

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

CIENCIAS DEL SUELO



Contaminación Atmosférica

Por:

MELISSA GRICEL FLORES HERRERA

MONOGRAFÍA

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

2019

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DEL SUELO

Contaminación Atmosférica

Por:

MELISSA GRICEL FLORES HERRERA


Que somete a la consideración de H. Jurado Examinador como
requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL


Aprobada por el comité de asesoría:




Dra. Alma Patricia García Villanueva
Asesora Principal



M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos
Coasesor



Dr. Arturo Gallegos del Tejo
Coasesor



M.C. Alejandra Escobar Sánchez
Coasesor





M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México
Diciembre 2019

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Gracias señor por tus bendiciones, por darme salud, por nunca dejarme caer y permitirme concluir mi proyecto.

A mi Alma Terra Mater

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro gracias por darme la oportunidad de compartir cinco años de mi vida en tus aulas, por darme un sin fin de oportunidades, enseñanzas y aprendizajes.

A la Dra. Alma Patricia García Villanueva

Por darme la oportunidad de realizar este trabajo bajo su asesoría, por sus sugerencias, observaciones, el apoyo, consejos y tiempo para poder concluir este proyecto.

Al M.C Fidel Maximiano Peña Ramos

Por su disponibilidad de tiempo, motivación, consejos y apoyo para que este trabajo se terminara satisfactoriamente.

Al Dr. Arturo Gallegos del Tejo

Por su tiempo dedicado a la revisión de éste trabajo, observaciones y asesoría.

A la M.C Alejandra Escobar Sánchez

Por su apoyo, asesoría y consejos para concluir esta etapa profesional.

A los Maestros que formaron parte de mi preparación en especial a M.C Javier Torres Arreguín, Dra. Gabriela Fuentes, Dr. Fernando Villarreal, Dra. Yisa Ochoa, M.C Jazmín Guerrero, M.C Juana María Mendoza Dr. Edmundo Peña, M.C Victor Peña, M.C Idalia Hernández, Dr. Rubén Valdez, Dr. José Sahagún, M.C Juan Cepeda, Dr. Emilio Rascón.

A mis Amigos: Blanca García, Magdalena López, Rocío Romero, Ramiro Rangel, Yanel Perez, Abraham Becerra, gracias por su apoyo, consejos y amistad; A todos los compañeros de generación que compartimos momentos juntos. Así como a las personas que no se mencionan en este escrito pero me dieron su apoyo y amistad, gracias.

DEDICATORIA

A ti **DIOS** que me has permitido vivir y concluir esta etapa de mi vida.

Con mucho amor para mi hijo

Angel Emiliano Medina Flores quien me ha motivado a ser cada día mejor, eres lo más importante y valioso en mi vida.

A mis Padres

Jaime Flores Gaona y **Verónica** Guadalupe Herrera González que me han apoyado y motivado a cumplir mis propósitos, por creer en mí y estar en todo momento.

A mi Marido

David Emiliano Medina Domínguez, por tu apoyo, motivación, el amor y la amistad que me das, Gracias.

Al Sr. **Daniel** Medina y la Sra. **Emma** Domínguez por todo su apoyo incondicional, gracias.

A mis Abuelos

Gaspar Herrera y **María** González, por el cariño y apoyo que me brindaron.

A mis Tíos

Ricardo, **Juan** Antonio y **Karla** Victoria, por todo su apoyo, Gracias.

A mis Hermanos

Jaime Orlando, **Ruby** Jazmín y **Alicia** Abigail, gracias por apoyarme y estar conmigo.

A mi sobrino y primos

Alejandro Flores Arévalo, Tony, Diego, Isrrael, Lizeth, Gema, Edwin y Francisco.

ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	ii
ÍNDICE FIGURAS.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
LA ATMÓSFERA	2
CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	3
CONTAMINANTES.....	6
Contaminantes Primarios	6
Contaminantes Secundarios	7
Contaminantes Criterio.....	8
FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	9
Fuentes Puntuales:	9
Fuentes Móviles:	9
Fuentes de Área:.....	9
Fuentes Naturales o Biogénicas:.....	9
Fuentes Específicas	9
Hogares.....	10
Industrias.....	10
Transporte	10
Agricultura	11
Residuos.....	11
Otras fuentes.....	11
FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA DISPERSIÓN Y/O ACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES	12
Factores Meteorológicos.....	13
Características Geográficas.....	17
CALIDAD DEL AIRE	18
Informe Nacional de Calidad del Aire 2017	18
Informe del Estado de Coahuila	19

MEDICIONES DE LA CALIDAD DEL AIRE	21
IMECA.....	21
SINAICA.....	22
CALENTAMIENTO GLOBAL	24
CAMBIO CLIMATICO Y EFECTOS	28
Cambio Climático	28
Efectos del Cambio Climático.....	30
Los Arrecifes de Coral	30
Incremento del Nivel del Mar	30
Erosión y Desertificación	31
Deforestación	31
Extinción de Especies.....	33
Escasez de agua	34
Eventos Meteorológicos Extremos.....	35
DATOS DE GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC)	37
MEDIDAS PREVENTIVAS.....	38
Contaminación del Aire	38
Contaminación del Agua	39
Contaminación del Suelo.....	39
Contaminación Marina y Costera	40
Productos Químicos y Desechos.....	41
CONCLUSIONES	42
LITERATURA CITADA	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Valores Normados para los Contaminantes Criterio del Aire en México	8
Cuadro 2 Valores de IMECA.....	22

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 Especie Extinta por Cambio Climático.	4
Figura 2 Población Vulnerable a la Contaminación del Aire	12
Figura 3 Ciudades y Zonas Metropolitanas de México con Monitoreo de la calidad de aire.	23
Figura 4 Incremento Global de Temperatura.	25
Figura 5 Diferencia Global de Temperatura.	27

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire representa un importante riesgo ambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo. Se estima que la contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas rurales, fue la causa de 4.2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año; esta mortalidad se debe a la exposición a partículas pequeñas de 2.5 micrones o menos de diámetro (PM_{2.5}), que causan enfermedades cardiovasculares y respiratorias, y cáncer (OMS, 2018).

En la actualidad, los problemas relacionados con la contaminación atmosférica y el deterioro de la calidad del aire se han convertido en una prioridad de las grandes ciudades, como consecuencia del creciente desarrollo industrial y el incremento del flujo vehicular. La contaminación atmosférica se ha venido en aumento tanto a nivel mundial como en países de América Latina. En México, la calidad del aire se ha visto afectada por la presencia de múltiples contaminantes (partículas PM_{2.5}, PM₁₀, dióxido de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre y monóxido de carbono) lo que representa un serio problema de salud pública y deteriora la calidad de vida de sus habitantes.

Cada vez son más las personas expuestas a concentraciones de contaminantes atmosféricos que representan un riesgo alto de sufrir daños irreversibles en su salud, lo que transgrede el derecho humano a disfrutar de un ambiente limpio, sano y a vivir con una mejor calidad de vida. La contaminación atmosférica se presenta por un desequilibrio en las concentraciones de los componentes del aire y se favorece por la presencia cada vez mayor de los contaminantes primarios y secundarios (DOF, 2014).

Los impactos ambientales, sociales y económicos de la contaminación atmosférica, hacen necesario conocer no sólo las concentraciones de los principales contaminantes en el aire, sino también sus fuentes de origen y sus volúmenes de emisión. Todo ello permite el diseño y la implementación de acciones de política pública orientadas a reducir la presencia de los contaminantes en la atmósfera y minimizar sus impactos sobre la salud de la población y los ecosistemas (SEMARNAT, 2016).

El desarrollo sostenible es una necesidad que ha de asociar el avance de una industria competitiva que cree empleo y recursos, una buena calidad de vida urbana

y rural y la protección del patrimonio natural, lo que supone la toma de responsabilidades por parte de todos los que estamos implicados en un avance positivo de la sociedad (SEMARNAT, 2016).

Por todo mencionado anteriormente, la finalidad de este trabajo es poner a disposición información recabada recientemente y datos relevantes sobre la contaminación atmosférica para continuar concientizando y sensibilizando a la humanidad sobre el tema.

LA ATMÓSFERA

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve a la Tierra y cualquier alteración sobre ella tiene una gran repercusión en los seres vivos.

Composición y estructura física: La atmósfera es una mezcla de gases transparentes de 640 kilómetros de espesor, que ha evolucionado a la composición actual durante millones de años, permitiendo el desarrollo de la vida.

La mezcla de gases que conforman la atmósfera se compone por el 78% de nitrógeno (N_2) y el 21% de oxígeno (O_2) aproximadamente, en porcentaje casi constante.

El 1% restante se compone por gases traza, destacando los gases de efecto invernadero (GEI) vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozono (O_3), estos gases desempeñan un papel fundamental en los procesos meteorológicos (SEMARNAT, 2013).

El equilibrio de esta concentración permite que los seres humanos puedan respirar sin tener afectaciones a la salud. Sin embargo el aire que respiramos puede ser alterado debido a la presencia de otros compuestos (INECC, 2017).

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La contaminación atmosférica se inició desde la propia creación de la Tierra, con las erupciones volcánicas y emisiones de gases producidos por las reacciones que formaron la atmósfera (sin oxígeno). Las formas de vida fueron entonces anaeróbicas y la vida se inició con microorganismos que transformaban otros gases, de tal forma que se produjo oxígeno y esta “contaminación” produjo la atmósfera que conocemos actualmente. Para fines prácticos se habla de la contaminación del ambiente a partir de la aparición del hombre y más específicamente desde que éste conoció el fuego, iniciando así la modificación de la atmósfera (Arriaga y Solís, 2003).

La contaminación atmosférica es cualquier sustancia en el aire que, en alta concentración puede dañar a los seres humanos, animales, vegetales o materiales. Puede incluir casi cualquier compuesto natural o artificial de materia flotante susceptible de ser transportado por el aire. Estos contaminantes se encuentran en forma de partículas sólidas, gotas líquidas, gases o combinadas. Generalmente se clasifican en los emitidos directamente por la fuente contaminante o contaminantes primarios y los secundarios producidos en el aire por la interacción de dos o más contaminantes primarios, o por la reacción con los compuestos normales de la atmósfera (SEMARNAT, 2010).

El uso sin control de combustibles con la finalidad de producir energía, dio origen a que la especie humana rebasara el umbral de equilibrio o capacidad de amortiguamiento que posee la naturaleza para ciertos contaminantes. Con la Revolución Industrial y la explosión tecnológica del siglo XX, el ser humano ha hecho un uso todavía más intensivo de combustibles, como el gas y los derivados del petróleo, cuyos productos de combustión son los principales causantes de la contaminación atmosférica en una cantidad tal que ya amenaza la vida de todas las especies, por lo que el equilibrio ecológico de nuestro planeta peligra cada vez más (Arriaga y Solís, 2003).

Un ejemplo de ello es el Melomys de Cayo Bramble (*Melomys rubicola*), un roedor que vivía solamente en una isla frente a la costa de Australia y podría ser el primer mamífero del mundo que sucumbe al cambio climático. Según los investigadores, en el Estrecho de Torres, al oriente de la Gran Barrera de Coral, un pescador vio por última vez al animal en 2009, pero intentos fallidos para capturar un ejemplar, a fines de 2014, llevaron a los científicos a concluir que probablemente se había extinguido.

Entre 1901 y 2010, el nivel del mar ha aumentado casi 20 centímetros en todo el mundo, una tasa sin precedentes en los últimos 6,000 años. No obstante, en las inmediaciones del Estrecho de Torres, el nivel ha crecido casi el doble del promedio mundial entre 1993 y 2014 (NATGEO, 2019).



Figura 1 Especie Extinta por Cambio Climático.

Fuente: NATGEO, 2019, Melomys de Cayo Bramble (*Melomys rubicola*).

Las actividades productivas se han intensificado globalmente, como consecuencia de una población mundial que incrementa sus necesidades, con patrones de consumo cada vez más demandantes. Resultado de ello, la energía y los materiales necesarios para la producción de bienes y servicios han crecido significativamente, sobre todo desde la segunda mitad del siglo XX. Los impactos de este crecimiento pueden observarse a nivel global, regional y local, siendo el Cambio Climático Global uno de los efectos más reconocidos, así como la pérdida de la Biodiversidad una de las más graves consecuencias, lo que representa hoy día uno de los principales retos ambientales globales.

