

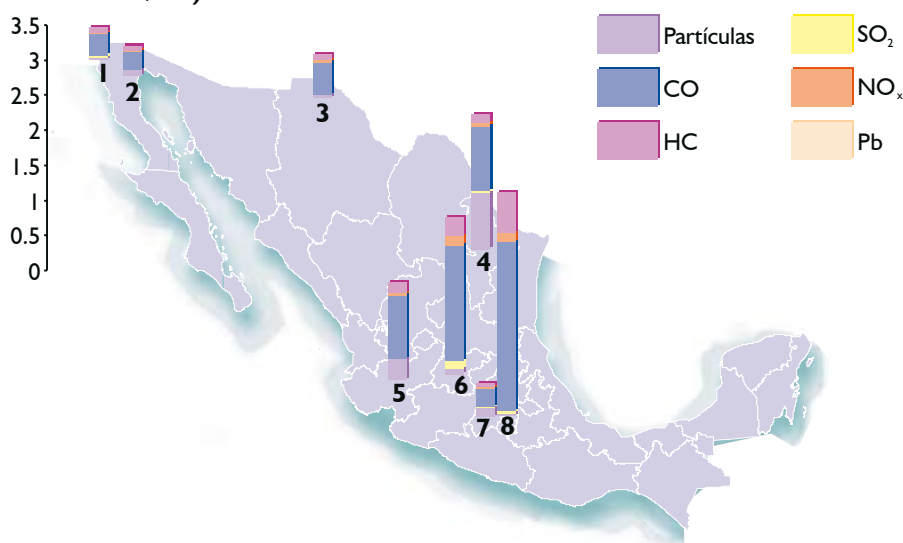
# Atmósfera



# Inventarios de emisiones

La calidad del aire, además de ser afectada por factores climáticos y geográficos, tiene una relación directa con el volumen de los contaminantes emitidos a la atmósfera. Los inventarios de emisiones existentes se desarrollaron en tres etapas: a mediados de los años noventa para varias zonas, en 1999 para los estados de la frontera norte y en 2000 la actualización y recálculo (de años anteriores) de las emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). De acuerdo con los inventarios de mediados de los años noventa, la zona que emitió la mayor cantidad de contaminantes fue la ZMVM, seguida del Corredor Industrial el Bajío y la Zona Metropolitana de Monterrey. En todas las zonas el monóxido de carbono (CO) fue el contaminante emitido en mayor proporción. De los estados de la frontera norte, Chihuahua es el que tiene la mayor cantidad de emisiones, principalmente compuestos orgánicos volátiles (COV), seguido por Sonora. En la ZMVM las emisiones se redujeron de manera importante de 1994 a 1998, mostrando cierta estabilidad desde entonces. El CO (generado principalmente por el sector transporte) es el contaminante que más se emite a la atmósfera.

**Emisión (millones de toneladas/año)**



1 Tijuana-Rosarito (1998); 2 Mexicali (1996); 3 Ciudad Juárez (1996); 4 Zona Metropolitana de Monterrey (1995); 5 Zona Metropolitana de Guadalajara (1995); 6 Corredor Industrial el Bajío (incluye Salamanca, 2000); 7 Zona Metropolitana del Valle de Toluca (1996); 8 Zona Metropolitana del Valle de México (1996).

## Zonas urbanas e industriales, varios años

### Nota:

CO (monóxido de carbono), HC (hidrocarburos), SO<sub>2</sub> (bióxido de azufre), NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno), Pb (plomo), COV (compuestos orgánicos volátiles), PM<sub>10</sub> (partículas menores a 10 micrómetros), NH<sub>3</sub> (amoníaco), SO<sub>x</sub> (óxidos de azufre), PM<sub>2.5</sub> (partículas menores a 2.5 micrómetros), COT (compuestos orgánicos totales).

### Fuentes:

Semarnat-INE. *Inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México, 1999*. México. 2005.

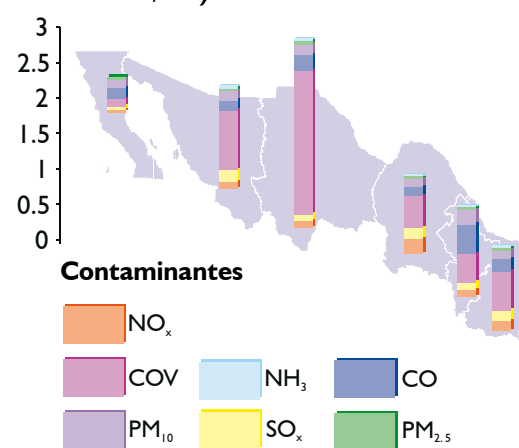
Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes. México. 2002.

