

7. Estrategias para combatir la contaminación ambiental y el cambio climático

RAMIRO CADENA URIBE*

GABRIEL DE LAS NIEVES SÁNCHEZ GUERRERO**

HERIBERTO NICCOLAS MORALES***

Resumen

La falta de una política global mundial, capaz de establecer las estrategias generales, de manera responsable y con autoridad, para controlar la contaminación del aire, agua y suelo, así como el control de pruebas que afecten los ecosistemas, ha sido la causa fundamental de un crecimiento desarrollista en el que prevalece el beneficio económico a corto plazo.

Entre las acciones que han degradado paulatinamente al planeta se encuentran: operación de sistemas de producción sin control de sus desechos sólidos, líquidos y gaseosos; el consumo de energía primaria basado en la quema de hidrocarburos, con la consecuente emisión de bióxido de carbono; la explotación irracional del capital natural; y la realización de pruebas nucleares, químicas y biológicas para la destrucción. Esto se refleja en los desajustes de la naturaleza que propicia fenómenos que ponen en riesgo a la humanidad, cambios en los climas naturales que afectan el hábitat del reino vegetal y animal, huracanes, tornados y movimientos telúricos oscilatorios y trepidatorios.

* Maestro en Estudios de Población, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4745-6198>

** Doctor en Ingeniería (Ingeniería de Sistemas) y Maestro en Ingeniería (Planeación), Universidad Nacional Autónoma de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3471-2597>

*** Doctor en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México. Maestro en Ingeniería (Planeación), Universidad Nacional Autónoma de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6402-121X>

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la situación actual del medio ambiente, las causas de su degradación, así como visualizar posibles tendencias y consecuencias. La metodología de investigación utilizada contempló la revisión de informes de organismos internacionales y estudios previos que tratan la situación ambiental actual y sus causas considerando factores socioeconómicos y políticos; la recopilación de datos cuantitativos y cualitativos, y el uso del diagrama de causa-efecto como herramienta de análisis multicausal. Se proponen posibles estrategias para detener, reducir y controlar esta problemática.

Palabras clave: *estrategia, crisis ambiental, salud, desarrollo sostenible, diagrama causa-efecto.*

Introducción

La determinación de las estrategias para detener la contaminación ambiental y el cambio climático deben considerar una investigación histórica para conocer los antecedentes y las causas de la situación actual, comprenderla, conocer su estructura y naturaleza, así como sus causas y consecuencias a corto, mediano y largo plazo.

El objetivo de este trabajo es diseñar estrategias, que sirvan como propuestas y punto de partida, para combatir la contaminación ambiental y que ayuden a reducir el cambio climático, mediante el análisis de las causas para poder establecer las posibles rutas de acción a corto, mediano y largo plazo en beneficio de la humanidad. El trabajo de análisis que sirve de base para el diseño de las estrategias se realizó con apoyo del diagrama causa-efecto.

Inicialmente se plantea un panorama internacional del grado de contaminación ambiental y de los efectos en el cambio climático, y se analiza su relación con determinados fenómenos meteorológicos que afectan a la humanidad. Asimismo, se analiza la situación nacional en lo particular para considerar la magnitud del problema y los daños que ha causado a la población. A partir de los datos investigados y la información generada se aportan posibles estrategias para combatir, reducir y eliminar el problema, hasta el punto de su control total y eliminación. Finalmente, se exponen las con-

clusiones de la investigación realizada con un panorama respecto a las estrategias que pudieran contribuir a vivir en armonía con la naturaleza y con el desarrollo.

Antecedentes

Desde sus inicios la Tierra ha tenido cambios climáticos como parte de una transformación permanente durante siglos y hasta nuestros tiempos. En la actualidad estos fenómenos o cambios graduales continúan teniendo lugar, aún cuando estos no siempre permitieron la vida de los reinos vegetales y animales o de la humanidad (Universidad de Burgos, 2020). Algunos ejemplos son los cambios en las trayectorias orbitales en torno al sol, la inclinación de eje terráqueo, la restructuración de las placas tectónicas, la modificación de masas continentales, el vulcanismo o la caída de asteroides.

La variabilidad natural dentro del mismo sistema climático no provoca cambios en el balance radiactivo de la atmósfera. Más bien, es el resultado de la interacción dinámica entre la atmósfera y el océano en escalas temporales de años a décadas. Los fenómenos más conocidos de esta variabilidad interna son la circulación termohalina y ENSO, el *Niño*. Los años en los que se produce el *Niño* corresponden con temperaturas globales por encima de la media. La dinámica que afecta el clima incluye la orogénesis o formación de montañas, la tectónica de placas, el vulcanismo y los cambios biológicos a largo plazo, como la evolución de las plantas terrestres. La tectónica de placas, junto a la erosión, puede contribuir, mediante el ciclo geoquímico carbonato-silicato, a la absorción de CO₂, disminuyendo la cantidad de gases de efecto invernadero y la temperatura global. El vulcanismo masivo y constante regresa a la atmósfera el dióxido de carbono secuestrado en el manto por los procesos de subducción. Estos procesos actúan en periodos geológicos que van de decenas de miles a varios millones de años.

Marco teórico

Capital natural. Es el inventario de recursos naturales renovables y no renovables que tiene una región determinada, un estado o un país, como plantas, animales, aire, agua, suelo, minerales e hidrocarburos que, combinados, proveen beneficios a la población. Son el capital de la naturaleza.

Medio ambiente. Es el conjunto de todos los componentes vivos y los abióticos que rodean a un organismo o un grupo de organismos. Comprende componentes físicos como aire, temperatura, relieve, suelos y cuerpos de agua, así como componentes vivos, plantas, animales y microorganismos.

Ecosistemas. Son los elementos incluidos en el medio ambiente, son parte de un sistema de procesos que los relaciona entre sí para un objetivo. Son un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y microorganismos y el medio ambiente no viviente interactuando como una unidad funcional. Los seres humanos son una parte integral de los ecosistemas.

Clima. Son las condiciones meteorológicas medias que caracterizan a un lugar o una región determinada. Es una medida del tiempo atmosférico, a partir de estadísticas de largo plazo, con base en un sistema base de referencia. Los elementos meteorológicos que hay que tomar en cuenta son la temperatura, la presión, el viento, la humedad y la precipitación.