Las ciudades son uno de los factores que más contribuyen al Cambio Climático. De acuerdo con ONU-Habitat, las ciudades consumen el 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, abarcan menos del 2% de la superficie de la Tierra (ONU, 2019).

Unos 3,000 millones de personas siguen cocinando y calentando sus hogares con combustibles sólidos (es decir, madera, residuos agrícolas, carbón vegetal y mineral y excrementos de animales), en fuegos abiertos y en cocinas con fugas. En su mayoría son personas pobres que viven en países de ingresos bajos y medianos.

Estos combustibles y tecnologías ineficientes para cocinar producen elevados niveles de contaminación del aire de interiores dado que liberan elementos nocivos para la salud, tales como pequeñas partículas de hollín que penetran profundamente en los pulmones. En viviendas mal ventiladas el humo puede producir concentraciones de partículas finas 100 veces superiores a las aceptables. La exposición afecta particularmente a las mujeres y los niños, que pasan la mayor parte del tiempo cerca del hogar (ONU, 2018).

El clima, y en particular la temperatura del planeta, dependen del balance entre la energía solar recibida y el calor emitido (radiación infrarroja). Los gases de efecto invernadero (GEI) presentes naturalmente en la atmósfera dejan pasar la radiación solar hacia la superficie terrestre, pero absorben la radiación infrarroja que ésta emite, produciendo con ello un efecto neto de calentamiento, de manera similar a como ocurre en los invernaderos. Las actividades humanas emiten volúmenes de GEI que se suman a los que de manera natural existen en la atmósfera, con lo que se incrementa su concentración en la atmósfera y con ello el efecto de calentamiento (SEMARNAT, 2016).

Los contaminantes del aire tienen distinto potencial para producir daños sobre la salud humana, dependiendo del tipo de contaminante, de las propiedades físicas y químicas de sus componentes, la frecuencia, la duración de exposición y su concentración, entre otros factores. De manera genérica se establece que la capacidad de un contaminante para producir un efecto en la salud depende fundamentalmente de dos factores:

- 1) La magnitud de la exposición y
- 2) La vulnerabilidad de las personas expuestas.

La magnitud de la exposición está en función de la concentración del contaminante en la atmósfera, de la duración de la exposición y de su frecuencia.

La vulnerabilidad de las personas expuestas es significativamente diferente, algunos grupos de población son más sensibles o vulnerables que otros a la contaminación del aire, que obedece a factores intrínsecos, como la genética, etnia, género y edad; y a factores adquiridos como las condiciones médicas, acceso a los servicios de salud y nutrición.

Los efectos en la salud pueden clasificarse en efectos agudos y, efectos crónicos sin la inclusión de cáncer y efectos cancerígenos (COFEPRIS, 2017).

CONTAMINANTES

En la atmósfera se encuentran una serie de compuestos que contribuyen a la contaminación del aire, de los cuales se pueden diferenciar dos grupos principales:

Contaminantes Primarios

Son vertidos directamente a la atmósfera por alguna fuente de emisión como chimeneas, automóviles, entre otros. Los contaminantes atmosféricos que integran este grupo son:

- **Óxidos de azufre (SO_x):** Se forman por la combustión del azufre presente en el carbón y el petróleo. Los SO_x forman aerosoles con la humedad ambiente, incrementando el poder corrosivo de la atmósfera, disminuyendo la visibilidad y provocando la lluvia ácida.
- **Monóxido de carbono (CO):** Es el contaminante más abundante en la capa inferior de la atmósfera. Se produce por la combustión incompleta de compuestos de carbono. Es un gas inestable que se oxida generando dióxido de carbono (CO₂). Alrededor del 70% del CO proviene de los vehículos.
- **Óxidos de nitrógeno (NO_x):** Se producen en la combustión de productos fósiles, destacando los vehículos, carbón y quemados de madera. La producción de fertilizantes y explosivos, tabaco y calderas generan emisiones importantes de NO_x. El monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) requieren especial

atención. El NO se oxida formando NO₂, mientras que el NO₂ es precursor del smog fotoquímico.

- **Partículas:** Es material respirable presente en la atmósfera en forma sólida o líquida (polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras). De acuerdo con su tamaño se pueden dividir en dos grupos principales: las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 µm (PM₁₀) y las de fracción respirable más pequeña (PM_{2.5}).

Contaminantes Secundarios

Son los contaminantes originados en el aire como consecuencia de la transformación y reacciones químicas que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera. Se pueden considerar:

- **Ozono (O₃):** Forma parte de la composición de la atmósfera, sin embargo a baja altura (O₃ troposférico) resulta perjudicial por su carácter oxidante, reactivo, corrosivo y tóxico, por lo que reacciona con rapidez generando compuestos secundarios.

- **Lluvia ácida:** Es el término que se ha usado para describir el proceso por el cual ciertos ácidos se forman en la atmósfera a partir de contaminantes y luego se precipitan a la tierra. El SO₂ (dióxido de azufre) y los NO_x, causan la lluvia ácida. Estas sustancias en presencia de agua, O₂ y otros compuestos químicos forman ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido nítrico (HNO₃) respectivamente, que se precipitan a la tierra en forma líquida cuando se presentan lluvias o en forma seca en presencia de nevadas o neblinas. El pH de la lluvia normal es de alrededor de 6, mientras que la lluvia ácida presenta un pH menor a 5.

- **Contaminación fotoquímica:** La constituyen la luz solar y sustancias susceptibles de ser oxidadas. El smog fotoquímico es una mezcla de contaminantes que se forman por reacciones producidas por la luz solar al incidir sobre los contaminantes primarios (SEMARNAT, 2013).

Contaminantes Criterio

En nuestro país algunos de los contaminantes del aire, por sus efectos en la salud de la población, han sido normados y se han establecido límites máximos permisibles de concentración en el aire. Estos incluyen: el ozono (O₃), el monóxido de carbono (CO), el bióxido de azufre (SO₂), el bióxido de nitrógeno (NO₂), el plomo (Pb), las partículas suspendidas totales (PST), y las partículas suspendidas menores a 10 y a 2.5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2.5}).

La calidad del aire puede ser definida por indicadores o índices preestablecidos que determinan la concentración de contaminantes en el aire ambiental ligadas a escalas que califican esa calidad de forma cualitativa, cromática o numérica (INECC, 2017).

Cuadro 1 Valores Normados para los Contaminantes Criterio del Aire en México

Contaminantes	Valores Límite		Normas Oficiales Mexicanas
	Exposición aguda		
	Concentración y tiempo de promedio	Frecuencia máxima aceptable	
Ozono (O ₃)	≤ 0.095 ppm (1 hora)	Ninguna vez al año	NOM-020-SSA1-2014
	≤ 0.070 ppm (8 horas)	Quinto máximo en un año	
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas) (12595 µg/m ³)	1 vez al año	NOM-021-SSA1-1993
Dióxido de azufre (SO ₂)	0.200 ppm o 524 µg/m ³ (8 horas)	No rebasar 2 Veces al año	NOM-022-SSA1-2010
	0.13 ppm o 341 µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	
	0.025 ppm o 66 µg/m ³ promedio anual	No rebasar 2 Veces al año	
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm o 395 µg/m ³ (1 hora)	1 vez al año	NOM-023-SSA1-1993
Partículas menores a 10 micrómetros PM ₁₀ :	<ul style="list-style-type: none"> • 75 µg/m³ promedio de 24 horas. • 40 µg/m³ promedio anual. 	1 vez al año	NOM-025-SSA1-2014
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM _{2.5})	<ul style="list-style-type: none"> • 45 µg/m³ promedio de 24 horas. • 12 µg/m³ promedio anual. 	1 vez al año	NOM-025-SSA1-2014

Fuente: Elaboración propia con datos del Diario Oficial de la Federación (DOF)

FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Son todas aquellas actividades, procesos u operaciones capaces de producir contaminantes del aire, se agrupan en:

Fuentes Puntuales:

Se caracterizan por ser estacionarias o estar en un punto fijo como las plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo y fábricas.

Fuentes Móviles:

Abarcan todas las formas de transporte y los vehículos automotores.

Fuentes de Área:

Todas aquellas actividades que en conjunto afectan la calidad del aire, como el uso de madera, imprentas, tintorerías o actividades agrícolas, por mencionar algunas.

Fuentes Naturales o Biogénicas:

Son resultado de fenómenos de la vida animal y vegetal, como las emisiones producidas por los volcanes, océanos y la erosión del suelo (SEMARNAT, 2018).

Fuentes Específicas

La cantidad de contaminación que respiramos depende de muchos factores, como el acceso a energía limpia para cocinar y calentar, la hora del día o el clima. La hora pico de tráfico es una fuente obvia de polución local, pero las emisiones contaminantes pueden viajar largas distancias, a veces a través de continentes, debido a los patrones climáticos internacionales.

La contaminación atmosférica proviene principalmente de cinco actividades humanas que arrojan una gama de sustancias, tales como monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, óxido de nitrógeno, ozono a nivel del suelo, material particulado, dióxido de azufre, hidrocarburos y plomo, todas perjudiciales para la salud humana.

Hogares

La principal fuente de contaminación del aire en el interior de los hogares es la quema de madera y combustibles fósiles o basados en biomasa para cocinar, calentar o iluminar. Alrededor de 3.8 millones de muertes prematuras son causadas por la contaminación del aire en interiores cada año, la gran mayoría de ellas en el mundo en desarrollo.

En 97 países, 85% de los hogares ya tiene acceso a fuentes de energía más limpias. Pero aún 3,000 millones de personas continúan utilizando combustibles sólidos y chimeneas para cocinar, calentarse e iluminar.

Industrias

En muchos países, la producción de energía es una fuente principal de contaminación del aire. Las centrales eléctricas que queman carbón son un emisor importante, y las plantas con base en diésel son una preocupación creciente en las áreas desconectadas de la red. Los procesos industriales y el uso de solventes en las industrias químicas y mineras también contaminan el aire.

Transporte

El creciente sector del transporte es responsable de casi una cuarta parte de todas las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía, a las cuales se atribuyen casi 400,000 muertes prematuras. Alrededor de la mitad de todas las muertes por contaminación del aire causadas por el transporte se deben a las emisiones de diésel. Por otro lado, las personas que viven más cerca de las principales arterias de tránsito tienen hasta 12% más de probabilidades de ser diagnosticadas con demencia.

Agricultura

Existen dos fuentes principales de contaminación del aire provenientes de la agricultura: el ganado, que produce metano y amoníaco, y la quema de residuos agrícolas. Las emisiones de metano contribuyen al ozono a nivel del suelo, que causa el asma y otras enfermedades respiratorias. El metano también es un gas de efecto invernadero con un impacto hasta 34 veces más potente que el dióxido de carbono en un período de 100 años. Alrededor de 24% de todos los gases de efecto invernadero emitidos en el mundo provienen de la agricultura, la silvicultura y otros usos del suelo.

Residuos

La quema de residuos a cielo abierto y los desechos orgánicos en los vertederos liberan a la atmósfera dioxinas nocivas, furanos, metano y carbono negro. A nivel mundial, se estima que 40% de los residuos se quema al aire libre, un problema que resulta más grave en las regiones que se están urbanizando y en los países en desarrollo. La quema a cielo abierto de residuos agrícolas y/o municipales se practica en 166 de 193 países.

Otras fuentes

No toda la contaminación del aire proviene de la actividad humana. Las erupciones volcánicas, las tormentas de polvo y otros procesos naturales también inciden en la calidad del aire. Las tormentas de arena y polvo son particularmente preocupantes. Las partículas finas de polvo pueden viajar miles de millas junto con estas tormentas, que también pueden transportar agentes patógenos y sustancias dañinas relacionadas con problemas respiratorios agudos y crónicos (ONU, 2019).

La contaminación del aire es un problema de justicia social y desigualdad.