En: Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales*. México. 2003.

GEG, GMS, Semarnat, Sener e IEG. *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en Salamanca 2003-2006*. México. 2004.

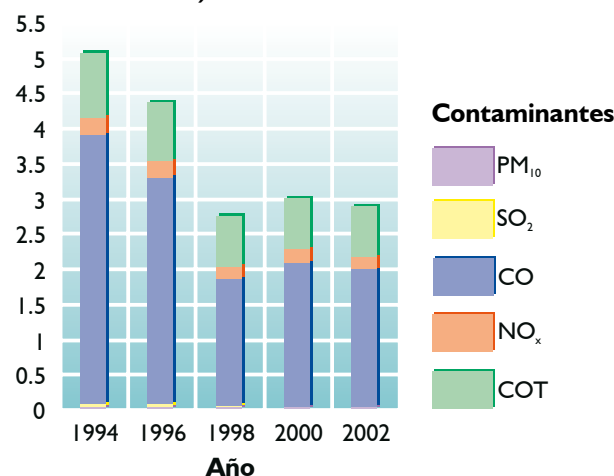
GDF. *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002*. México. 2005.

**Emisión (millones de toneladas/año)**



**Estados de la frontera norte, 1999**

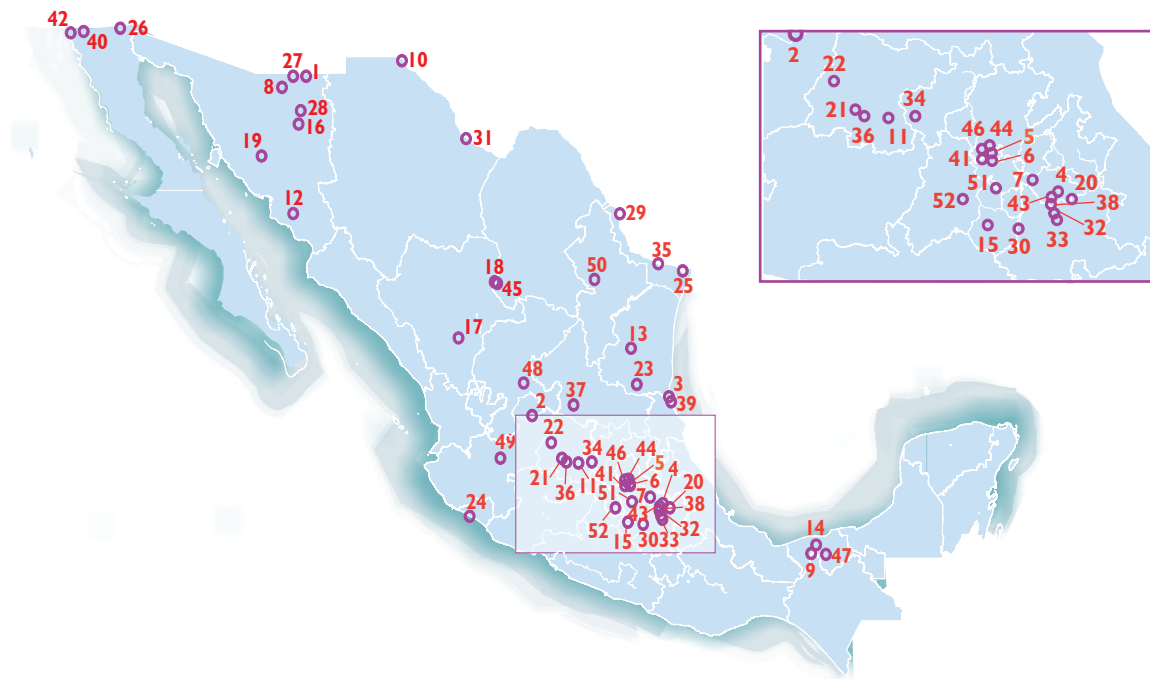
**Emisión (millones de toneladas/año)**



**Zona Metropolitana del Valle de México**

# Monitoreo de la calidad del aire

Actualmente se cuenta con una red nacional de monitoreo de contaminantes atmosféricos que abarca 52 zonas metropolitanas y poblaciones. La red local más completa y antigua se localiza en la ZMVM, que hoy en día tiene 36 estaciones de monitoreo automático y 13 de monitoreo manual (no todas funcionan de manera permanente), que registran, entre otras variables, la concentración de ozono ( $O_3$ ), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre ( $SO_2$ ), bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), partículas menores a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ) y partículas sólidas totales (PST). Otras ciudades que cuentan con un número importante de estaciones de monitoreo y con registros relativamente antiguos (mediados de los noventa) son las zonas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey, Toluca y ciudades fronterizas como Tijuana, Mexicali y Ciudad Juárez.