Medio ambiente construido. Son los elementos y los procesos realizados por el ser humano para recuperar las propiedades, la naturaleza y la estructura del medio ambiente. Son todos los factores externos, las condiciones y las influencias que afectan a un organismo o a una comunidad, factores propios como el vulcanismo o el impacto de meteoritos.

Impactos humanos sobre los ecosistemas. La industrialización, el crecimiento demográfico, y la gestión no sostenible de los recursos naturales han debilitado muchos ecosistemas, en algunos casos más allá de los límites de su reparación. No obstante, los ecosistemas dañados pueden ser rehabilitados, pues existen alternativas para atender las necesidades humanas de recursos sin destruir los ecosistemas que los proveen. Restaurar un ecosistema requiere un tiempo mayor que para degradarlo, ya que una vez que la capacidad de carga de un ecosistema se ha visto superada, puede tomar generaciones para regenerarse. En algunos casos es irreversible.

Cambio climático. Es la variación del estado del sistema climático terrestre conformado por la atmósfera, la hidrósfera, la criósfera, la litósfera y la biósfera, que perdura durante periodos muy largos hasta alcanzar un nuevo equilibrio. Afecta tanto a los valores medios meteorológicos como a su variabilidad.

Forzamientos climáticos. Son factores que inciden en el balance de energía del sistema climático, que hace variar la cantidad de energía que el sistema recibe del Sol o la cantidad de energía que el sistema pierde por emisión desde la Tierra al espacio exterior. Estos factores son: la cantidad de la radiación solar en lo alto de la atmósfera, es decir, la constante solar, el albedo terrestre, la concentración de gases de efecto invernadero y la concentración de aerosoles tanto de procedencia natural como los que se originan por erupciones volcánicas.

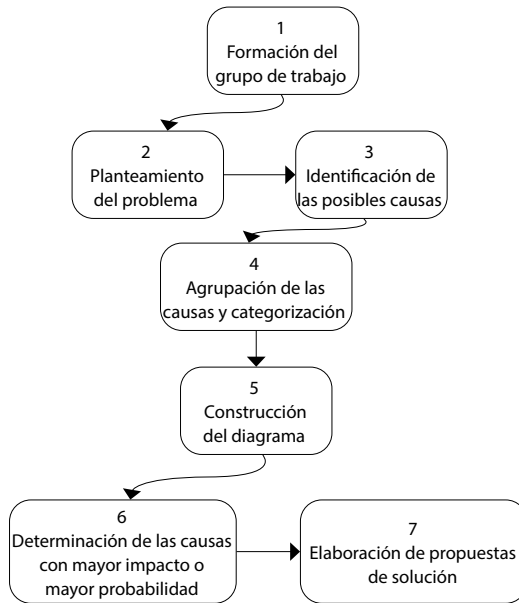
Metodología

Se parte de una investigación histórica del origen de la contaminación ambiental, su proceso y evolución desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Para este estudio se realizó un análisis documental utilizando fuentes secundarias de información tales como reportes e informes de organizaciones y entidades nacionales e internacionales que han abordado el problema de la contaminación ambiental y el cambio climático y las graves consecuencias que traen consigo para la humanidad y el planeta. A partir del análisis de la información se determinaron los impactos que han tenido las actividades de los seres humanos sobre el cambio climático detectado. Posteriormente se elaboró un diagrama que agrupa en categorías las diferentes causas y efectos identificados.

El diagrama causa-efecto, también conocido como diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado, es una herramienta visual que ayuda a identificar, organizar y analizar las posibles causas de un problema, así como los efectos que se generan. Esta técnica es ampliamente utilizada en procesos de mejora continua y resolución de problemas, ya que facilita encontrar las raíces del problema para implementar soluciones efectivas. La técnica es esencialmente una extensión del proceso de "caja negra" (Sánchez, 2016).

Consiste en colocar en un rectángulo (caja) el problema por analizar. Del lado izquierdo se colocan las principales causas (entradas) y, del lado derecho, los principales efectos (salidas) que derivan del problema. Debido a esto consideramos que puede ser una herramienta útil y valiosa para analizar problemas complejos como el cambio climático y la contaminación ambiental. La técnica consta de tres etapas: la construcción del diagrama, pasos 1 al 5; la identificación de las causas y/o efectos más probables, paso 6 y la generación de posibles soluciones, paso 7. La metodología se muestra en forma esquemática en la Figura 1.

Figura 1. Procedimiento para realizar un análisis causa-efecto (Sánchez, 2003)



Finalmente, se hace la interpretación de resultados para visualizar posibles tendencias y poder proponer posibles estrategias encaminadas a encarar y controlar el problema.

Desarrollo

Situación internacional de la contaminación ambiental y el cambio climático

El clima es un promedio del tiempo atmosférico a una escala de tiempo dado que la Organización Meteorológica Mundial ha estandarizado en 30 años. Los distintos climas se corresponden principalmente con la latitud geográfica, la altitud, la distancia al mar, la orientación del relieve terrestre con respecto a la insolación (vertientes de solana y umbría) y a la dirección de los vientos (vertientes de sotavento y barlovento) y, por último, las corrientes marinas (Organización Meteorológica Mundial, 2017). Estos factores y sus variaciones en el tiempo producen cambios en los principales elementos constituyentes del clima: temperatura atmosférica, presión atmosférica, vientos, humedad y precipitaciones (Organización de las Naciones Unidas, 2023a)). Los climas están en función de la latitud geográfica, la altitud, la distancia al mar, la orientación del relieve terrestre con respecto a la insolación o vertientes de solana y umbría y a la dirección de los vientos, es decir, vertientes de sotavento y barlovento y, de las corrientes marinas. Estos factores producen cambios en los principales elementos constituyentes del clima: temperatura atmosférica, presión atmosférica, vientos, humedad y precipitaciones. Las corrientes oceánicas, o marinas, son factores reguladores del clima que actúan como moderador, suavizando las temperaturas de regiones (Bindoff, Stott, AchutaRao, Allen, Gillett, Gutzler, Hansingo, Hegerl, Hu, Jain, Mokhov, Overland, Perlwitz, Sebbari y Zhang, 2013).