Los grupos más vulnerables a la contaminación del aire:

Las mujeres y los niños

que hacen trabajos domésticos como cocinar están expuestos de forma desproporcionada a la contaminación de los combustibles usados en casa.

Las personas mayores

Las personas mayores y con enfermedades pulmonares o cardíacas preexistentes son más afectadas por la contaminación del aire.

Grupos de bajos ingresos:

casi 90% de las muertes relacionadas con la contaminación del aire ocurre en países de ingresos bajos y medios, debido al rápido aumento en el número de vehículos y otras razones.

Sin Contaminación del Aire | DÍA MUNDIAL DEL MEDIO AMBIENTE | ONU medio ambiente | #DiaMundialDelMedioAmbiente

Figura 2 Población Vulnerable a la Contaminación del Aire

Fuente: ONU, 2019.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA DISPERSIÓN Y/O ACUMULACIÓN DE CONTAMINANTES

Factores Meteorológicos

La meteorología es el estudio de los procesos dinámicos de la atmósfera asociados con el clima (largo plazo) y el tiempo (corto plazo). El balance de energía determina el comportamiento de la atmósfera, a escala local y global (González, 2015).

Los agentes contaminantes de origen industrial o urbano y sus mezclas y reacciones químicas y fotoquímicas, tienen una relación directa con las condiciones meteorológicas y con sus factores incidentes, de modo que unas veces los factores meteorológicos catalizan la evolución de los contaminantes, otras veces los dispersan y otras provocan sinergismos y transformaciones complejas (Calvo, 2002).

.-La Estabilidad Atmosférica

El movimiento vertical es conocido como “estabilidad atmosférica”, también afecta el transporte y dispersión de los contaminantes del aire. Las condiciones atmosféricas inestables producen la mezcla vertical. Generalmente, el aire cerca de la superficie de la tierra es más caliente en el día debido a la absorción de la energía solar. Luego, el aire más caliente y liviano de la superficie sube y se mezcla con el aire más frío y pesado de la atmósfera superior. Este movimiento constante del aire crea condiciones inestables y dispersa el aire contaminado (Inche, 2004).

.-Temperatura

Las temperaturas elevadas favorecen la producción de ozono debido a que hace que las reacciones químicas sean más favorecidas; por otra parte, se incrementan las emisiones evaporativas de precursores de ozono (Morales, 2006)

La temperatura del aire determina los movimientos del aire y las condiciones de estabilidad o inestabilidad atmosférica (SEMARNAT, 2013).

La temperatura del aire relativamente cerca de la superficie de la tierra normalmente disminuye con el aumento de la altitud, ciertas condiciones atmosféricas pueden producir la condición opuesta (temperatura creciente con el aumento de la altitud). Tales condiciones se caracterizan por una alta inestabilidad atmosférica y se

conoce como inversiones de temperatura. Debido a que limita la circulación vertical del aire, las inversiones de temperatura producen un estancamiento del aire, encerrando a los contaminantes atmosféricos en áreas localizadas (Calvo, 2002).

Un incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero produce un aumento de la eficiencia de la atmósfera en absorber emisión infrarroja de la superficie terrestre, lo cual incrementa la temperatura (González, 2015).

.-Inversiones Térmicas

Una Inversión térmica es el fenómeno en el cual se forma una capa de aire frío debajo de una de aire caliente. La capa de aire frío, que pesa más, no puede ascender y mezclarse con la del aire caliente, generándose un estado estable. Las inversiones suceden durante las noches en que las capas del aire cercanas al suelo se enfrían y quedan atrapadas por las capas altas más calientes. Al incidir los rayos del sol, puesto que las primeras en calentarse son las capas altas de la atmósfera, se genera la inversión. Unas horas después los rayos del sol calientan el suelo y éste calienta a las capas bajas de la atmósfera, con lo que se rompe la inversión. Si una mañana determinada existe niebla y un alto índice de contaminación, la radiación solar tiende a calentar las capas superiores de la atmósfera, pero no las bajas, por lo que la inversión puede incluso mantenerse durante varios días. Esto atrapa los contaminantes que no se pueden dispersar y su concentración aumenta de manera crítica (Segura y Arriaga, 2003).

.-Humedad

La humedad relativa presenta efectos positivos y negativos para formación de ozono, por una parte, un incremento produce un aumento de contenido de agua en la atmósfera, lo que puede conducir a un incremento en la formación de radicales OH, y puede llevar a la formación de hidrometeoros que favorecerán algunas reacciones que ocurren en fase heterogénea. Por otra parte, los hidrometeoros podrían disolver algunas especies químicas, de modo que pueden ser removidas de la fase aérea y no se encuentren disponibles para reaccionar y conducir posteriormente a la formación de material particulado (Morales, 2006).

El vapor de agua juega un papel importante en la relación vegetación-atmósfera. Casi toda el agua atmosférica se encuentra en la troposfera, donde las moléculas de aquella permanecen una media de 10 días, cosa a tener en cuenta cuando se estudia el arrastre de contaminantes por las precipitaciones.

Estos fenómenos están muy influidos por los cambios de estado del agua, es lo que se absorbe o se desprende energía calorífica, y son, entre otros, aquellos en los que participan la precipitación, condensación, evaporación o la congelación, influyendo en la situación térmica y en el balance térmico atmosférico (Calvo, 2002).

.-Precipitación

La precipitación provee de un mecanismo eficiente de remoción de contaminantes atmosféricos, debido a que en las gotas de lluvia se disuelven y se arrastran moléculas que se encuentran en fase aérea (Morales, 2006).

Permite un efecto beneficioso, porque lava las partículas contaminantes del aire y ayuda a minimizar las partículas provenientes de diversas actividades (Inche, 2004).

Una precipitación vertical, lluvia o nieve, arrastra gases y partículas contaminantes presentes en el aire en cantidad que dependerá de:

- Intensidad de la precipitación
- Duración de la precipitación
- Tamaño de las gotas de agua o de los copos de nieve
- Solubilidad de los gases o de las partículas
- Tamaño de las partículas
- Velocidad de caída de la precipitación
- Velocidad de caída de las partículas
- Densidad de las partículas
- Concentración de los contaminantes en el aire.

Como orientación se puede indicar que una lluvia constante de 1 mm/hora durante 15 minutos, arrastra una media del 25 – 30% de las partículas de más de 10 μ . (Calvo, 2002)

.-Radiación

El motor del clima es la energía solar. Se trata de un flujo de energía electromagnética que llega al exterior de la atmósfera, principalmente en forma de luz visible, y que se conoce como la constante solar (equivalente a 1370 W/m^2). Cerca de 30% de esta energía es reflejada de vuelta al espacio, fundamentalmente por las nubes, la nieve, el hielo y los grandes desiertos desprovistos de vegetación; el resto lo absorbe la superficie de los océanos y de los continentes que es lo que llamamos “la superficie terrestre”.

Debido a su forma esferoide, la Tierra recibe de manera diferenciada esa energía; las zonas ecuatoriales reciben de forma perpendicular los rayos solares, mientras que las zonas en las mayores latitudes, cerca de los polos reciben los rayos de forma tangencial. Como consecuencia de ello, las zonas más cercanas al ecuador se calientan más que las de las latitudes mayores (Molina et al., 2017).

Es la única fuente de energía disponible para poner en movimiento a la atmósfera, la máxima proporción (40%) llega en la zona del espectro visible (400-700 nm). La radiación incidente es parcialmente reflejada por las nubes al espacio, redispersada por la atmósfera (lo que produce el color azul del cielo y los tonos rojos de los atardeceres), reflejada por la superficie de la tierra, parcialmente absorbida por el vapor de agua, otros gases y las nubes (González, 2015).

.-El Viento

Desempeña un papel significativo en el transporte y dilución de los contaminantes. Cuando su velocidad aumenta, mayor es el volumen de aire que se desplaza por unidad de tiempo, por la zona donde está localizada una fuente de emisión de contaminantes. En consecuencia la concentración disminuye si la emisión es constante. La velocidad del viento afecta el tiempo de recorrido de los contaminantes entre la fuente y los receptores. Cuando los contaminantes son emitidos desde las fuentes, con impulso vertical y calor, la elevación de los mismos también está afectada por la velocidad del viento (Venegas y Mazzeo, 2015).

.-Efecto Invernadero

Gracias al efecto invernadero natural, la temperatura promedio de la superficie terrestre se eleva lo suficiente para emitir de forma de radiación infrarroja más del doble de la cantidad de energía que de la que recibe del Sol, pues ciertos gases de forma natural en la atmósfera (los llamados gases de efecto invernadero), en efecto, atrapan una fracción significativa de esa energía emitiéndola en todas direcciones, regresando una parte a la superficie, manteniendo de esta manera el balance térmico (Molina et al., 2017).

Los gases de efecto invernadero, las nubes y, en menor medida, los aerosoles absorben la radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra y por cualquier punto de la atmósfera. Esas sustancias emiten radiación infrarroja en todas las direcciones, pero, a igualdad de condiciones, la cantidad neta de energía emitida al espacio es generalmente menor de la que se habría emitido en ausencia de esos absorbedores debido a la disminución de la temperatura con la altitud en la troposfera y el consiguiente debilitamiento de la emisión. Una mayor concentración de gases de efecto invernadero aumenta la magnitud de este efecto, y la diferencia generalmente se denomina efecto invernadero intensificado.

El fenómeno del efecto invernadero consiste en la absorción de radiación terrestre (en el espectro infrarrojo) por moléculas que experimentan transiciones vibracionales o vibrorrotacionales en esas longitudes de onda, entre 5 y 50 μm .

Los gases de efecto invernadero (GEI) que son eficientes son aquellos que absorben en la ventana atmosférica entre 8 y 13 μm ; los que absorben en otras zonas saturadas del espectro no son eficientes en producir el efecto invernadero.

Por ejemplo, un GEI que absorbe 11 μm hace que la radiación emitida al espacio a 11 μm se reduzca, ya que ahora sería emitida por una atmósfera más fría que la superficie. Luego, para mantener el balance de energía, se deben incrementar los flujos de emisión en otras longitudes de onda, con lo cual necesariamente la temperatura superficial debe aumentar (González, 2015).

Características Geográficas

La situación geográfica de determinada localidad puede condicionar ciertas condiciones meteorológicas que favorezcan una mala dispersión de contaminantes (Morales, 2006)

La topografía, los rasgos del relieve y las grandes ciudades rodeadas de una topografía compleja como valles o cadenas de montañas, a menudo experimentan altas concentraciones de contaminantes del aire ya que las zonas urbanas influyen en el movimiento de masas de aire y las montañas frenan los vientos y las corrientes de aire favoreciendo la generación de turbulencias que contribuyen a la acumulación de contaminantes (Inche, 2004).

CALIDAD DEL AIRE

A la atmósfera se liberan una enorme cantidad de sustancias producidas por las actividades humanas; aunque algunas de ellas pueden degradarse en la atmósfera, deponerse (en tierra o en océanos) o integrarse en los ciclos biogeoquímicos (SEMARNAT, 2016).

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones más reciente, a nivel nacional se emitieron alrededor de 59 millones de toneladas de contaminantes en 2008. Las fuentes naturales emitieron el 21% de los contaminantes y las antropogénicas el 79% restante. El mayor volumen emitido por fuentes antropogénicas provino de las fuentes móviles carreteras (58%), seguidas por las fuentes de área (13%), las fuentes fijas (7%) y las fuentes móviles no carreteras (1%). (SEMARNAT, 2016).

Informe Nacional de Calidad del Aire 2017

- En la mayoría de las ciudades incluidas en este informe predomina el incumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire para ozono y partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}).
- El 41% de las ciudades con capacidad para medir partículas suspendidas PM₁₀, el 37% de las que tienen capacidad de medición de partículas suspendidas PM_{2.5} y el 70% de las que pueden medir ozono, no cumplieron con la Norma de Calidad del Aire respectiva.
- Las concentraciones más altas de PM₁₀ se registraron en Torreón, las de PM_{2.5} en Valle de Toluca y las de Ozono en Guadalajara.