## Zonas metropolitanas o poblaciones con monitoreo de la calidad del aire, 2004

1 Agua Prieta	11 Celaya	21 Irapuato	31 Ojinaga	41 Tepeji del Río
2 Aguascalientes	12 Ciudad Obregón	22 León	32 Papalotla	42 Tijuana
3 Altamira	13 Ciudad Victoria	23 Mante	33 Puebla	43 Tlaxcala
4 Apizaco	14 Comalcalco	24 Manzanillo	34 Querétaro	44 Tlaxcoapan
5 Atitalaquia	15 Cuernavaca	25 Matamoros	35 Reynosa	45 Torreón
6 Atotonilco de Tula	16 Cumpas	26 Mexicali	36 Salamanca	46 Tula de Allende
7 Calpulalpan	17 Durango	27 Naco	37 San Luis Potosí	47 Villahermosa
8 Cananea	18 Gómez Palacio	28 Naco	38 Santa Cruz Quilehtla	48 Zacatecas
9 Cárdenas	19 Hermosillo	29 Nuevo Laredo	39 Tampico	49 ZMG (Guadalajara)
10 Cd. Juárez	20 Huamantla	30 Ocuilco	40 Tecate	50 ZMM (Monterrey)
				51 ZMVM (Cd. de México)
				52 ZMVT (Toluca)

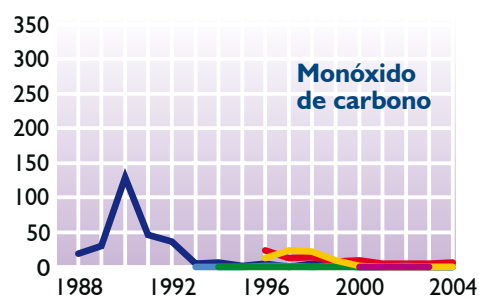
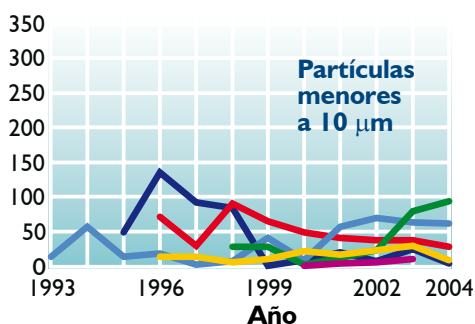
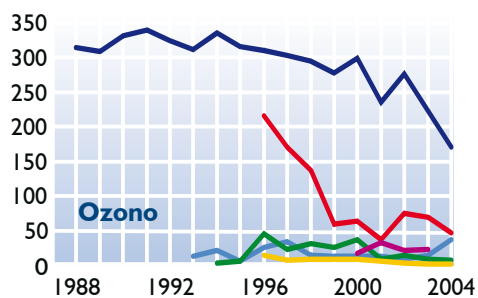
### Fuente:

Semarnat-INE. Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental. *Resultados preliminares del cuestionario aplicado a estaciones de monitoreo en la República Mexicana, julio-septiembre 2004.* México. 2004.

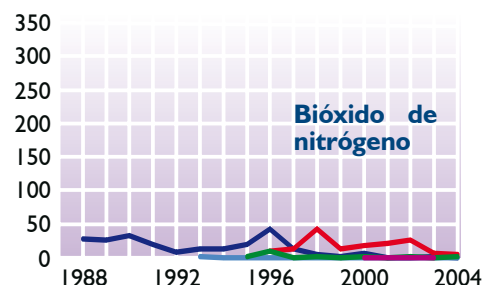
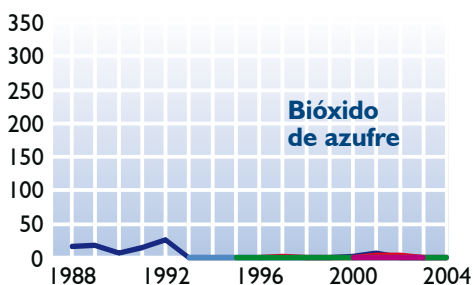
# Calidad del aire

El número de días en que se exceden las Normas es un indicador de la calidad del aire, ya que mide la frecuencia con la que se rebasan los umbrales máximos definidos para un contaminante determinado para proteger la salud. Tanto el ozono ( $O_3$ ) como las partículas menores a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ) aún representan una fuerte presión sobre la calidad del aire, ya que todas las ciudades rebasaron, al menos una vez al año, las concentraciones máximas permitidas. En la Zona Metropolitana del Valle de México el  $O_3$  sigue siendo el problema principal, ya que se excedió la Norma 170 días (46%) durante el año 2004, sin embargo es considerablemente menor a lo registrado en los años noventa cuando se registraban, en promedio, 314 días (86%) al año. En el caso de las  $PM_{10}$ , Toluca y la Zona Metropolitana de Monterrey rebasaron, cada una, la norma correspondiente más de 60 días en 2004. En todas las zonas urbanas monitoreadas la contaminación por monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre ( $SO_2$ ) y bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) parece estar bajo control, ya que en los últimos años el número de días en que se rebasaron las normas respectivas es mínimo y en varios casos incluso es cero. Esta mejora se debe, en gran parte, a la reformulación de los combustibles que suministra Pemex.