Para que se produzca un cambio climático global debe haber algún forzamiento climático, es decir, algo que afecte el balance de energía del sistema climático, modificando la cantidad de energía que el sistema recibe del Sol o la cantidad de energía que el sistema pierde por emisión desde la Tierra al espacio exterior. Los forzamientos pueden ser las variaciones en los parámetros orbitales de la Tierra, del albedo terrestre, la concentración de gases de efecto invernadero, la concentración de aerosoles de procedencia natural, como los que proceden de erupciones volcánicas o los de origen antropogénico que son el resultado de actividades humanas.

El cambio climático actual es totalmente antropogénico y se relaciona con la intensificación del efecto invernadero debido a las emisiones industriales procedentes de la quema de combustibles fósiles. Las contribuciones probables de los forzamientos naturales y la variabilidad interna al cambio de la temperatura global desde 1951 son mínimas. Las principales causales del cambio del clima y la contaminación en el planeta Tierra se describen a continuación:

La generación de energía

Producir la electricidad y calor mediante combustibles fósiles crea gran cantidad de emisiones globales. La mayoría de la electricidad se genera todavía con la combustión de carbón o gas, produciendo dióxido de carbono y óxido nitroso, que son gases de efecto invernadero que cubren el planeta y atrapan el calor proveniente del sol. Más de un cuarto de la electricidad proviene de fuentes de energía renovables eólicas y solares que, al contrario que los combustibles fósiles, emiten poca o ninguna cantidad de gases o contaminantes en el aire (Organización de las Naciones Unidas, 2023a; Organización de las Naciones Unidas, 2024).

Fabricación de productos

La industria produce emisiones, en su mayoría provenientes de la quema de combustibles fósiles para generar energía. La maquinaria utilizada en los procesos de fabricación con frecuencia realizados mediante carbón, petróleo o gas, y con algunos materiales, como los plásticos, están compuestos de sustancias químicas derivadas de los combustibles fósiles. La industria manufacturera es una de las que más contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial (Organización de las Naciones Unidas, 2023a; Organización de las Naciones Unidas, 2024).

Tala de los bosques

La tala de bosques provoca emisiones dado que cuando se talan árboles se libera el carbono que estos han estado almacenando. Cada año se destruyen

más de 12 millones de hectáreas de bosques. Puesto que los bosques absorben el dióxido de carbono, su destrucción limita la capacidad de la naturaleza para mantener estas emisiones fuera de la atmósfera. La deforestación, junto con la agricultura y otros cambios en la utilización de los suelos, es responsable de aproximadamente un cuarto de las emisiones de gases de efecto invernadero (Organización de las Naciones Unidas, 2023a; Organización de las Naciones Unidas, 2024).

Transporte

La mayoría de los medios de transporte funcionan con combustibles fósiles, por lo que el transporte es uno de los sectores que más contribuyen a generar gases de efecto invernadero, especialmente en emisiones de dióxido de carbono. “Los vehículos terrestres son responsables de la mayor parte debido a la combustión de productos derivados del petróleo, como la gasolina, en los motores de combustión interna.” Sin embargo, las emisiones provenientes de barcos y aeronaves impactan crecientemente en la calidad del aire. El transporte es responsable de cerca de un cuarto de las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía a nivel global y la tendencia es que continúe este importante aumento del uso de la energía para el transporte durante los próximos años (Organización de las Naciones Unidas, 2023a; Organización de las Naciones Unidas, 2024).

Producción de alimentos

La producción de alimentos provoca emisiones de metano, dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, de diferentes maneras, en lo que se incluye la deforestación y la roturación de tierras para la agricultura y el pastoreo, la alimentación del ganado bovino y ovino, la producción y el uso de fertilizantes y el abono utilizado para los cultivos, además del uso de la energía que hace funcionar el equipo de las granjas o los barcos pesqueros, que normalmente es con combustibles fósiles. Todo esto hace que la producción de alimentos sea uno de los sectores que más contribuyen al cambio climático. Además, las emisiones de efecto invernadero también provienen del envasado y la distribución de los alimentos (Orga-

nización de las Naciones Unidas, 2023a; Organización de las Naciones Unidas, 2024).

La energía en los edificios

Los edificios residenciales y comerciales consumen más de la mitad de la electricidad total a nivel general. Utilizan carbón, hidrocarburos y gas natural para los sistemas de calefacción y climatización, emitiendo cantidades importantes de gases de efecto invernadero. La creciente demanda de sistemas de calefacción y climatización, aunado al aumento en la adquisición de aparatos de aire acondicionado y el consumo eléctrico por parte de aparatos de iluminación y dispositivos conectados, ha sido causa principal del aumento en las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía (Organización de las Naciones Unidas, 2023a; Organización de las Naciones Unidas, 2024).

Consumismo excesivo

En el hogar, el uso de la energía, los desplazamientos, el consumo y el derroche de la misma contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero, incluyendo el consumo de bienes como la ropa, componentes electrónicos y productos fabricados en plástico, pues este estilo de vida impacta en el deterioro del planeta. El 1% de la población mundial con mayor riqueza genera en conjunto genera más emisiones de gases de efecto invernadero que el 50% de la población más pobre (Organización de las Naciones Unidas, 2023a; Organización de las Naciones Unidas, 2024).

Contaminación de aguas

Los derrames de petróleo en los mares, ríos y lagos producen contaminación ambiental que se refleja en daños a la fauna marina, aves, vegetación y el agua. Además, perjudican la pesca y las actividades recreativas de las playas, pues su persistencia y toxicidad continúan teniendo efectos fatales debajo del agua. La mayor contaminación proviene del petróleo industrial y motriz, el aceite quemado que llega hasta los océanos a través de los ríos y drenajes

urbanos. Se estima que en una escala mundial entran 3 500 millones de litros de petróleo usado en los ríos y océanos, y que 5 000 millones de litros de petróleo crudo o de sus derivados son derramados. (EnviroModeling, 2022).