- El mayor porcentaje de días al año con concentraciones superiores a los límites normados de PM₁₀ se registró en Guadalajara (61%), para PM_{2.5} en Valle de Toluca (49%) y para ozono en Valle de México (64%).
- La norma de salud ambiental para el dióxido de azufre sólo se incumplió en Tula de Allende y la de monóxido de carbono en Santiago de Querétaro.
- La única norma de calidad del aire que se cumple en todas las ciudades donde fue posible evaluar tal cumplimiento es la de dióxido de nitrógeno.
- Persisten los problemas operativos en la mayoría de los sistemas de monitoreo que operan en el país, lo cual se refleja en el alto porcentaje de estaciones donde no se puede evaluar cumplimiento de norma por insuficiencia de datos. Por ejemplo, en 2017 no fue posible evaluar cumplimiento de norma en el 38% de las estaciones con capacidad para medir PM₁₀, en el 53% de las que cuentan con capacidad para medir PM_{2.5} y en el 23% de las que miden ozono (INECC, 2018).

Informe del Estado de Coahuila

En el año 2017 el Estado de Coahuila contó, administrativamente, con dos sistemas de monitoreo de la calidad del aire (SMCA). Uno a cargo del Gobierno del Estado (SMCA – Coahuila Estatal) y otro a cargo del gobierno del municipio de Torreón (SMCA – Torreón municipal). El SMCA Estatal estuvo integrado por las estaciones de monitoreo de Torreón, Saltillo, Monclova y Piedras Negras, en tanto que el SMCA municipal estuvo integrado por tres estaciones de monitoreo manuales, todas ubicadas en el municipio de Torreón.

En esta sección se analiza el cumplimiento de las NOM para cada contaminante en cada una de las estaciones de monitoreo que conforman el SMCA de Coahuila.

- En 2017 la Norma de PM₁₀ se incumplió en todas las estaciones de monitoreo localizadas en Torreón. En las cuatro estaciones de monitoreo se rebasaron los dos límites normados. Las concentraciones más altas de este contaminante, tanto como promedio de 24 horas como promedio anual se registraron en la estación de monitoreo CONALEP (CNP), con concentraciones de 276 µg/m³ y 78 µg/m³, respectivamente. El primero equivale a casi 4 veces el límite de 24 horas y el segundo a casi 2 veces el límite anual. En el resto de las estaciones de la entidad, la estación de monitoreo Finanzas (FIN) ubicada en Saltillo cumplió durante el 2017 con los dos límites normados de calidad de aire para

PM₁₀, en tanto que las estaciones de Monclova (JUR) y Piedras Negras (R-DIF) no registraron información suficiente para generar los indicadores.

- La Norma de PM_{2.5} no pudo ser evaluada en ninguna de las estaciones de monitoreo debido a la insuficiencia de datos.
- La Norma de ozono (O₃) se incumplió en las estaciones de monitoreo de las ciudades de Saltillo, Torreón y Monclova, en las dos primeras se rebasaron los dos límites normados, mientras que en la tercera se rebasó el límite de 1 hora. Las concentraciones más altas de ozono, tanto como promedio de una hora como de 8 horas, se registraron en Saltillo, con valores de 0.124 ppm y 0.098 ppm, respectivamente, que equivalen a 1.3 y 1.03 veces el límite normado respectivo. En Piedras Negras no se evaluaron los límites normados de ozono por insuficiencia de información.
- Los límites normados de monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre se cumplieron en todas las estaciones de monitoreo. Sólo en la estación de monitoreo ubicada en Torreón no se realizó la evaluación de dióxido de nitrógeno por falta de información.

En Coahuila se presentan problemas de calidad del aire tanto por partículas, principalmente PM₁₀, como por ozono. Las concentraciones de partículas PM₁₀ rebasaron los dos límites normados en cuatro de las cinco estaciones de monitoreo evaluadas. El límite de 1 hora para ozono se rebasó en las 3 estaciones evaluadas y el límite de 8 horas en 2.

En 2017 los límites normados de PM₁₀ y O₃ se incumplieron en Torreón, en tanto que en Saltillo y Monclova se incumplió con la Norma de ozono. En Piedras Negras no se evaluaron las Normas de PM_{2.5}, PM₁₀ y O₃ por insuficiencia de información.

Las concentraciones más altas de PM₁₀ y PM_{2.5} se registraron en Torreón, en tanto que los niveles más altos de ozono tuvieron lugar en Saltillo.

Las concentraciones superiores al límite normado de 24 horas de PM₁₀ se presentaron con mayor frecuencia en la ciudad de Torreón (47% de los días del año), seguida de Monclova (16%) y Piedras Negras (4%). En Torreón, el 7% de los días del año se presentaron concentraciones superiores al límite normado de PM_{2.5}. Finalmente, el límite de 1 hora de ozono se rebasó en el 11% de los días en Saltillo y en menos del 1% de los días en Monclova.

Los mayores problemas de calidad del aire en la entidad se presentaron en la ciudad de Torreón, no sólo se alcanzaron las concentraciones más altas de PM₁₀, sino que fue también el sitio donde con mayor frecuencia se presentan días con concentraciones superiores al límite normado de este contaminante (47%). (INECC, 2018).

MEDICIONES DE LA CALIDAD DEL AIRE

IMECA

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire es un indicador diseñado para informar a la población sobre el estado de la calidad del aire que muestra qué tan contaminado se encuentra el aire y cuáles podrían ser los efectos en la salud. Desde 2006 el IMECA tiene su fundamento en la Norma Ambiental del Distrito Federal NADF-009-AIRE-2006 en donde se establecen los requisitos para su cálculo y difusión y se calcula para cinco de los contaminantes criterio: dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono y partículas suspendidas; se representa con una escala que va de 0 a 500, donde el valor de 100 se asigna al valor indicado por la Norma Oficial Mexicana para cada contaminante. Un valor menor a 100 se considera satisfactorio y con un bajo riesgo para la salud. Cualquier nivel superior a 100 implica algún riesgo para la salud, entre más grande es el valor del índice, mayor es la contaminación y el riesgo.

Cuadro 2 Valores de IMECA

Categoría	Intervalo	Mensaje	Significado	Recomendaciones
BUENA	0-50	Sin riesgo	La calidad del aire es satisfactoria y existe poco o ningún riesgo para la salud.	Se puede realizar cualquier actividad al aire libre.
REGULAR	51-100	Aceptable	La calidad del aire es aceptable, sin embargo, en el caso de algunos contaminantes, las personas que son inusualmente sensibles, pueden presentar síntomas moderados.	Las personas que son extremadamente sensibles a la contaminación deben considerar limitar los esfuerzos prolongados al aire libre.
MALA	101-150	Dañina a la salud de los grupos sensibles	Quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos en la salud. El público en general.	Los niños, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben limitar los esfuerzos prolongados al aire libre.
MUY MALA	151-200	Dañina a la salud	Todos pueden experimentar efectos en la salud; quienes pertenecen a los grupos sensibles pueden experimentar efectos graves.	Los niños, adultos mayores, personas que realizan actividad física intensa o con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, deben limitar los esfuerzos prolongados al aire libre. La población en general debe limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.
EXTREMADAMENTE MALA	>200	Muy dañina a la salud	Representa una condición de emergencia. Toda la población tiene probabilidades de ser afectada.	La población en general debe suspender los esfuerzos al aire libre.

Fuente: Comisión Ambiental de la Megalópolis, IMECA: Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, 2018

SINAICA

Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire es una serie de programas informáticos que permiten recabar, transmitir y publicar la información de calidad del aire que se genera en las estaciones de monitoreo ubicadas en las diversas entidades federativas que disponen de la infraestructura adecuada para tal tipo de medición. La información proviene de Sistemas de Monitoreo de Calidad del Aire, SMCA, que son manejados por diferentes órdenes de gobierno, estatal y municipal. Las mediciones de calidad del aire de los SMCA se pueden consultar en dos diferentes secciones:

- Datos crudos de calidad del aire y de variables meteorológicas en tiempo real.
- Indicadores de calidad del aire. Ésta sección incluye además la visualización y descarga de los datos históricos validados.

El establecimiento de Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire, SMCA, ha permitido que las autoridades ambientales de la mayoría de las grandes ciudades en el mundo enfrenten la problemática urbana de la contaminación atmosférica. Los SMCA se han convertido en una herramienta que permite conocer, con niveles aceptables de confiabilidad, la calidad del aire con respecto a contaminantes específicos y formular, con base en los datos obtenidos, las estrategias de control y las medidas oportunas y adecuadas para una efectiva gestión ambiental.

A diciembre del año 2017 el INECC tuvo registro de la existencia de 34 SMCA administrados por alguna autoridad gubernamental, ya fuera estatal o municipal. Estos 34 SMCA estuvieron distribuidos en 30 entidades federativas. Quintana Roo y Baja California Sur continúan siendo las únicas entidades de nuestro país que no poseen actualmente un SMCA en su territorio. En su conjunto, estos SMCA agrupan un total de 249 estaciones de monitoreo/muestreo (138 automáticas, 75 manuales y 36 mixtas). Estas 249 estaciones de monitoreo estuvieron repartidas en un total de 103 ciudades y zonas metropolitanas (Figura 3), (INECC, 2018).

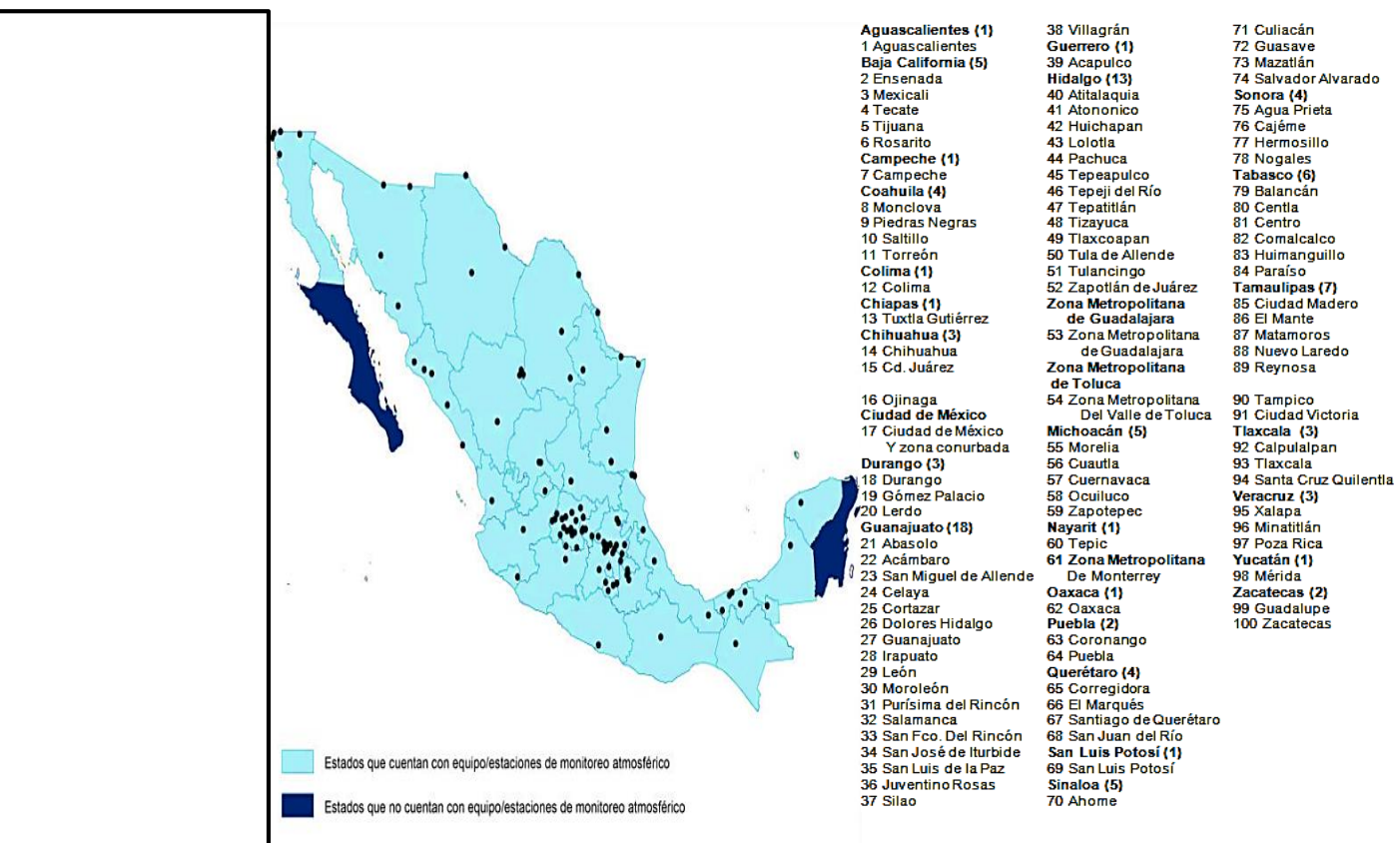


Figura 3 Ciudades y Zonas Metropolitanas de México con Monitoreo de la calidad de aire.