**Número de días**



**Número de días**



**Año**

— ZMVM — ZMG — ZMM — ZMVT — Ciudad Juárez — Puebla

## Número de días en que se excede el valor de norma por contaminante

Normas:

Ozono (NOM-020-SSA1-1993): no exceder 0.11 ppm en una hora en un periodo de un año.

Partículas menores a 10  $\mu m$  (basado en la NOM-025-SSA1-1993, vigente del 24 de diciembre de 1994 al 25 de noviembre de 2005): no exceder 150  $\mu g/m^3$  en 24 horas una vez al año.

Monóxido de carbono (NOM-021-SSA1-1993): no exceder 11 ppm en promedio móvil de 8 horas una vez al año.

Bióxido de azufre (NOM-022-SSA1-1993): no exceder 0.13 ppm en 24 horas una vez al año.

Bióxido de nitrógeno (NOM-023-SSA1-1993): no exceder 0.21 ppm en una hora una vez al año.

ZMVM: Zona Metropolitana del Valle de México; ZMG: Zona Metropolitana de Guadalajara; ZMM: Zona Metropolitana de Monterrey; ZMVT: Zona Metropolitana del Valle de Toluca. La fuente indica que para la ZMM la información es más confiable a partir de 1997.

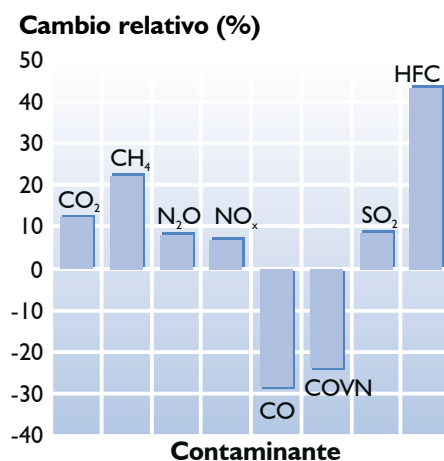
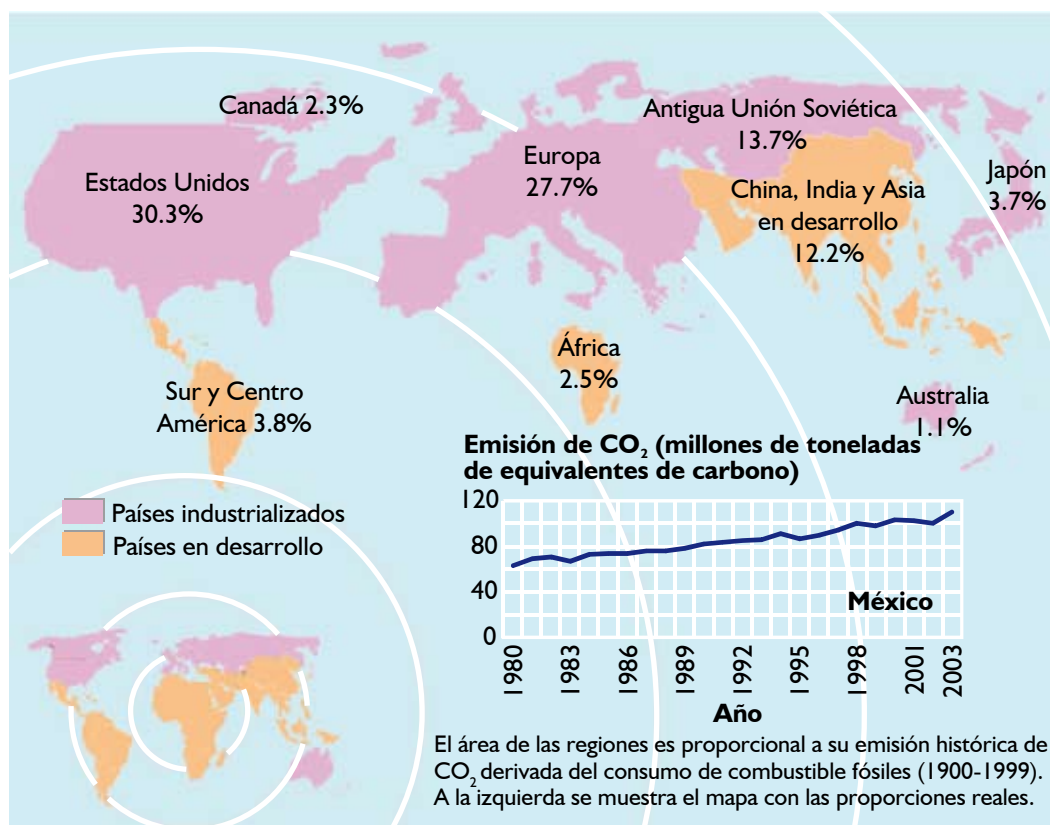
Fuentes:

Semarnat- INE. Segundo almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en seis ciudades mexicanas. México. 2003.

Semarnat-INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México. 2005.

# Emisión de bióxido de carbono

Los gases de efecto invernadero (GEI), responsables del calentamiento del planeta, son emitidos tanto por procesos naturales como por actividades humanas. Estados Unidos es el país que más contribuye con la emisión de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (periodo 1900-1999: 30.3% y 2003: 23%), siendo sus emisiones incluso mayores que las de Europa (periodo 1900-1999: 27.7% y 2003: 21%, sin considerar a la antigua Unión Soviética). México contribuye con poco menos del 2% de las emisiones totales. El inventario nacional de GEI, en México, indica que las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la quema de combustibles fueron de alrededor de 350 millones de toneladas en 1998, de las cuales el transporte y la industria emitieron al menos 30% cada uno. Solamente para el año 1996 se calculó la emisión de CO<sub>2</sub> asociada al cambio de uso del suelo y silvicultura siendo de poco más de 157 millones de toneladas por año (31% del total para ese año). Entre 1994 y 1998 se incrementaron las emisiones nacionales de casi todos los GEI, resaltando por su importancia en volumen las de CO<sub>2</sub>, que aumentaron 12.3%. En contraste, se redujeron las emisiones de CO (28%) y compuestos orgánicos volátiles no metano (COVNM) (24%). Aunque los hidrofluorocarbonos (HFC) muestran un importante incremento (casi 44%), el volumen emitido es muy pequeño comparado con los otros gases.



**Cambios en las emisiones nacionales de GEI, 1994-1998**

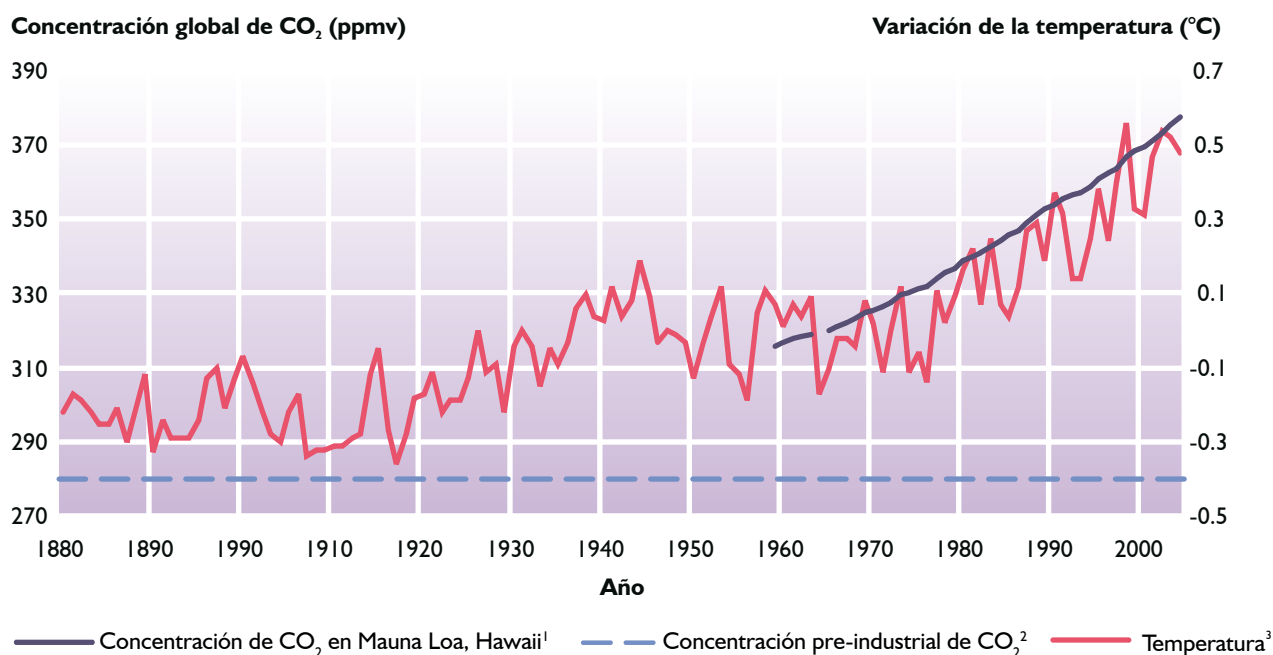
El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) concluyó en su Tercer Informe de Evaluación de 2001 que hay evidencias sólidas de que el calentamiento observado durante los últimos 50 años es atribuible a las actividades humanas.