En 2020, el 74% de la población mundial tenía acceso a servicios de agua potable gestionados de forma segura (Organización de las Naciones Unidas, 2023b) y para el año 2022, 2 200 millones de personas seguían careciendo de su acceso, mientras que 3 500 millones de personas tenían servicios de saneamiento insuficiente (Unicef, 2024).

Contaminación del aire

Los desechos agroindustriales son emisiones gaseosas que se dirigen a la atmósfera mediante conversiones químicas de muy diversa naturaleza, entre los que destacan por su toxicidad los anhídridos sulfurosos y sulfúricos. Los óxidos de nitrógeno expulsados en las refinerías ocasionan la alteración, no solo de la atmósfera, sino también de las aguas, la tierra, la vegetación y los animales. Uno de los contaminantes gaseosos más nocivos es el dióxido de azufre, el cual daña los pulmones y otras partes del sistema respiratorio. Es un irritante de los ojos y de la piel, e incluso llega a destruir el esmalte de los dientes.

La fuente de energía radioactiva genera muchos desechos o contaminantes radioactivos provenientes de las reacciones nucleares, de yacimientos de minerales radioactivos, de las plantas donde se refinan o transforman estos minerales y de las generadoras de electricidad que funcionan con materia radiactiva. Todavía no se conoce un método para eliminar estos desechos sin que esto represente un riesgo para la humanidad.

Contaminación acústica

El ruido producido por la industria disminuye la capacidad auditiva de las personas y puede afectar significativamente los sistemas nervioso y circulatorio.

Explotación minera

La minería y el procesamiento de minerales causan efectos negativos en el medio ambiente, afectando el aire, los suelos, las aguas, los cultivos, la flora,

la fauna y la salud humana. Además, tienen un impacto en la economía, afectando áreas como el turismo, el asentamiento de nuevas poblaciones y la inflación, entre otros. Anteriormente, las empresas no estaban obligadas a controlar estos efectos. Gran parte de los costos de limpieza han tenido que ser subsidiados por los contribuyentes y los ciudadanos locales.

Contaminación atmosférica

Es el primer factor ambiental de enfermedades y muertes prematuras en el mundo. Las partículas finas o aerosoles contaminantes, llamados materia particulada fina o PM2.5, son responsables de 6.4 millones de muertes al año, causadas por afecciones como cardiopatías isquémicas, accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, neumonía, diabetes tipo 2 y trastornos neonatales (Banco Mundial, 2022a). Más del 95% de fallecimientos se producen en países en desarrollo, donde miles de millones de personas están expuestas a concentraciones de PM2.5 en espacios cerrados o abiertos, varias veces más altas que los valores establecidos en las directrices de la Organización Mundial de la Salud (Banco Mundial, 2022a). En el informe del Banco Mundial *The Global Health Cost of PM2.5 Air Pollution*, se estimó que el costo de los daños a la salud causados por la contaminación atmosférica asciende a 8.1 billones de dólares al año, lo que equivale al 6.1% del producto interno bruto (PIB) mundial (Banco Mundial, 2022b).

Las partículas en suspensión de menos de 2.5 micras (PM_{2,5}) son un mejor indicador de la contaminación urbana que las que se utilizaban hasta ahora. Esto se debe a su origen antropogénico en una alta proporción, puesto que en buena medida provienen de las emisiones de los vehículos que utilizan diesel en la ciudad. Los efectos que tienen sobre nuestra salud son muy graves, por su gran capacidad de penetración en las vías respiratorias (Linares, 2007; Linares y Díaz, 2008). La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2010) ha establecido en sus nuevos valores guía la recomendación de utilizar como indicador de la concentración de partículas materiales en el aire los valores de las partículas de diámetro inferior a 2.5 micras, PM_{2.5}, frente a los valores utilizados hasta ahora de las partículas de diámetro inferior a 10 micras, PM₁₀.) (Organización Mundial de la Salud, 2021).

El material particulado respirable presente en la atmósfera de las ciudades en forma sólida o líquida, polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento y polen, entre otras, se clasifica según su tamaño. A las de diámetro aerodinámico igual o inferior a los 10 μm o 10 micrómetros (1 μm es la milésima parte de un milímetro) se les denomina PM10 y a la fracción respirable más pequeña, PM2.5, las cuales están constituidas por las partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a los 2.5 micrómetros, es decir, son 100 veces más delgadas que un cabello humano (Gutiérrez, 2022). El origen de las PM2.5 es de carácter antropogénico, así como las emisiones de los vehículos diesel, mientras que las partículas de mayor tamaño pueden tener en su composición un importante componente de tipo natural, como partículas de polvo procedente de las intrusiones de viento del norte de África, polvo sahariano (Linares, Díaz, Negev, Martínez, Debono y Paz, 2020).

Los efectos de partículas en la salud son enfermedades respiratorias, como la bronquitis, y se han analizado y demostrado sus efectos sobre dolencias de tipo cardiovascular. Este tipo de contaminación, y particularmente las partículas procedentes del tráfico urbano, influye en el incremento en la morbimortalidad de la población expuesta y al creciente desarrollo del asma y alergias entre la población infantil. El tamaño de las PM2.5 hace que sean 100% respirables porque viajan profundamente en los pulmones, penetrando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, Pueden llegar al torrente sanguíneo. Están compuestas por elementos que son más tóxicos, como metales pesados y compuestos orgánicos, que los que componen, en general, las partículas más grandes (Linares y Díaz, 2008). Su tamaño hace que sean más ligeras por lo que permanecen más tiempo en el aire, lo que prolonga sus efectos y facilita su transporte por el viento a grandes distancias. Se pueden acumular en el sistema respiratorio y provocan muchos trastornos, como el aumento de las enfermedades respiratorias y la disminución del funcionamiento pulmonar. Los grupos más vulnerables son niños, ancianos y personas con padecimientos respiratorios y cardiacos.

Las herramientas utilizadas en epidemiología para evaluar el efecto de los contaminantes atmosféricos a corto plazo sobre la salud son los estudios de series temporales, los cuales permiten analizar y cuantificar su impacto con base en un indicador de morbilidad como es el número de ingresos

hospitalarios producidos durante un periodo determinado de tiempo. El tipo de relación funcional que existe entre la concentración media diaria de partículas PM_{2.5} y los ingresos por todas las causas es de tipo lineal y sin umbral. A mayor exposición o concentración de partículas mayor es el número de ingresos hospitalarios (Linares y Díaz, 2008).