Fuente: INECC, 2018.

CALENTAMIENTO GLOBAL

La sociedad humana avanza en su desarrollo, con la provisión de nuevos y sofisticados productos y servicios para la satisfacción de sus crecientes necesidades, y al propio tiempo se van gestando las condiciones para el surgimiento y desarrollo de un proceso de degradación ambiental (Salvador, A. P. y Salazar, A. L., 2015).

El clima, como característica de la atmósfera, está en constante cambio permitiendo la vida en el planeta, pero los Gases de Efecto Invernadero (GEI) que se encuentran en ésta están provocando que parte del calor del sol que nuestro planeta refleja quede atrapado manteniendo la temperatura media global en $+15^{\circ}\text{C}$, favorable a la vida, en lugar de -18°C , que resultarían nocivos. Los GEI son suficientemente transparentes a la radiación solar visible y calienta su superficie, pero relativamente opacos para la radiación infrarroja que la superficie terrestre remite, al calentarse, hacia el espacio exterior. A mayor concentración de GEI en la atmósfera, mayor la opacidad de ésta ante la radiación infrarroja reflejada y mayor la temperatura promedio de la superficie terrestre. Así, durante muchos millones de años, el efecto invernadero natural mantuvo el clima de la Tierra a una temperatura media relativamente estable que permitía que se desarrollase la vida. Los gases invernadero retenían el calor del sol cerca de la superficie de la Tierra, ayudando a la evaporación del agua superficial para formar las nubes, las cuales devuelven el agua a la Tierra, en un ciclo vital que se había mantenido en equilibrio.

Según las cifras de la ONU, se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1.4 y 5.8°C de aquí al 2100, a pesar que los inviernos son más fríos y violentos. Esto se conoce como Calentamiento Global, estos cambios repercutirán grave mente en el ecosistema y en nuestras economías.

Calentamiento Global es un término utilizado habitualmente en dos sentidos:

1. Es el fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas.
2. Es una teoría que predice, a partir de proyecciones basadas en simulaciones computacionales, un crecimiento futuro de las temperaturas.

Hay una cantidad importante de vapor de agua (humedad, nubes) en la atmósfera terrestre, y el agua es un gas de efecto invernadero. Si la adición de CO_2 a la atmósfera aumenta levemente la temperatura, se espera que más vapor de agua se

evapore desde la superficie de los océanos. El vapor de agua así liberado a la atmósfera aumenta a su vez el efecto invernadero (El vapor de agua es un gas de invernadero más eficiente que el CO₂). A este proceso se le conoce como la retroalimentación del vapor de agua (water vapor feedback en inglés). Es esta retroalimentación la causante de la mayor parte del calentamiento que los modelos de la atmósfera predicen que ocurrirá durante las próximas décadas. La cantidad de vapor de agua así como su distribución vertical son claves en el cálculo de esta retroalimentación. Los procesos que controlan la cantidad de vapor en la atmósfera son complejos de modelar y aquí radica gran parte de la incertidumbre sobre el calentamiento global (Navarro, G. A, 2007).

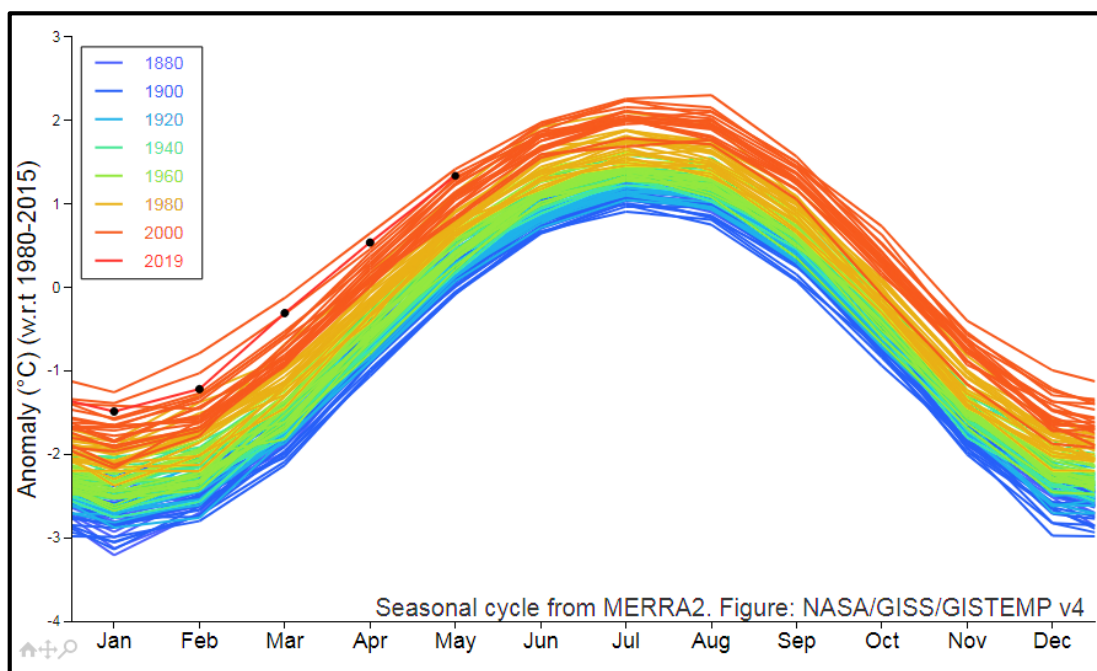


Figura 4 Incremento Global de Temperatura.

Fuente: NASA/ GISS , 2019. Incremento Global de Temperatura.

Este registro de datos, mantenido por el Instituto Goddard de Estudios Espaciales (GISS) de la NASA en la ciudad de Nueva York, es uno de los pocos que conservan las principales instituciones científicas del mundo que hacen un seguimiento de la temperatura de la Tierra y de cómo ha aumentado en las últimas décadas. Este registro de temperatura global ha proporcionado uno de los puntos de referencia más

directos de cómo el clima de nuestro planeta natal ha cambiado a medida que aumentan las concentraciones de gases de efecto invernadero.

El estudio también confirma lo que los investigadores han estado diciendo desde hace algún tiempo: que el aumento de la temperatura global de la Tierra desde 1880 (unos 2° F, o un poco más de 1° C) no se puede explicar por ninguna incertidumbre o error en los datos. En el futuro, esta evaluación les dará a los científicos las herramientas para explicar sus resultados con mayor confianza.

GISTEMP es un índice ampliamente utilizado de la anomalía de la temperatura media global de la superficie: muestra cuánto más caliente o más fría que la superficie normal de la Tierra en un año determinado. "Normal" se define como el promedio durante un período de referencia de 1951-80.

La NASA utiliza GISTEMP en su actualización anual de temperatura global, en asociación con la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. (En 2019, la NASA y NOAA descubrieron que 2018 fue el cuarto año más cálido registrado, con 2016 como el mejor lugar). El índice incluye datos de temperatura de la superficie terrestre y marina hasta 1880, y hoy incorpora mediciones de 6,300 estaciones meteorológicas, investigaciones Estaciones, barcos y boyas alrededor del mundo.

Anteriormente, GISTEMP proporcionaba una estimación de la incertidumbre que explicaba las brechas espaciales entre las estaciones meteorológicas. Al igual que otros registros de temperatura de la superficie, GISTEMP estima las temperaturas entre estaciones meteorológicas utilizando datos de las estaciones más cercanas, un proceso llamado interpolación. La cuantificación de la incertidumbre estadística presente en esas estimaciones ayudó a los investigadores a confiar en que la interpolación era precisa (NASA/ GISS, 2019).

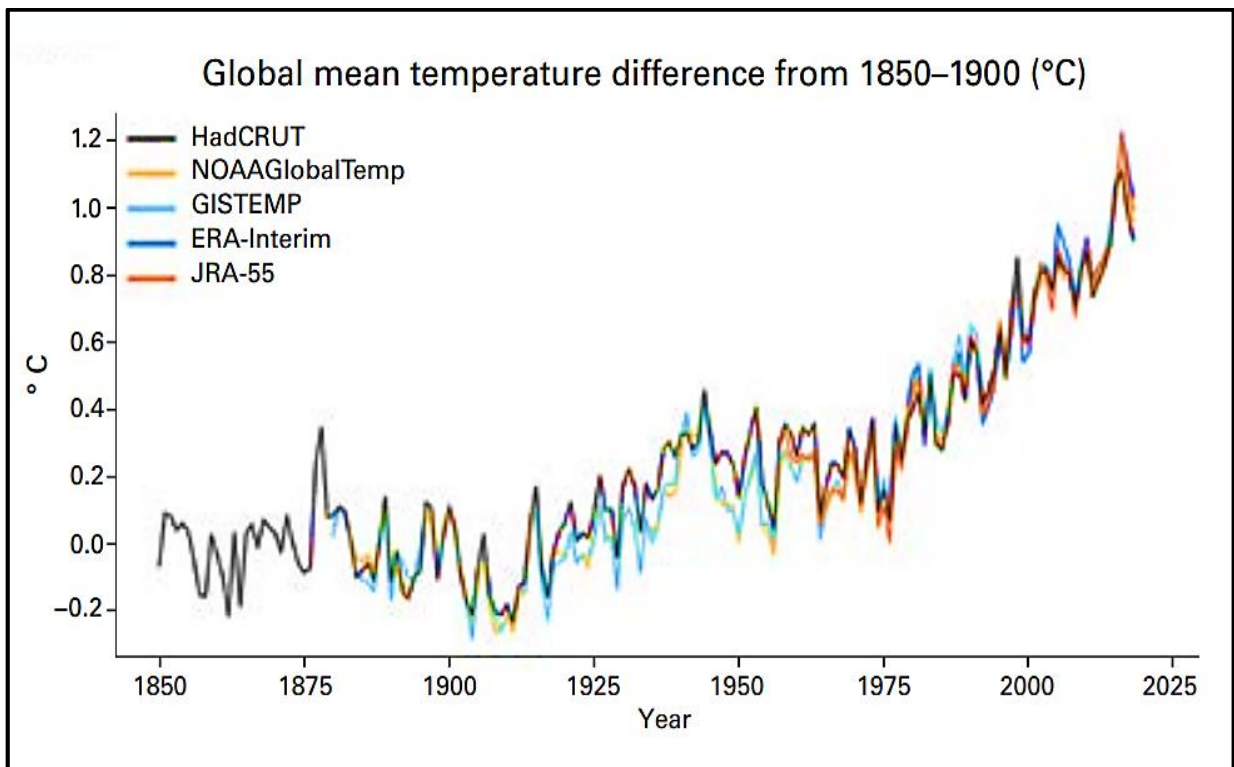


Figura 5 Diferencia Global de Temperatura.

Fuente: WMO, 2019.

La temperatura media global para 2018 se estima en 0.99 ± 0.13 °C por encima de la línea de base preindustrial (1850–1900). El estimado comprende cinco mantenidos independientemente conjuntos de datos de temperatura global y el rango Representa su propagación (Figura 5).

