratas, solamente en los Estados Unidos.

---

<sup>2</sup> van Dijk, A. y otros, 2013 Skin Cancer Risks Avoided by the Montreal Protocol Worldwide Modeling Integrating Coupled ClimateChemistry Models with a Risk Model for UV. Photochemistry and Photobiology, 89, ágs..234 a 246.

<sup>3</sup> Updating ozone calculations and emissions profiles for use in the atmospheric and health effects framework model. USA Environmental Protection Agency, Washington, 2015

<sup>4</sup> Ibídem.

Aún no se ha publicado ningún modelo de “mundo evitado” sobre las cataratas, pero con base en las pruebas disponibles, resulta razonable imaginar que hacia el 2100, el Protocolo de Montreal probablemente haya evitado decenas de millones de casos de cataratas en todo el mundo.

#### ➤ **Sistema inmunológico**

Durante las últimas décadas ha quedado claro que la radiación UV puede afectar el sistema inmunológico humano, y que sus efectos son complejos. Los rayos UVB y UVA ejercen efectos independientes sobre la función inmunológica, pudiendo ocurrir interacciones entre ellos. Los diferentes componentes del sistema inmunitario también responden de maneras diferentes.

Al igual que sucede con otros efectos sobre la salud, el éxito del Protocolo de Montreal para frenar el agotamiento de la capa de ozono hace poco probable que los pequeños cambios en la radiación UV producidos desde la década de 1970, así como aquellos los previstos para el siglo XXI, tengan efectos medibles sobre la función inmunitaria de los seres humanos. Sin embargo, la respuesta del sistema inmunitario a una radiación UV que varía según el lugar en que se vive o según el comportamiento personal con respecto al Sol, siguen siendo relevantes para entender una serie de enfermedades.

#### ➤ **La vitamina D**

El principal impulsor para la síntesis de vitamina D es el componente UVB de la luz solar.

Cabe esperar que, en las próximas décadas, a medida que la capa de ozono se regenera, la reducción en la radiación UV sea demasiado pequeña para afectar en forma significativa el tiempo necesario para que se presente una quemadura solar o para sintetizar una cantidad adecuada de vitamina D. Por ejemplo, un modelo reciente<sup>5</sup> que considera estos dos aspectos de la radiación UV, señala que el tiempo necesario para que una persona de tez clara sufra quemaduras leves en la piel o produzca vitamina D, aumentará en apenas unos minutos entre ahora y el año 2100. El tiempo necesario para que la piel produzca una cantidad suficiente de vitamina D sigue siendo menor que el que se requiere para sufrir quemaduras por el sol.

#### ➤ **Otros efectos potenciales del agotamiento del ozono sobre la salud humana.**

Con referencia específica a la radiación UV, es claro que los efectos de su aumento en

---

5 Correa, M.d.P. y otros, 2013: Projected changes in clearsky erythemal and vitamin D effective UV doses for ágs.o ver the period 2006 to 2100. Photochemical & Photobiological Sciences. 12: ágs.. 1053 a 1064

el “mundo que evitamos” no se habrían limitado a los seres humanos. El agotamiento incontrolado del ozono habría tenido efectos sobre otros organismos y ecosistemas además de muchos procesos ambientales, con graves repercusiones sobre la salud humana.

Nuestra comprensión de los efectos indirectos del agotamiento del ozono sobre la calidad del aire y el agua y la producción de alimentos muestra que no habría grandes desfases temporales entre los cambios en la capa de ozono y la aparición de sus consecuencias.

Estos cambios “indirectos” habrían afectado a todos los habitantes del planeta. Todos necesitamos una alimentación adecuada y nutritiva, y todos necesitamos agua potable y aire limpio.

Por ejemplo, un análisis pionero sobre la respuesta de los cultivos a nivel de campo, considera cualquier pérdida de ozono superior al 20% como “un alto nivel de agotamiento del ozono”<sup>6</sup>, lo cual puede ser un buen indicador en un mundo con un Protocolo de Montreal parcialmente exitoso, pero resulta ser un cálculo conservador si lo comparamos con las predicciones de agotamiento del ozono en el “mundo evitado”, donde hablamos de pérdidas de ozono cercanas al 80%. El mismo análisis destaca que un “mayor” agotamiento de ozono (casi siempre 20 - 30%) reduce la biomasa vegetal en un promedio cercano al 16%. Esta cifra incluye la mayoría de los principales cultivos alimentarios y da una idea de la posible dimensión del impacto de un agotamiento incontrolado del ozono sobre la producción agrícola.