El efecto por grupos de edad es especialmente mayor en los de mayor edad, mayores de 75 años, y en los menores de 10. Los pobres, los ancianos y los niños pequeños de familias pobres son los más afectados y los que probablemente tengan más dificultades para enfrentar los impactos en la salud de la contaminación atmosférica (Organización Panamericana de la Salud, s.f. ; Banco Mundial, 2022a). Las crisis sanitarias mundiales, como la pandemia de COVID-19, debilitan la resiliencia de las sociedades. La exposición a la contaminación atmosférica genera una mayor incidencia de las hospitalizaciones y la mortalidad vinculadas a la COVID-19 (Félix, Schilman, Hurtado, Texcalac y Riojas, 2020; Banco Mundial, 2022a).

La contaminación atmosférica influye en la pérdida de biodiversidad y ecosistemas y tiene impactos adversos en el capital humano. La reducción de la contaminación atmosférica mejora la salud y fortalece las economías (Banco Mundial, 2022a). A partir de un estudio realizado por el Banco Mundial se encontró que una disminución del 20% en la concentración de PM_{2.5} se asocia con un aumento del 16% en la tasa de crecimiento del empleo y con incremento del 33% en la tasa de productividad laboral (Banco Mundial, 2022a).

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la contaminación del aire ambiental exterior y doméstico son factores de riesgo. La exposición a contaminantes del aire interior puede provocar diversas dolencias, desde afecciones oculares a enfermedades respiratorias y cáncer. La contaminación exterior, por su parte, puede generar accidentes cerebrovasculares (ACV), cardiopatías, cáncer de pulmón e infecciones respiratorias, entre otras (Organización Panamericana de la Salud, s.f.). Estas formas de contaminación atmosférica causaron aproximadamente 7 millones de muertes en todo el mundo en 2012. De ellas, 4.2 millones fueron por la polución del aire en el ambiente y 3.8 millones de muertes por la exposición a la contaminación del aire en interiores debida al humo de hornos a leña (Organización Mundial de la Salud, 2014). En 2019, el 99% de la población mun-

dial habitaba lugares donde no se respetaban las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire y se estimó de acuerdo a estudios realizados, que los efectos combinados de la contaminación del aire en el ambiente y la del aire doméstico se asociaron a 6.7 millones de muertes prematuras cada año (Organización Mundial de la Salud, 2024a).

Existe una cifra alarmante respecto de la contaminación del aire exterior: casi toda la población mundial (99%) respira niveles insalubres de partículas finas y dióxido de nitrógeno y los habitantes de los países de ingresos bajos y medios son los más vulnerables.

Presencia de plásticos

El plástico es un material versátil y de amplio uso. El crecimiento en el uso de productos de un solo uso fabricados con plástico, que se utilizan y se descartan en un periodo de tiempo muy corto, tiene graves consecuencias ambientales, económicas y sociales. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la dependencia de este material ha provocado una crisis de residuos que afecta a todo el planeta (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, s.f.). El PNUMA también señala que, a nivel mundial, a cada minuto se adquieren un millón de botellas plásticas y se utilizan hasta 5 billones de bolsas de este material. El 36% de todo el plástico fabricado se destina a la producción de empaquetado, y de este porcentaje, alrededor del 85% termina en vertederos o como basura no regulada. El 98% de los productos plásticos de un solo uso provienen de combustibles fósiles vírgenes, lo que añade un impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, s.f.).

Uno de los mayores problemas en la lucha contra los residuos plásticos son las colillas de cigarrillos. Son en realidad el desecho plástico de un solo uso más abundante en el planeta, según el PNUMA. Cada año mil millones de personas consumen alrededor de seis billones de cigarrillos (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, s.f.). El proyecto para limpiar las colillas de cigarrillo realizado por el gobierno de Reino Unido, que tuvo más de 500 voluntarios, asegura que, tras la limpieza, “las colillas de cigarrillos fueron los artículos de plástico más numerosos, seguidos de las

tapas de bebidas y los envoltorios de alimentos” (National Geographic, 2024).

El artículo del PNUMA confirma que el principal componente de los filtros de cigarrillo es el acetato de celulosa, un microplástico que, debido a su uso extendido, ha llegado a prácticamente todos los rincones del planeta (National Geographic, 2024). Además de liberar microplásticos capaces de llegar al cuerpo humano, las colillas son difíciles de degradar porque contienen productos químicos que pueden contaminar el suelo y el agua, lo que agrava aún más el problema ambiental (National Geographic, 2024).

Después de las colillas, los desechos plásticos más comunes son: los envoltorios de comida, las botellas desechables, las tapas de botellas, las bolsas de supermercado, los popotes (sorbetes o pitillos) y los mezcladores de líquidos (Stop Ecocidio Internacional, 2017).

Ecocidio

Es el término del derecho referente a la destrucción del medio ambiente. “Cualquier acto ilícito o arbitrario perpetrado a sabiendas de que existe una probabilidad sustancial de que cause daños graves que sean extensos o duraderos al medio ambiente”, lo define Stop Ecocidio Internacional, una organización asesora de expertos fundada en 2017.

En 2021, un grupo de expertos en leyes definió y lo presentó como una nueva categoría de crimen internacional, en un contexto en el que las denuncias judiciales relacionadas con el cambio climático van en aumento. Esa definición fue propuesta oficialmente en 2021 por el Panel de Expertos Independientes para la Definición Jurídica del Ecocidio convocado por la Fundación Stop Ecocidio y busca destacar el papel del derecho internacional en la transformación de la relación con el mundo natural para vivir en armonía. “La grave destrucción y deterioro del medio ambiente pone en grave peligro los sistemas naturales y humanos en todo el mundo” (Stop Ecocidio Internacional, 2017). De ser adoptado por las partes de la Corte Penal Internacional (CPI), el ecocidio se convertiría en la quinta categoría de delitos internacionales, como los crímenes de guerra, los crímenes de lesa humanidad, el genocidio y el crimen de agresión, según el PNUMA.