El año 2018 fue el cuarto más cálido en récord y los últimos cuatro años (2015 a 2018) fueron los primeros cuatro años más cálidos en el récord de temperatura global. El año 2018 fue el más genial de los cuatro. En contraste con el dos años más cálidos (2016 y 2017), 2018 comenzó con condiciones débiles de La Niña, típicamente asociado a una menor temperatura global.

El informe especial del IPCC sobre los impactos de calentamiento global de 1.5°C (calentamiento global de 1.5°C) informó que el promedio mundial la temperatura para el período 2006-2015 fue de 0.86°C por encima de la línea de base preindustrial por comparación, la anomalía media por encima de la misma línea de base para la década más reciente 2009-2018 fue de 0.93 ± 0.07 °C, 1 y el promedio de los últimos cinco años, 2014-2018, fue 1.04 ± 0.09 °C por encima de esta línea de base. Ambos

estos periodos incluyen el efecto de calentamiento el fuerte El Niño de 2015-2016. (WMO, 2019).

CAMBIO CLIMATICO Y EFECTOS

Cambio Climático

Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo (INECC, 2017)

La contaminación ambiental por la alteración humana de los flujos naturales de los elementos y compuestos tienen como consecuencia el aumento de las concentraciones de sustancias peligrosas en el aire, el agua y el suelo, provocando la disminución de los recursos alimenticios y un impacto en la biodiversidad (Lizano, O. B., 2013).

El tamaño de la población ha sido una de las fuerzas más frecuentemente citadas para explicar la sobreexplotación de los recursos naturales y la degradación ambiental. No obstante, se reconoce que el crecimiento poblacional per se no es el único factor que determina la fuerza de la presión que se ejerce sobre el ambiente y los recursos naturales. La capacidad económica de consumo de la sociedad tiene también una sobresaliente influencia, así como la eficiencia técnica con la que se usan los recursos para urbanización, el régimen jurídico y la institucionalidad también modifican la dinámica de las causas subyacentes de la presión ambiental. (SEMARNAT, 2016).

Muchas regiones del planeta registran alteraciones en el ciclo hidrológico resultado de cambios en los patrones de precipitación, temperatura y en los balances de los depósitos de hielos de glaciares y otros mantos.

La pérdida de hielo no se limita al contenido en los polos. De acuerdo con un estudio titulado *Global glacier mass changes and their contributions to sea level rise from 1961 to 2016* llevado a cabo por un equipo internacional de científicos liderado por la Universidad de Zurich y publicado en la revista *Nature*, desde 1961 los glaciares de nuestro planeta han perdido más de 9.625 gigatoneladas (9.6 billones de toneladas) de hielo. Todo en un plazo inferior a 50 años, lo que ha provocado un aumento de nivel del mar de 27 milímetros.

Los glaciares de montaña y las enormes extensiones de hielo que podemos encontrar en lugares como Groenlandia y la Antártida. Estos primeros cubren un área de aproximadamente 706,000 km² de territorio a nivel mundial, y con un volumen total estimado de 170,000 km³, tienen el potencial de provocar un aumento el nivel del mar de 0.4 metros.

Los glaciares, los cuales retroceden y adelgazan cada año son todo un icono del cambio climático por el modo en que pueden afectar a la escorrentía regional, es decir, al caudal de agua de los ríos, así como el nivel global de los océanos. De este modo, ya informes anteriores del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, IPCC informaban de cómo se producían estos cambios en la masa en los glaciares. No obstante, estos estudios se basaron en la multiplicación de los resultados promediados o interpolados de las observaciones disponibles de unos pocos cientos de glaciares en el mundo (NATGEO, 2019).

El incremento de la temperatura también ha provocado el deshielo de los suelos congelados (el permafrost) en latitudes altas, lo que además de liberar a la atmósfera grandes cantidades del metano que mantenían acumulado, también afecta negativamente a la vegetación que crece en ellos. (SEMARNAT, 2015)

Los impactos del cambio climático también han alcanzado a los sectores productivos. En la agricultura, el cambio en el clima ha provocado una disminución en el rendimiento de los cultivos de trigo y maíz en muchas regiones y a nivel global (IPCC, 2013). También se ha registrado una reducción en el rendimiento de los cultivos de arroz y la soya, aunque en menor nivel. De seguir esta tendencia, o intensificarse, podría poner en riesgo la seguridad alimentaria de muchos países, o bien, encarecer estos productos a tal nivel que se vuelvan inaccesibles para amplios sectores de la población, pues se tienen documentados incrementos en los precios de alimentos y cereales después de eventos climáticos extremos en las regiones donde se producen (SEMARNAT, 2017).

Efectos del Cambio Climático

Los Arrecifes de Coral

Los corales son muy sensibles a los cambios de temperatura en el agua, en el mar, y viven en una simbiosis con unas algas microscópicas que viven dentro de ellos y les dan energía. Cuando la temperatura sube demasiado, esta simbiosis que da vida y energía al coral se rompe. Y cuando se rompe es como una fiebre en los humanos, el coral está muy estresado, está muy débil y pierde su color y se blanquea. En esta situación el coral puede morir muy fácilmente y vemos que hay muchos corales que cuando se blanquean sobreviven unos días, unas semanas, a lo mejor unos meses, pero en muchos casos pierden la vida.

Los arrecifes de coral también se ven afectados a nivel local por muchas actividades humanas, la pesca excesiva, la pesca destructiva, la contaminación por nutrientes, la sedimentación y desarrollo o modificación costera están degradando y matando a los arrecifes de coral en todo el mundo, y también están reduciendo su capacidad para recuperarse de los eventos de blanqueamiento (ONU, 2019).

Incremento del Nivel del Mar

La elevación del nivel del mar es otro de los efectos conocidos del cambio climático y se ha originado tanto por la expansión de los cuerpos de agua marina al calentarse (los océanos han absorbido alrededor del 90% del calor que se ha adicionado al sistema climático, como por el agua que se derrite de glaciares y otros mantos de hielo y alcanza los mares. Desde inicios de los años setenta estos dos factores han sido responsables del 75% de la elevación observada del nivel medio global del mar. Es importante señalar que el efecto de la expansión oceánica por el calentamiento del agua marina no ha ocurrido en todo el planeta: zonas del Atlántico norte, Pacífico norte y Pacífico ecuatorial se enfriaron en los últimos 50 años, siguiendo un patrón opuesto a la tendencia global de calentamiento (IPCC, 2013).

Erosión y Desertificación

Los suelos sanos son el mayor almacén de carbono terrestre. Cuando se gestionan de manera sostenible, los suelos pueden jugar un papel importante en la mitigación del cambio climático a través del almacenamiento de carbono y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Por el contrario, si los suelos se manejan mal o se cultivan mediante prácticas agrícolas no sostenibles, el carbono del suelo puede liberarse a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO₂), lo que puede contribuir al cambio climático. La conversión constante de pastizales y bosques en tierras de cultivo y de pastoreo durante los últimos siglos ha resultado en pérdidas históricas de carbono en el suelo en todo el mundo.

El cambio climático representa una seria amenaza para la seguridad alimentaria mundial, en buena parte debido a sus efectos sobre los suelos. Los cambios en los patrones de temperatura y de pluviosidad pueden tener un gran impacto en la materia orgánica y los procesos que tienen lugar en nuestros suelos, así como en las plantas y cultivos que crecen en ellos (FAO, 2015).

El suelo es un elemento clave para el mantenimiento de la vida sobre la Tierra. Además de ser el principal soporte de la vegetación, la infraestructura y hábitat de la biodiversidad, es un componente esencial en el funcionamiento de cualquier ecosistema. El suelo, al igual que los bosques, el agua, e incluso los yacimientos minerales, es un recurso finito que forma parte del capital estratégico natural de cualquier país. Sin embargo, a pesar de ser el sostén de muchas de las economías agrícolas del mundo, se encuentra bajo una creciente presión de deterioro derivada tanto del crecimiento poblacional como de los patrones insostenibles de producción y consumo globales (SEMARNAT, 2016).

Deforestación

Los bosques representan una fuente de alimentos, medicinas y combustible para más de mil millones de personas. Además de ayudar a responder al cambio climático y proteger los suelos y el agua, albergan más de tres cuartas partes de la biodiversidad terrestre mundial, proporcionan numerosos productos y servicios que contribuyen al desarrollo socioeconómico y son particularmente importantes para cientos de millones de moradores de las zonas rurales, entre los que se cuentan muchas de las personas más pobres del mundo (FAO, 2018).

Los bosques y selvas juegan un papel de gran importancia no solo para la diversidad biológica de ecosistemas; estas grandes extensiones de terreno funcionan a su vez como un gran regulador de temperatura del planeta ya que tienen la capacidad natural para fijar y absorber el dióxido de carbono (CO₂), un Gas de Efecto Invernadero (GEI) generado por diferentes actividades del hombre como los procesos industriales, el uso indiscriminado de combustibles fósiles (petróleo, gas y sus derivados como la gasolina), la pérdida y quema de los bosques y selvas, entre otros (CONAFOR, 2017).

.- Los Bosques y la Mitigación al Cambio Climático

Los ecosistemas forestales tienen la capacidad de disminuir el efecto invernadero a través de dos procesos relacionados al ciclo del carbono, la fijación o captura de carbono y la reducción de emisiones debidas a la deforestación y degradación forestal.

Los bosques durante su crecimiento absorben el CO₂ de la atmósfera y lo convierten en carbono que se almacena en su tronco, raíces y hojas. Adicionalmente queda carbono almacenado en el suelo, en la materia orgánica al ras del suelo (hojarasca) y en los árboles muertos.

Este proceso en el que los bosques capturan carbono de la atmósfera contribuye a la mitigación del cambio climático. Un bosque que crece está catalogado como un sumidero de carbono.

De forma inversa con la destrucción de un bosque o su degradación se libera hacia la atmósfera el carbono que alguna vez fue almacenado, contribuyendo a agravar el problema del cambio climático. Se estima a nivel mundial que el cambio de uso de suelo es una de las fuentes más importantes de GEI.

.- Bosques y la Adaptación al Cambio Climático

La adaptación se refiere a los ajustes en sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales. Es la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático.

En este sentido, los bosques juegan un papel importante en la adaptación al cambio climático ya que nos proveen importantes servicios ambientales, entre los que se encuentran: zonas de hábitats y refugios para la biodiversidad, alimento y materias primas y pueden funcionar como barreras contra desastres naturales.

El desarrollo de estas medidas preventivas y reactivas en el sector forestal contribuye a poner en práctica un manejo sustentable de los bosques que contribuirá a reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica en una amplia variedad de condiciones climáticas futuras (CONAFOR, 2017).

Entre 1990 y 2015, la superficie forestal del planeta disminuyó del 31.6% de la superficie terrestre mundial al 30.6%, pero el ritmo de pérdida se ha ralentizado en los últimos años. Esta pérdida tiene lugar principalmente en países en desarrollo, en particular en el África subsahariana, América Latina y Asia sudoriental (FAO, 2018).

En nuestro país datos del año acumulados del 01 de enero al 16 de mayo de 2019. En lo que va del año, se han registrado 5,106 incendios forestales en 32 entidades federativas, afectando una superficie de 242,485 hectáreas, De esta superficie, el 94% correspondió a vegetación en los estratos herbáceo y arbustivo y el 6% a arbóreo. Las entidades federativas con mayor número de incendios fueron: México, Michoacán, Ciudad de México, Puebla, Chiapas, Tlaxcala, Jalisco, Chihuahua, Oaxaca y Veracruz, que representan el 80% del total nacional. Las entidades federativas con mayor superficie afectada fueron: Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Puebla, Durango, Campeche, Michoacán y México, que representan el 73% del total nacional (CONAFOR, 2019).