## Fuentes:

EIA. *International Energy Anual 2003. Carbon dioxide emissions from use of fossil fuels*. USA. 2005. Disponible en: [www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon.html](http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/carbon.html)  
 Elaboración propia con datos de: Semarnat-INE. Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global. México. 2002.  
 Modificado de: WRI. *Contributions to global warming map*. 2002. Disponible en: [www.wri.org](http://www.wri.org)

# Concentración global de CO<sub>2</sub> y variación de la temperatura

La acumulación de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera se debe a que los sumideros naturales (por ejemplo, la absorción por la vegetación y su disolución en el agua) no son suficientes para capturar la cantidad extra de este gas que se está emitiendo. La concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> aumentó 19% en el periodo 1959-2004; si se compara con la condición en la época pre-industrial, la concentración atmosférica actual es 35% superior. Uno de los cambios climáticos observados y que se ha asociado al incremento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es el incremento de la temperatura (atmosférica y marina superficial). La variación promedio de la temperatura global en los últimos diez años fue 0.42°C superior al promedio del periodo 1951-1980, siendo 1998 el año en que se registró el mayor incremento (0.56°C). De acuerdo con las proyecciones hechas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), la concentración de CO<sub>2</sub> en el año 2100 podría ser de entre 540 y 970 partes por millón y el aumento de la temperatura media superficial del planeta de entre 1.4 y 5.8°C.



## Notas:

<sup>1</sup> Debido a que el CO<sub>2</sub> se dispersa fácilmente, las mediciones hechas en cualquier parte del mundo son representativas. El registro histórico más extenso corresponde a la zona del volcán Mauna Loa en Hawaii y, por ello, los datos recogidos en este lugar se consideran representativos de la concentración global de este gas.

<sup>2</sup> La concentración pre-industrial reportada por el IPCC es de 280 partes por millón por volumen (ppmv) para el periodo 1000-1750.

<sup>3</sup> El cero representa la temperatura media de 30 años (1951-1980), por lo que los datos se refieren a la variación anual respecto a esa media. La serie de tiempo presenta el registro combinado de la temperatura global superficial terrestre y marina.

## Fuentes:

Keeling, C.D. y T.P. Whorf. Atmospheric CO<sub>2</sub> records from sites in the SIO air sampling network. 2005. En: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center. U.S.A. Disponible en: <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/co2/sio-mlo.htm>

NASA. Goddard Institute for Space Studies. *Surface Temperature Analysis*. 2005. Disponible en: <http://www.giss.nasa.gov/data/update/gistemp/graphs/>

# Ozono estratosférico

El ozono estratosférico es degradado por agentes que se conocen genéricamente como sustancias agotadoras del ozono (SAO) y se generan principalmente por actividades humanas (fabricación de refrigerantes, solventes, insecticidas, etc.). El 90% de las emisiones de SAO ocurren en Europa, Norteamérica y Japón. Sin embargo, sus efectos son más evidentes en el Polo Sur y en general en las latitudes cercanas a los polos, ya que las condiciones climáticas favorecen las reacciones que destruyen el ozono. La concentración de ozono estratosférico varía naturalmente dependiendo de la latitud (trópicos: 250-300 unidades Dobson (UD) y regiones templadas: 300-400 UD). El adelgazamiento de la capa de ozono ocurre de manera más evidente alrededor del mes de octubre en Antártica, donde se forma el llamado "agujero de ozono". Éste presentó su máximo tamaño registrado en 2000, cubriendo 29.4 millones de km<sup>2</sup> y en 2004 abarcó 24.2 millones de km<sup>2</sup> (ambas superficies mayores que Norteamérica: 23.5 millones de km<sup>2</sup>). A diferencia de la concentración de ozono estratosférico en Antártica, que muestra una reducción importante, ni la concentración global ni la de las ciudades mexicanas para las que se tiene información presentan cambios significativos en la concentración.