El Informe mundial sobre litigios climáticos: Revisión Global 2023 reali-

zado por el PNUMA y el Sabin Center for Climate Change Law de la Universidad de Columbia (Estados Unidos) señala que la cantidad de casos judiciales relacionados con el cambio climático ha subido más del doble desde 2017 en todo el mundo, de 884 casos en 2017 a 2 180 en 2022. La mayoría de esas denuncias ocurren en Estados Unidos y el 17% de los casos se registran en países en desarrollo. Crece el acervo de precedentes jurídicos, formando una rama del derecho cada vez mejor definida (Burger y Tigre, 2023). En el mismo informe se plantea que, la mayoría de los litigios climáticos en curso se clasifican en seis categorías:

- Litigios que recurren a los derechos humanos consagrados en el derecho internacional y las constituciones nacionales.
- Desafíos relativos a la no aplicación nacional de las leyes y políticas relativas al clima.
- Demandantes que procuran que los combustibles fósiles permanezcan bajo tierra.
- Litigios relativos a las responsabilidades de las empresas por los daños y perjuicios causados al clima.
- Litigios en los que se aboga por una mayor divulgación de información relativa al clima y poner fin a la ecoimpostura (greenwashing).
- Litigios que denuncian la falta de adaptación a las consecuencias del cambio climático.

Andy Raine, jefe de la Unidad de Derecho Internacional de la División de Derecho del PNUMA en un artículo publicado por esa entidad, concluye: “El derecho a un medio ambiente sin riesgos, limpio, saludable y sostenible está legalmente reconocido en 155 países. Esto es importante, ya que un medio ambiente saludable es parte integral del pleno disfrute de una amplia gama de derechos humanos, incluidos los derechos a la vida, la salud, la alimentación, el agua y el saneamiento” (Raine, 2021).

Cambio climático

Los cambios que han alterado y degradado al medio ambiente traen como consecuencia el cambio climático, el cual implica cambios a largo plazo de

las temperaturas y los patrones climáticos. Estos pueden ser naturales, debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas grandes (NASA, 2024). No obstante, desde el siglo XIX las actividades humanas han sido la principal causa del cambio climático debido a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas (UNAM, 2024), vinculadas en su mayoría a las revoluciones industriales que ha gestado el Ser Humano y a la generación de los cinco gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO_2), el óxido nitroso, el metano, los clorofluorocarbonos y el vapor de agua (Universidad Nacional Autónoma de México, 2023; NASA, 2024). Los científicos atribuyen la tendencia del calentamiento global observada desde mediados del siglo XX a la expansión humana del "efecto invernadero", el calentamiento que se produce cuando la atmósfera atrapa el calor que se irradia desde la Tierra hacia el espacio (NASA, 2024).

La Revolución Industrial comprende la etapa de la historia de 1780 a 1850 que se inició en Inglaterra. Durante casi toda la historia de la humanidad la vida se había basado en la agricultura y la ganadería, pero, a finales del siglo XVIII, el inglés James Watt perfeccionó la máquina de vapor (Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades, 2017). Actualmente se considera que se han producido cuatro revoluciones industriales:

- Primera Revolución Industrial: carbón en 1765.
- Segunda Revolución Industrial: gas en 1870.
- Tercera Revolución Industrial: electrónica y nuclear en 1969.
- Cuarta Revolución Industrial: internet y energías renovables en el 2000.

Las cuatro revoluciones industriales han estado profundamente vinculadas con el uso de combustibles fósiles, ya que cada una ha dependido de estos recursos para impulsar sus avances tecnológicos y económicos. La quema de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, ha sido un factor clave en el desarrollo de la industria moderna, aunque también ha tenido un impacto significativo en el cambio climático y en el medio ambiente.

La quema de combustibles fósiles provoca emisiones de gases de efecto invernadero que actúan como una manta que envuelve a la Tierra, atrapando

el calor del Sol y elevando las temperaturas. Las principales emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático son el dióxido de carbono y el metano. Estos son el resultado del uso de gasolina de los automóviles o del carbón. El desmonte de tierras y bosques libera dióxido de carbono. La agricultura y las actividades relacionadas con el petróleo y el gas son fuentes de emisiones de metano. La industria, el transporte, la agricultura y el uso del suelo se encuentran entre los principales emisores (Organización de las Naciones Unidas, 2024). La humanidad es responsable del calentamiento global de los últimos 200 años. Los gases de efecto invernadero elevan la temperatura del planeta en la actualidad a un ritmo más acelerado que el que se tuvo en los 2000 años anteriores (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021).

La temperatura media de la Tierra es 1.1 °C más elevada que a finales del siglo XIX, antes de la Revolución Industrial, y más elevada en términos absolutos que en los últimos 100 000 años. La década de 2011 a 2020 fue la más cálida registrada. Cada una de las cuatro décadas más recientes ha sido más caliente que cualquier otra década desde 1850 (Organización de las Naciones Unidas, 2022).

Las consecuencias del cambio climático incluyen, entre otras, sequías intensas, escasez de agua, incendios graves, aumento del nivel del mar, inundaciones, deshielo de los polos, tormentas catastróficas y disminución de la biodiversidad. El cambio climático afecta a la salud, a la capacidad de cultivar alimentos, a la vivienda, a la seguridad y al trabajo. Condiciones como el aumento del nivel del mar y la intrusión de agua salada han avanzado hasta el punto de que comunidades enteras han tenido que reubicarse y las prolongadas sequías están creando un riesgo de hambruna. Se prevé que en el futuro aumente el número de “refugiados climáticos”.

El calentamiento global se produce por la absorción de la energía solar por parte de la Tierra. Consecuencia de la destrucción de la capa de ozono. La Tierra, al calentarse, desprende calor a la atmósfera en forma de rayos infrarrojos. Parte de este calor vuelve a la superficie terrestre y la consecuencia es el recalentamiento global. Esto provoca el aumento del nivel del mar, la erosión, las inundaciones, los riesgos para la infraestructura y el aumento de la acidez de los océanos. El aumento en el nivel del mar afecta a las comunidades costeras, provocando erosión, la intrusión de agua salina, inun-

dación de humedales, contaminación de acuíferos y suelos agrícolas, y representa un mayor riesgo de inundaciones y pérdida del hábitat de peces, aves y plantas. Un ejemplo de esto es la desaparición de islas y el riesgo para lugares habitados que le han ganado espacio al mar, como en los Países Bajos.