Extinción de Especies

La pérdida de la biodiversidad es uno de los problemas ambientales más importantes que enfrenta la humanidad hoy día. Las actividades humanas han alterado radicalmente la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas lo que, en algunos casos, han provocado que muchas especies estén ahora en peligro de extinción y estén comprometidos diversos servicios ambientales que proveen los ecosistemas. Para muchos países, incluido México, la pérdida de biodiversidad cobra mayor relevancia debido a que es considerado como uno de los centros de diversidad biológica más importantes del planeta: forma parte del grupo de los 15 países megadiversos que concentran en conjunto entre el 60 y 70% de la biodiversidad global. (SEMARNAT, 2016)

Desde que la vida surgió en la Tierra, su fauna se ha transformado en muchas ocasiones. Durante miles de años y por diversas razones, se han producido 5 grandes extinciones de las especies que han poblado la Tierra: son las conocidas como las 5 extinciones masivas. En la actualidad, y debido a la acción de los seres humanos, el planeta está al borde de los que los científicos denominan la Sexta Gran Extinción. Según datos de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, el organismo internacional con mayor potestad sobre el problema, aproximadamente 5,200 especies de animales se encuentran en peligro de extinción en la actualidad. Además, en un desglose por clase, se encuentran en peligro de extinción el 11% de las aves, el 20% de los reptiles, el 34% de los peces y 25% de los anfibios y mamíferos (NATGEO, 2019).

La extinción de especies es igual de peligrosa que el calentamiento global, pero más urgente.” Aquí hablamos del único problema ambiental verdaderamente irreversible, pues el cambio climático se estabilizará en mil o 10 mil años, y con el plástico igual. Sin embargo, ninguna especie perdida regresará y los efectos de su partida erosionarán la capacidad de la Tierra de mantener vida (la humanidad incluida). Eso nos debería preocupar (Páramo y Medina, 2019)

Escasez de agua

El clima y el ciclo hidrológico están estrechamente vinculados; de tal manera que el incremento de temperatura y la variación en la precipitación esperados en los escenarios más probables de cambio climático tendrá un impacto importante en la disponibilidad de los recursos hídricos del mundo en general y de México en particular. Las variaciones de temperatura, nivel del mar y deshielo observado y registrado en las últimas décadas en el hemisferio norte, y en particular en el trópico de cáncer, en el que se ubica México, confirman su alta vulnerabilidad ante el cambio climático.

A escala global se prevé que los efectos del cambio climático en los recursos hídricos serán extensos, pero de diferente signo de una región a otra, conforme a la latitud, altitud y condiciones orográficas. En algunas regiones del planeta ya se registran los primeros síntomas de afectación en los recursos hídricos. En general, en las latitudes altas se espera un incremento de la precipitación y el escurrimiento, lo que podría incrementar la oferta de agua en esas regiones. En latitudes medias y zonas subtropicales (en las que se ubica el territorio mexicano), al contrario, se prevén importantes disminuciones en la precipitación y el escurrimiento, lo que ocasionará un

incremento en las condiciones de escasez y mayor presión sobre los recursos hídricos en esas regiones (Austria y Gómez, 2012).

Eventos Meteorológicos Extremos

Entre los posibles efectos del cambio climático están la variación en la frecuencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, como los ciclones y las sequías. Éstos pueden tener impactos sociales, económicos y ambientales muy importantes sobre las regiones en las que ocurren, e incluso sobre aquellas que dependen de los recursos o bienes producidos en las zonas de impacto. México, por su ubicación geográfica, condición climática y características socioeconómicas de la población, es particularmente vulnerable a estos fenómenos (SEMARNAT, 2015).

.- Ciclones

Entre los posibles efectos del cambio climático están la variación en la frecuencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, como los ciclones y las sequías. Éstos pueden tener impactos sociales, económicos y ambientales muy importantes sobre las regiones en las que ocurren, e incluso sobre aquellas que dependen de los recursos o bienes producidos en las zonas de impacto. México, por su ubicación geográfica, condición climática y características socioeconómicas de la población, es particularmente vulnerable a estos fenómenos (SEMARNAT, 2015).

De acuerdo a la WMO, 2019 (Organización Meteorológica Mundial), las proyecciones sobre el cambio climático indican una disminución mundial del número de ciclones y tormentas tropicales. Sin embargo, se prevé que puedan aumentar su intensidad máxima y las precipitaciones asociadas.

.- Tornados

Los tornados son perturbaciones atmosféricas que se forman por el choque de masas de aire con diferente densidad, temperatura, humedad y velocidad. La velocidad del viento generada por un tornado oscila, por lo general, entre los 60 y los 420 kilómetros por hora y su duración puede ser de minutos y en casos excepcionales de varias horas. En algunos casos, las consecuencias de los daños que causan a viviendas e infraestructura pueden ser muy significativas.

En el periodo de 2000 a 2014 se registraron 253 tornados en todo el país, según datos del investigador Macías Medrano, quien coordina la Comisión Interinstitucional para el Análisis de Tornados y Tormentas Severas (CIATTS), creada a raíz del tornado de Piedras Negras, Coahuila, ocurrido en 2007 y a iniciativa de la Coordinación General de Protección Civil y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de la Secretaría de Gobernación (CENAPRED, 2014; Ciencia UANL, 2017).

.- Sequías

A diferencia de la aridez, que puede ser una condición natural de una región, la sequía se considera como una condición climática temporal, en la cual el nivel de la precipitación es significativamente menor a la normal, lo que puede ocasionar serios desequilibrios hidrológicos que afectan negativamente a los sistemas ecológicos y productivos. Entre sus efectos más importantes pueden mencionarse la pérdida de la productividad de las tierras y de la provisión de servicios ambientales de los ecosistemas afectados (con sus importantes consecuencias económicas y sociales).

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), a partir de 1970 se han registrado sequías más intensas y largas en los trópicos y subtropicales (IPCC, 2014). En México, durante el siglo XX se registraron cuatro grandes periodos de sequía: 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996, así como una sequía severa en 1998, los cuales afectaron principalmente a los estados del norte del país (CENAPRED, SEGOB, 2001). Recientemente se presentaron severos periodos de sequía entre 2000 y 2003, en 2006, entre 2007 y 2008, en 2009 y entre 2010 y 2012. En mayo de 2011, más del 90% de la superficie del país se consideraba afectada por la sequía. En 2014 y 2015 el porcentaje de superficie afectada fue menor al 50% de la superficie nacional (SEMARNAT, 2015).

DATOS DE GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC)

- **Entre 1880 y 2012, la temperatura media mundial aumentó 0.85°C.** Esto quiere decir que por cada grado que aumenta la temperatura, la producción de cereales se reduce un 5% aproximadamente. Se ha producido una reducción significativa en la producción de maíz, trigo y otros cultivos importantes, de 40 megatonnes anuales a nivel mundial entre 1981 y 2002 debido a un clima más cálido
- **Los océanos se han calentado, la cantidad de nieve y de hielo ha disminuido, y ha subido el nivel del mar.** Entre 1901 y 2010, el nivel medio del mar aumentó 19 cm, pues los océanos se expandieron debido al calentamiento y al deshielo. La extensión del hielo marino del Ártico se ha reducido en los últimos decenios desde 1979, con una pérdida de hielo de 1.07 millones de km² cada decenio
- **Dada la actual concentración y las continuas emisiones de gases de efecto invernadero, es probable que a finales de siglo el incremento de la temperatura mundial supere los 1.5°C en comparación con el período comprendido entre 1850 y 1900 en todos los escenarios menos en uno.** Los océanos del mundo seguirán calentándose y continuará el deshielo. Se prevé una elevación media del nivel del mar de entre 24 y 30 cm para 2065 y entre 40 y 63 cm para 2100. La mayor parte de las cuestiones relacionadas con el cambio climático persistirán durante muchos siglos, a pesar de que se frenen las emisiones
- Las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO₂) han aumentado casi un 50% desde 1990
- Entre 2000 y 2010 se produjo un incremento de las emisiones mayor que en las tres décadas anteriores
- Si se adopta una amplia gama de medidas tecnológicas y cambios en el comportamiento, aún es posible limitar el aumento de la temperatura media mundial a 2°C por encima de los niveles preindustriales
- Gracias a los grandes cambios institucionales y tecnológicos se dispondrá de una oportunidad mayor que nunca para que el calentamiento del planeta no supere este umbral (ONU, 2018).

MEDIDAS PREVENTIVAS

Contaminación del Aire

1. Formular políticas y estrategias de la calidad del aire a nivel subnacional, nacional y regional para cumplir las directrices sobre la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud

2. Invertir en las redes de vigilancia de la calidad del aire, los sistemas de evaluación, la capacidad institucional y la divulgación de información al público en general para corregir las deficiencias en materia de capacidad, datos, información y concienciación

3. Reducir las emisiones procedentes de fuentes industriales y manufactureras de importancia

4. Establecer y aplicar normas avanzadas sobre emisiones de los vehículos

5. Idear vehículos híbridos y eléctricos e implantar su uso

6. Facilitar el acceso al transporte público y a la infraestructura de transporte no motorizado en las ciudades

7. Aumentar las inversiones en energía renovable y eficiencia energética

8. Mejorar el acceso a combustibles de cocina no contaminantes y a tecnologías ecológicas para la calefacción residencial

9. Proteger y restaurar los ecosistemas para evitar la erosión, los incendios y las tormentas de polvo

10. Reducir las emisiones de metano y amonio procedentes de la agricultura

11. Designar y ampliar espacios verdes en las zonas urbanas

12. Mejorar las actividades gubernamentales y empresariales en relación con el cambio climático para luchar mejor contra la contaminación local y regional

Contaminación del Agua

13. Aumentar el tratamiento, el reciclaje y la reutilización de las aguas residuales para reducir al menos a la mitad el vertido de aguas residuales sin tratar a las masas de agua dulce antes de 2030

14. Adoptar y aplicar directrices nacionales para la gestión de los ecosistemas de agua dulce a fin de proteger y restaurar los humedales y otros sistemas naturales que contribuyen a la purificación del agua

15. Implantar, mejorar y armonizar sistemas de vigilancia (in situ) de la calidad y la cantidad (caudal) de las aguas superficiales y subterráneas

16. Definir normas nacionales sobre las masas de agua para ofrecer un panorama actual de la calidad de los recursos hídricos disponibles y determinar las oportunidades y los riesgos en relación con la salud de las personas y los ecosistemas

17. Mejorar la reunión y el intercambio de datos, crear capacidad para el control y la garantía de calidad de los datos y divulgar la información sobre la calidad del agua

18. Universalizar el acceso al agua potable y el saneamiento antes de 2030

Contaminación del Suelo

19. Adoptar prácticas agroecológicas, implantar la gestión integrada de las plagas y establecer directrices para la reducción y el uso eficiente de fertilizantes y plaguicidas inocuos para el medioambiente en la agricultura

20. Reducir los contaminantes de fuentes puntuales, como los metales pesados procedentes de la industria, y los contaminantes de fuentes difusas, como los plaguicidas y los fertilizantes usados de manera ineficiente en la agricultura.