## Fuentes:

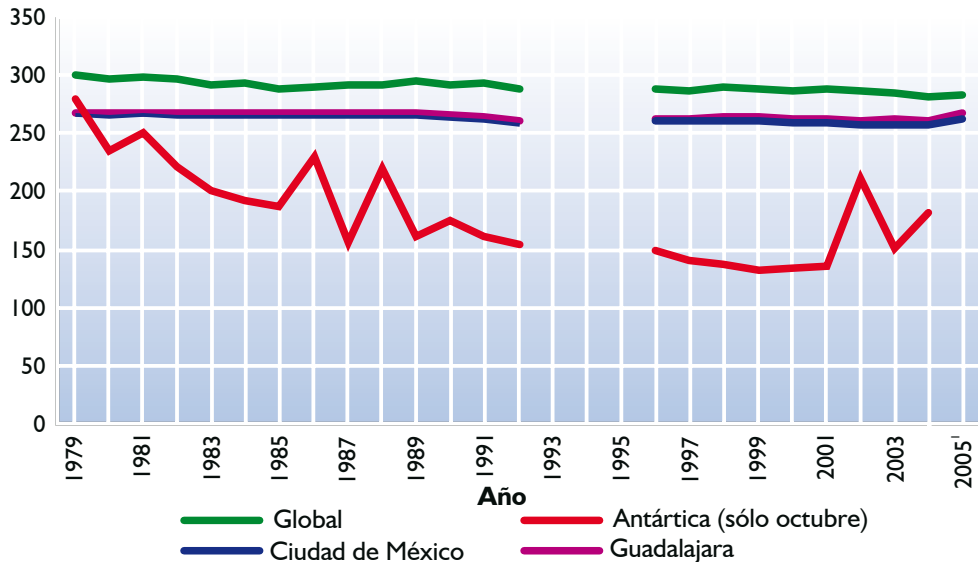
NASA. 2003 Ozone 'Hole' Approaches, But Falls Short Of Record. NASA News. 2003. Disponible en: <http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/2003/0925ozonehole.html>

NASA. Looking at earth. 2004 Antarctic Ozone Hole. 2004. Disponible en: [http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone\\_hole\\_2004.html](http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ozone_hole_2004.html)

NASA. U.S.A. 2003. Disponible en: [www.ec.gc.ca/soer-ree/English/indicator\\_series](http://www.ec.gc.ca/soer-ree/English/indicator_series).

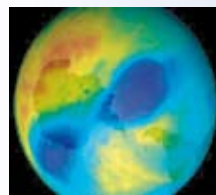
NASA. Total Ozone Mapping Spectrometer. Agosto de 2005. Disponible en: <http://toms.gsfc.nasa.gov>

## Concentración del ozono estratosférico (unidades Dobson)

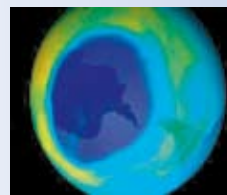


Nota:

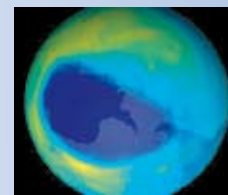
<sup>1</sup> En 2005, los datos incluyen mediciones sólo hasta junio para el ozono global, hasta el 7 de octubre para Antártica y 24 de julio para la Ciudad de México y Guadalajara.



Septiembre 24, 2002



Septiembre 24, 2003



Septiembre 22, 2004

Nota:

El área en azul marino representa el "agujero de ozono".

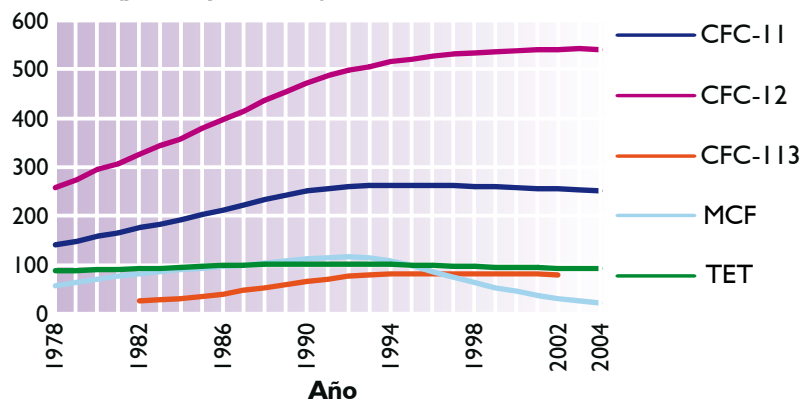
## Superficie cubierta por el agujero de ozono

Se considera que existe un "agujero" cuando la concentración de ozono estratosférico es menor a 220 unidades Dobson. Cien unidades Dobson representan una cantidad equivalente a un milímetro de grosor de la capa de ozono, a nivel del mar y a 0°C.