Limitar el aumento de la temperatura global a no más de 1.5 °C evitaría los peores impactos climáticos y mantendría un clima habitable, pero, las políticas actuales apuntan a un aumento de la temperatura de 2.8 °C para finales de siglo (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019a).

Las emisiones que provocan el cambio climático proceden de todas partes del mundo y afectan a todos, aunque algunos países generan mucho más que otros. Los mayores emisores son China, Estados Unidos, India, la Unión Europea, Indonesia, Rusia y Brasil. Estos causaron más de la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial en 2020. Lo peor es que estos países no tienen conciencia del problema ni interés en resolverlo. Sus intereses económicos están por encima de la subsistencia misma del planeta.

Incremento de la temperatura

A medida que se eleva la concentración de gases de efecto invernadero, lo hace la temperatura de la superficie del planeta. De 2011 al 2020, se ha registrado el mayor calentamiento hasta la fecha (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021). Desde los años 80, cada década ha sido más cálida que la anterior. En casi todas las zonas se han producido más olas de calor y días más calurosos. Esto provoca un aumento en las enfermedades relacionadas con el calor y dificulta trabajar en exteriores. Hay incendios incontrolados más frecuentes y se extienden más rápidamente cuando el ambiente es más cálido. Las temperaturas del Ártico se han elevado más del doble de rápido que la media mundial (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021).

Tormentas más fuertes

Las tormentas son cada vez más destructivas, intensas y frecuentes, en y fuera de temporada. “A medida que se elevan las temperaturas se evapora

mayor humedad, lo que causa inundaciones y precipitaciones extremas, provocando más tormentas destructivas.” El calentamiento del océano afecta a la frecuencia y magnitud de las tormentas tropicales. Los ciclones, huracanes y tifones se alimentan de las aguas templadas de la superficie del océano (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019b).

Aumento de las sequías

El cambio climático está modificando la disponibilidad de agua, al hacerla más escasa en más regiones. El calentamiento global genera escasez de agua en regiones secas o no secas y aumenta el riesgo de sequías agrícolas y sequías ecológicas que afectan la vulnerabilidad de los ecosistemas. Las sequías pueden provocar tormentas destructivas de arena y polvo capaces de desplazar miles de millones de toneladas de arena de un continente a otro. Los desiertos se expanden y las tierras aptas para el crecimiento de cultivos se reducen (Organización Mundial de la Salud, 2024b).

Aumento del nivel del océano y calentamiento del agua

El océano absorbe la mayor parte del calor generado por el calentamiento global. Esto ha aumentado considerablemente durante las últimas dos décadas en todas las profundidades. A medida que el océano se calienta, su volumen aumenta porque el agua se dilata. El deshielo de las placas de hielo y los icebergs hace que se eleve el nivel del mar, amenazando a las comunidades litorales e insulares. El océano absorbe dióxido de carbono y evita su acumulación en la atmósfera, pero un mayor contenido de dióxido de carbono hace que el océano se acidifique más, lo que pone en peligro tanto a las especies marinas como a los arrecifes de coral (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019b).

Desaparición de especies

El cambio climático pone en riesgo la supervivencia de las especies terrestres y oceánicas. Debido a la velocidad del cambio climático exacerbado, en el

mundo se extinguen especies a un ritmo 1000 veces mayor que en cualquier otra época de la que se tenga constancia en la historia humana. “Un millón de especies están en riesgo de extinguirse en las próximas décadas. Los incendios forestales, un clima extremo y la invasión de plagas con la aparición de enfermedades, todo esto está entre las amenazas relacionadas con el cambio climático. Algunas especies serán capaces de adaptarse geográficamente, pero otras, no” (Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas, 2019).

Escasez de alimentos

Los cambios en el clima y el aumento de las condiciones meteorológicas extremas causan un aumento global de la desnutrición en las poblaciones más pobres. Los recursos pesqueros, los cultivos y el ganado tienden a ser menos productivos. Debido a una continua acidificación oceánica, los recursos marinos que dan alimento a miles de millones de personas se encuentran en riesgo. Los cambios en las capas de nieve y hielo de los casquetes polares alteran el suministro de alimentos generados por la ganadería, la caza y la pesca. Un calor extremo disminuye el agua y los pastizales para la ganadería, y de la producción agrícola, afectando al ganado (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019b).

Más riesgos para la salud humana

El cambio climático es una gran amenaza para la salud de la humanidad. Daña la salud por medio de la contaminación, los fenómenos meteorológicos extremos, los desplazamientos forzados, las presiones en la salud mental, así como un aumento del hambre y la desnutrición donde no se pueden producir ni encontrar alimentos suficientes. Cada año, los factores medioambientales acaban con la vida de cerca de 13 millones de personas. Los patrones del cambio climático están causando más enfermedades, y los fenómenos meteorológicos extremos producen más muertes y dificultan la capacidad de los sistemas sanitarios para soportar la presión (Organización de las Naciones Unidas, 2023a; Organización de las Naciones Unidas, 2024).

Pobreza y desplazamiento

El cambio climático aumenta los factores que llevan y mantienen a la gente en la pobreza. Las inundaciones pueden arrasarse barrios marginales, destruyendo hogares y comunidades. El calor dificulta la ejecución de trabajos en el exterior. La escasez de agua puede afectar a los cultivos. Durante la última década (2010-2019), los sucesos relacionados con el clima desplazaron a un total aproximado de 23,1 millones de personas de media al año, aumentando sus probabilidades de caer en la pobreza. Muchos refugiados provienen de países que están más vulnerables y menos preparados para adaptarse a los efectos del cambio climático (Organización de las Naciones Unidas, 2023a; Organización de las Naciones Unidas, 2024).