Es evidente que algunas especies comerciales de peces pueden sufrir daños a causa de la radiación UV, bien como adultos o durante su fase de desarrollo<sup>7</sup>. La radiación UV también puede afectar al plancton que constituye la base de las cadenas alimentarias marinas, lo que en última instancia impactaría la productividad de la actividad pesquera. Sin embargo, los retos que se enfrentan al realizar experimentos sobre radiación UV en sistemas acuáticos, especialmente marinos, hacen difícil estimar la dimensión de los efectos que el agotamiento incontrolado del ozono podría tener sobre la actividad pesquera.

En resumen, aún no podemos cuantificar los efectos indirectos del agotamiento de la capa de ozono sobre la salud humana, pero sí podemos afirmar que el agotamiento incontrolado del ozono habría contribuido a la inseguridad alimentaria mundial, con todos los efectos para la salud humana que esto conlleva.

---

<sup>6</sup> Correa, M.d.P. y otros, 2013: Projected changes in clearsky erythermal and vitamin D effective UV doses for ágs.o ver the period 2006 to 2100. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 12: ágs.. 1053 a 1064.

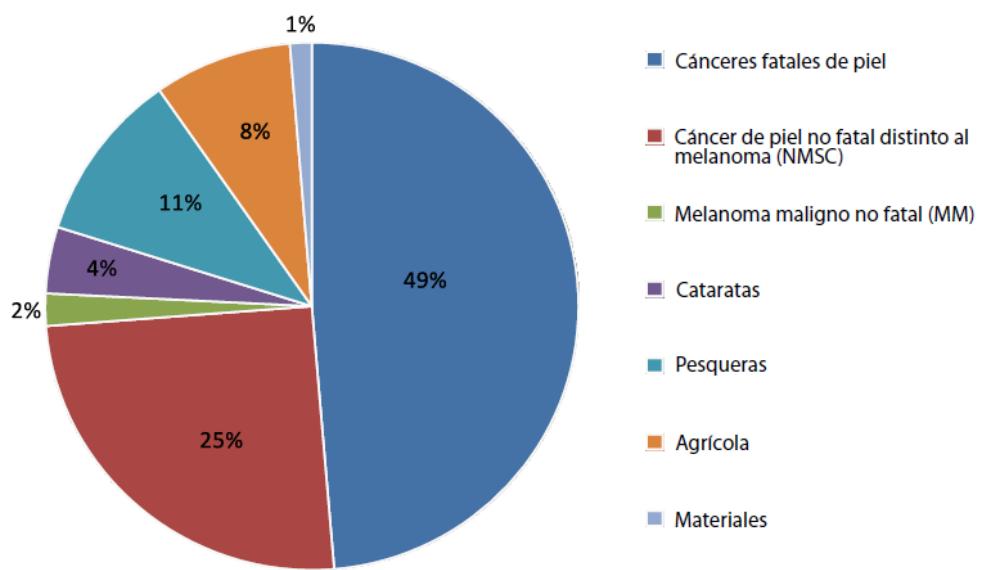
<sup>7</sup> Häder, D.P. y otros, 2015: Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with other environmental factors. ágs.. 121 a 147. In *Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 Assessment*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.

➤ **Valor económico de los beneficios para la salud que el Protocolo de Montreal representa.**

Se han efectuado distintos estimativos sobre el valor financiero del Protocolo de Montreal; la más reciente de ellas<sup>8</sup> sugiere que **los beneficios para la salud representan alrededor del 80% del total de los beneficios económicos del Protocolo de Montreal, calculados en USD 1,8 billones en 2060** (Figura 1). Parte de estos beneficios se derivan de los costos ahorrados al no tener que brindar la atención médica asociada a un creciente número de casos no letales de cáncer de piel y cataratas, que cabría esperar en el “mundo evitado”. El número de vidas salvadas al evitar este gran aumento de los cánceres de piel, especialmente melanomas malignos, representa un beneficio económico mucho mayor, alrededor del 50% de los beneficios económicos totales del Protocolo de Montreal.

Cabe señalar que debido al lapso de tiempo que transcurre entre la exposición a la radiación UV y la aparición del cáncer de piel, estas estimaciones financieras no incluyen los efectos del colapso de la capa de ozono que se pronostican para mediados del siglo XXI en los modelos del “mundo evitado”. En el “mundo evitado”, el colapso del ozono hacia 2050 habría provocado un enorme aumento de radiación UV durante la segunda mitad del siglo. Aún no han sido cuantificados los efectos sobre la salud mundial, sin embargo, parece probable que los beneficios económicos del Protocolo de Montreal que se alcancen a finales de siglo sean muy superiores a las ganancias financieras calculadas hasta 2060.

**Figura 1.**



<sup>8</sup> Markandya, A. y N. Dale, 2012: The Montreal Protocol and the Green Economy. Assessing the contributions and cobenefits of a Multilateral Environmental Agreement. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.