21. Reducir el uso de los antimicrobianos, en especial los antibióticos utilizados en el sector de la ganadería, para evitar las liberaciones no intencionales en el medioambiente y la cadena alimentaria, e intensificar la sensibilización del público y la colaboración internacional en la investigación y el desarrollo de productos

22. Invertir en el fomento de los conocimientos de todos los actores relacionados con el diseño, la construcción, el funcionamiento y la clausura de presas de retención de desechos de minería

23. Rehabilitación de los sitios contaminados

24. Invertir en la vigilancia sistemática del medioambiente a largo plazo tras las clausuras de plantas industriales

Contaminación Marina y Costera

25. No descargar aguas residuales sin tratar y reducir la afluencia excesiva al medio marino de nutrientes por escorrentía procedentes de la agricultura

26. Restaurar y conservar los ecosistemas y los humedales costeros para reducir la afluencia excesiva de nutrientes y otros contaminantes como los metales pesados a los medios costeros y marinos

27. Prevenir y reducir la basura marina, incluidos los microplásticos, y armonizar los métodos de vigilancia y evaluación para facilitar el establecimiento de metas de reducción

28. Reducir o eliminar el uso de ciertos tipos de plástico (por ejemplo, microgránulos, embalaje, plásticos de uso único) y promover su recuperación

29. Elaborar marcos de gobernanza y estrategias eficientes para prevenir y reducir al mínimo la generación de basura plástica marina, en especial la procedente de fuentes terrestres, y hacer que los productores se responsabilicen más del diseño sostenible, la recuperación, el reciclaje y la eliminación ambientalmente racional de sus productos

30. Regular las fugas de desechos radiactivos al mar

31. Establecer sistemas de recogida de desechos en las zonas costeras y programas de vigilancia sistemática de la basura marina que sirvan de fundamento a las intervenciones preliminares

Productos Químicos y Desechos

32. Adoptar una gestión racional de los productos químicos y promover la integración de la química sostenible en los enfoques, las políticas y las prácticas empresariales

33. Reforzar la aplicación de las normas vigentes que regulan los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos, en especial las corrientes de desechos tóxicos de los países desarrollados a los países en desarrollo

34. Intensificar la labor de implantación de alternativas locales seguras, eficaces, asequibles y ambientalmente racionales a los productos químicos de interés, como el DDT (diclorodifeniltricloroetano), los PCB (bifenilos policlorados), el asbesto, el plomo y el mercurio

35. Acelerar la aplicación de los Convenios de Basilea, Estocolmo y Róterdam, el Convenio de Minamata y el Enfoque Estratégico para la Gestión de los Productos Químicos a Nivel Internacional de manera coordinada en el plano nacional

36. Establecer y fortalecer los registros de emisiones y transferencia de contaminantes para cuantificar los progresos y suministrar datos de referencia sobre las emisiones de productos químicos

37. Facilitar información fiable y eficaz sobre los efectos de los productos de consumo durante todo su ciclo de vida

38. Introducir sistemas de etiquetado ecológicos

39. Introducir programas de responsabilidad de los fabricantes para la recogida, el tratamiento y el reciclaje en condiciones de seguridad de los desechos de la producción y el consumo

40. Fomentar los conocimientos relativos a las sustancias químicas presentes en los productos durante todo su ciclo de vida (producción, uso, consumo y eliminación)

41. Ampliar la vida útil de los productos

42. Reducir la exposición al plomo derivada del reciclaje de baterías, la cerámica, las municiones, la pintura y los sitios contaminados

43. Eliminar el uso del mercurio en una serie de productos específicos antes de 2020 y en los procesos de fabricación antes de 2025, y reducirlo en las amalgamas dentales y la minería

44. Eliminar la producción y el uso del asbesto y velar por su eliminación racional

45. Acelerar el proceso de eliminación de los PCB (bifenilos policlorados) a fin de cumplir con los plazos fijados por el Convenio de Estocolmo para la eliminación de esas sustancias antes de 2025 y su erradicación completa antes de 2028

46. Divulgar más información sobre la presencia de productos químicos en el medioambiente, en los seres humanos y en los focos de contaminación, y seguir de cerca los datos al respecto

47. Reducir al mínimo la generación de desechos y mejorar su recogida, separación, reutilización, reciclaje, recuperación y eliminación definitiva mediante la formulación y aplicación de marcos normativos y reglamentos a nivel nacional y subnacional

48. Eliminar la descarga incontrolada y la quema a cielo abierto de desechos

49. Aumentar la recuperación de materiales y energía de los desechos, en especial mediante el reciclaje

50. Reducir el desperdicio de alimentos en las cadenas de valor, en especial con respecto a los consumidores (UNEP, 2017).

CONCLUSIONES

Las actividades productivas se han intensificado globalmente como consecuencia de una presión social que incrementa sus necesidades con patrones de consumo cada vez más demandantes, explotando los recursos naturales, devastando el medio ambiente y originando el incremento de las concentraciones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero que conlleva a un calentamiento de la

atmósfera, teniendo como resultado un cambio climático; con efectos negativos a nivel global como el incremento exponencialmente la temperatura, creando el deshielo de los polos, aumento en el nivel del mar, sequías e inundaciones en diferentes regiones antes registradas, problemas de disponibilidad y contaminación de agua, extinción masiva de especies y millones de defunciones a nivel mundial.

Todos los sectores de la sociedad tienen un papel que desempeñar, los Gobiernos deben invertir en infraestructura ecológica, establecer normas y programas eficientes y estrictos que permita realmente prevenir contingencias y problemas ambientales; Las empresas deben integrar sistemáticamente la sostenibilidad en sus estrategias básicas e idear soluciones innovadoras para atender las necesidades de los consumidores haciendo un uso menos intensivo de los recursos. La sociedad bajar la demanda del consumismo, sensibilizarse, concientizar e involucrarse en los programas ambientales de cada región.

Algunas respuestas al problema del cambio climático han tenido éxito, pero adolecen de limitaciones en cuanto a alcance, escala y eficacia. Muchos acuerdos ambientales multilaterales sobre el medio ambiente no son tan eficaces como deberían serlo debido a la falta de capacidad institucional o recursos, es necesario el tomar medidas drásticas para poder lograr los objetivos de sustentabilidad.

LITERATURA CITADA

Arcos Navarro, G. (2007). Calentamiento global. CienciaUAT, 2 (2), 10-14.

Arriaga, Amado López, Solís, Luz María. (2003). Principios básicos de la contaminación ambiental. Primer Edición. Universidad Autónoma del Estado de México. 397p.

- CAME.** (Comisión Ambiental de la Megalópolis). 2018 IMECA: Índice METropolitano de la Calidad del Aire. <https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/imeca-indice-metropolitano-de-la-calidad-del-aire?idiom=es>
- COFEPRIS.** Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). 2017. Antecedentes (aire ambiente). <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/antecedentes-aire-ambiente>
- CONAFOR.** (COMISIÓN NACIONAL FORESTAL). 2019. PROGRAMA DE MANEJO DEL FUEGO. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/464834/PROGRAMA_DE_MANEJO_DEL_FUEGO_2019.pdf
- CONAFOR.** 2017. Bosques y Cambio Climático. <https://www.gob.mx/conafor/documentos/bosques-y-cambio-climatico-23762>
- DOF** (Diario Oficial de la Federación) 1994a. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993. Publicada en el Diario Oficial de la Federación en 1994.
- DOF** (Diario Oficial de la Federación) 1994b. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1994. Publicada en el Diario Oficial de la Federación en 1994.
- DOF** (Diario Oficial de la Federación) 2010. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-210. Publicada en el Diario Oficial de la Federación en 2010.
- DOF** (Diario Oficial de la Federación) 2014. Secretaría de Salud. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014. Publicada en el Diario Oficial de la Federación en 2014.
- DOF** (Diario Oficial de la Federación) 2014b. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014. Publicada en el Diario Oficial de la Federación en 2014.
- DOF** (Diario Oficial de la Federación), 2014b. Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014.
- FAO.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015. Los suelos ayudan a combatir y adaptarse al cambio climático. <http://www.fao.org/3/a-i4737s.pdf>

- FAO.** 2018. El estado de los bosques del mundo. Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <http://www.fao.org/state-of-forests/es/>
- GISTEMP** Team, 2019: *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), versión 4*. Instituto Goddard de la NASA para Estudios Espaciales. <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- González Héctor J.** 2015. Introducción a la contaminación atmosférica. Ediciones U.C. 528p.
- Inche** Jorge L. (2004). Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones. Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial-UNMSM. Lima. 118p.
- INECC.** (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2017. Informe Nacional de Calidad del Aire 2016, México. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación sobre la Calidad del Aire y los Contaminantes Climáticos. Ciudad de México. <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/Informe2016.pdf>
- INECC.** (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2018. Informe Nacional de Calidad del Aire 2017, México. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos. Ciudad de México. <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/Informe2017.pdf>
- INECC.** (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). 2019. Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). <https://sinaica.inecc.gob.mx/>
- IPCC** (Intergovernmental Panel of Climate Change). 2007. Climate change 2007: Synthesis report. Summary for policymakers.
- IPCC,** 2013: *Cambio climático 2013: La base de la ciencia física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático* [Stocker, TF, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, SK Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y PM Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU., 1535 pp.
- Martínez** Jessica Y. Flores. (2017). Incidencia de Tornados. . Revista de divulgación Científica tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://cienciauanl.uanl.mx/?p=4132>

- Mariano** Seoáñez Calvo. (2002). Tratado de la Contaminación Atmosférica; problemas, tratamiento y gestión. México: Mundi-prensa. 1111p.
- Martínez** Austria, Polioptro F., & Patiño-Gómez, Carlos. (2012). Efectos del cambio climático en la disponibilidad de agua en México. Tecnología y ciencias del agua, 3(1), Pp. 5-20.
- Molina**, M., Sarukhán, J., Carabias, J., (2017). El cambio climático: Causas, efectos y soluciones. Primera Edición. Ed. Fondo de Cultura Económica. México. 222p.
- Morales**, Raúl, G.E., 2006. Contaminación atmosférica urbana. Episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago. Primera Edición. Ed. Universitaria, S.A. Santiago de Chile. 327p.
- NATGEO**. 2019. Así afecta el cambio climático al agua del planeta. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/asi-afecta-el-cambio-climatico-al-agua-del-planeta_9947
- NATGEO**. 2019. Brian Clark Howard. Declaran la extinción de la primera especie de mamífero por consecuencia del cambio climático. <https://www.nationalgeographic.com/animales/2019/02/declaran-la-extincion-de-la-primera-especie-de-mamifero-por-el-cambio-climatico>
- NATGEO**. 2019. Héctor Rodríguez. Animales en peligro de Extinción. https://www.nationalgeographic.com.es/naturaleza/grandes-reportajes/animales-peligro-extincion_12536
- NATGEO**, NATIONAL GEOGRAPHIC ESPAÑA. 2019. Los glaciares han perdido 9.6 billones de toneladas de hielo en 50 años. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/glaciares-han-perdido-96-billones-toneladas-hielo-50-anos_14140
- ONU** (2018). Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- ONU** (2019) | Comunicado de prensa: La declinación peligrosa de la naturaleza sin precedentes; Tasas de extinción de especies acelerando. <https://www.unenvironment.org/es/news-and-stories/comunicado-de-prensa/la-naturaleza-esta-en-un-declive-peligroso-y-sin-precedentes>
- ONU**. 2018. Contaminación del aire de interiores y salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>

- ONU.** 2019. Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático. <https://www.un.org/es/climatechange/cities-pollution.shtml>
- ONU.** 2019. SIN CONTAMINACIÓN DEL AIRE. <https://www.worldenvironmentday.global/es/sabias-que/tipos-de-contaminacion-del-aire#household>
- ONU.** (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS). NEWS. 2019. Laura Quiñones, Gabriel Grimsditch. Estamos hirviendo vivos los arrecifes de coral. <https://news.un.org/es/story/2019/01/1449332>
- OMS** (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD). 2018. OMS | Calidad del aire y salud. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Páramo Omar y Medina Francisco.** U.N.A.M. 2019. Vital poner freno al crecimiento poblacional. <http://www.unamglobal.unam.mx/?p=65905>
- Perales Salvador, Arturo, Lastiri Salazar, Angélica.** 2015. Globalización, calentamiento global y refugiados. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263139243047>
- SEMARNAT** (2018). Fuentes de Contaminación Atmosférica. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/fuentes-de-contaminacion-atmosferica>
- SEMARNAT.** 2010. Compendio de Estadísticas ambientales. Glosario. Atmósfera. http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet8999.html
- SEMARNAT.** 2013. Calidad del aire: una práctica de vida. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>
- SEMARNAT.** 2016. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. SEMARNAT. México.
- SEMARNAT.** 2016. Resumen Ejecutivo. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. SEMARNAT. México.
- SEMARNAT.** 2017. Informe del Medio Ambiente. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap5.html#tema2>

- UNEP** (2017). Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Hacia un planeta sin contaminación.
<https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1708350s.pdf>
- Venegas** Laura E. y Mazzeo, Nicolás .2015. LA VELOCIDAD DEL VIENTO Y LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ATMÓSFERA. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
<http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/cliv2/public/actas%20congreso/15.Venegas.CLIV2.pdf>
- WMO** (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL), 2019. Según la Organización Meteorológica Mundial, los ciclones de Mozambique son una llamada de atención. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/seg%C3%BAAn-la-organizaci%C3%B3n-meteorol%C3%B3gica-mundial-los-ciclones-de-mozambique>
- WMO** (World Meteorological Organization). 2019. Statement on the State of the Global Climate in 2018. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5789