# SAO: consumo, concentración y uso de sustancias alternativas

El consumo global de sustancias agotadoras del ozono (SAO) disminuyó drásticamente desde el principio de los noventa, sin embargo, su concentración atmosférica no ha descendido en la misma magnitud. La concentración de SAO en los últimos años parece haberse estabilizado, después del constante incremento observado en los años ochenta. En los escenarios más optimistas, se predice que la capa de ozono comenzará a recuperarse en 10 o 20 años y su recuperación plena no llegará antes de la primera mitad del siglo XXI. En México, el consumo total ponderado (por el potencial de agotamiento del ozono) disminuyó 78% en 2004 comparado con el reportado en 1989, año de entrada en vigor del Protocolo de Montreal. A nivel nacional se ha impulsado la sustitución de sustancias de alto impacto sobre la capa de ozono por otras menos dañinas; por ejemplo, mientras el consumo de clorofluorocarbonos (CFC) usados principalmente en la refrigeración y aire acondicionado ha disminuido, el consumo de sustancias alternativas como los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) se ha incrementado.

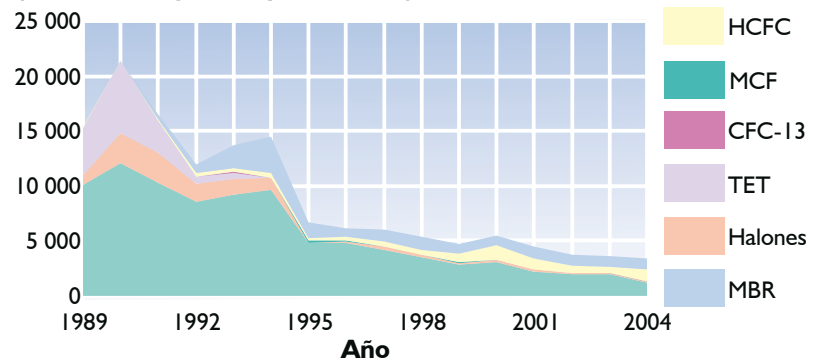
## Concentración global atmosférica de SAO (partes por billón)



### Fuentes:

Earth Trends. *Climate and Atmosphere Searchable Database*. 2004. Disponible en: [http://earthtrends.wri.org/searchable\\_db/index.cfm?theme=3](http://earthtrends.wri.org/searchable_db/index.cfm?theme=3)  
 Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC). *The ALE / GAGE / AGAGE Network*. 2005. Disponible en: [http://cdiac.ornl.gov/ftp/ale\\_gage\\_Agage/](http://cdiac.ornl.gov/ftp/ale_gage_Agage/)  
 Elaboración propia con datos de: Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. México. 2005.  
 Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes. México. 2002. En: Semarnat. *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, 2002*. Compendio de Estadísticas Ambientales. México. 2003.  
 Semarnat. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. México. 2005.

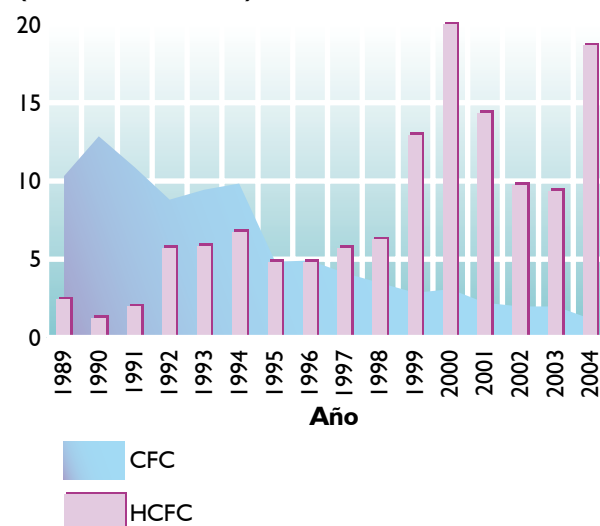
## Consumo nacional ponderado de SAO (miles de kilogramos ponderados)



### Nota:

El consumo neto se pondera por el potencial de agotamiento de la capa de ozono que posee cada sustancia.

## Consumo nacional (miles de toneladas)



Las SAO más conocidas son los clorofluorocarbonos (CFC), pero también destacan los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), halones, bromuro de metilo (MBR), tetracloruro de carbono (TET) y metil cloroformo (MCF). Estas sustancias son empleadas en sistemas de refrigeración, aire acondicionado, espuma rígida de poliuretano, solventes, insecticidas, aerosoles y extintores, entre otros.