Panorama nacional de la contaminación ambiental y el cambio climático

En México, el cambio climático tiene cada vez mayores consecuencias para los seres humanos, principalmente en las zonas marginadas y vulnerables, donde la pobreza es extrema y existe un alto riesgo de que se presenten fenómenos extremos, como sequías prolongadas o lluvias torrenciales. Las condiciones socioeconómicas de gran parte de la población, como la pobreza, la marginación y las desigualdades, la fragilidad de los ecosistemas naturales y las características geográficas y climáticas hacen que México sea sumamente vulnerable al cambio climático. Los efectos del cambio climático son visibles en prácticamente todo el territorio nacional. En los últimos 50 años, las temperaturas promedio en el país han aumentado aproximadamente 0.85°C por arriba de la normal climatológica, lo que corresponde con el incremento global reportado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), por sus siglas en inglés (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013). Las temperaturas mínimas y máximas presentan una tendencia al incremento de noches cálidas y la disminución de noches frías en todo el país. Se espera que entre 2024 y 2039 el promedio de la temperatura anual en el país haya aumentado 1.5°C y 2°C en el norte del territorio. Nuevo León, Tamaulipas, Sonora, Sinaloa y Baja Califor-

nia tiene temperaturas cada vez más altas, sobrepasando los 40 grados a la sombra (Servicio Meteorológico Nacional y Comisión Nacional del Agua, 2024). El aumento de la temperatura promedio 1° C podría reducir el crecimiento del PIB per cápita nacional entre 0.77% y 1.76% (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021).

La precipitación tiene una distribución espacio-temporal que ha cambiado de manera diferencial en el territorio, incrementando la cantidad en algunas etapas, como las recientes, en las que ha caído lluvia sin precedentes en un determinado tiempo. Lo anterior afecta a los sistemas ecológicos y productivos, que son altamente sensibles a las variaciones de temperatura y precipitación, y puede resultar en pérdidas económicas que podrían incrementarse a futuro debido al cambio climático. Entre el 2024 y 2039 podría disminuir la precipitación anual entre un 10 y 20%, aumentando las sequías intensas y prolongadas principalmente en el norte del país (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021). Asimismo, se observa un aumento en la intensidad de ciclones tropicales que afectan al 60% del territorio nacional. Estos fenómenos hidrometeorológicos extremos ocasionan lluvias torrenciales que, a su vez, provocan inundaciones y deslaves, principalmente en Guerrero y Oaxaca, Veracruz, Chiapas y Quintana Roo.

Estos eventos extremos pueden afectar tanto los sistemas humanos como los ecosistemas al generar una mayor exposición y/o vulnerabilidad. De 1999 a 2017, el 91% de los recursos de declaratoria de desastre en México fueron destinados a eventos climáticos. Durante este periodo, por cada desastre geológico, como los sismos, hubo una ocurrencia de 15 desastres relacionados con el clima y su costo fue 10 veces mayor (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2021).

Como resultado de los cambios de temperatura y precipitación, se prevé un bajo rendimiento de cultivos de: maíz, caña de azúcar, sorgo, trigo, arroz, soya de 5 a 20% en las próximas décadas y 80% para finales de siglo. Para entonces, estados como Jalisco, Estado de México, Nayarit, Morelos, Michoacán, Guerrero y Colima, habrán perdido entre 30 y 40% de sus rendimientos de producción de maíz de temporal (Servicio Meteorológico Nacional y Comisión Nacional del Agua, 2024).

Tabla 1. *Los 15 desastres naturales más costosos entre 1999 y 2017 (millones de dólares. Actualizados al costo del dólar en 2017)*

No.	Año	Fenómeno	Costo
1	2005	Huracán Stan	603
2	2007	Huracán Dean	553
3	2007	Huracán Karl	563
4	2010	Huracán Matthew	922
5	2010	Huracán Alex	1388
6	2010	Inundación	592
7	2010	Inundación	986
8	2011	Inundación	516
9	2011	Lluvias	417
10	2012	Huracán Ernesto	615
11	2013	Huracanes Ingrid y Manuel	3087
12	2014	Inundación	456
13	2014	Huracán Odile	544
14	2017	Sismo 7 de septiembre	593
15	2017	Sismo 19 de septiembre	769

Fuente: Elaboración propia con datos de Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2021).

Los océanos Atlántico y Pacífico han experimentado diversos cambios, pues ha aumentado su temperatura global y se ha registrado la elevación del nivel medio global del mar en 19 cm de 1901 a 2010. En México las zonas que presentan más riesgos son las llanuras costeras del Golfo de México, el Pacífico y la Península de Yucatán. Por otra parte, el aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha provocado la acidificación de los océanos. En las costas del Pacífico se ha registrado una disminución del pH en 0.5, lo que puede tener graves consecuencias en las tasas de calcificación y crecimiento de corales, así como en toda la red trófica marina.

Finalmente, se espera un aumento en las enfermedades respiratorias ocasionadas por la mala calidad del aire, así como en la transmitidas por vectores como son el dengue, la malaria, el zika y el chikungunya.

Tendencias y posibles escenarios futuros

Industria

En la Revolución Industrial, que nace en Inglaterra entre 1760 y 1800, se diseñaron procesos de producción utilizando energía y maquinaria para fabricar bienes no compatibles con la naturaleza. Esto represente un gran avance en el desarrollo de la humanidad, pero propició la aparición de desechos sólidos, líquidos y gaseosos que han impactado en el medio ambiente (Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas y Tecnología, s.f.).

La contaminación industrial es la degradación del medio ambiente por el crecimiento industrial no planeado, que genera la descarga a los ecosistemas de sustancias contaminantes sin ningún control en la cantidad, densidad y composición química. La causa principal de la contaminación industrial es la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón, el gas y además el agua residual envenenada que contamina tierra, mares, ríos y lagunas.

Existen tres tipos de contaminación entre los que encontramos sus causantes:

1. *Contaminación del aire:* es producida por los humos de los vehículos e industrias, aerosoles, polvo, ruidos, malos olores, radiación atómica, etc. Entre los contaminantes gaseosos más comunes se encuentran el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el ozono. Los factores más relevantes de la contaminación del aire son la quema de combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas. La combustión de estas materias primas se produce principalmente en los procesos o en el funcionamiento de los sectores industriales y del transporte automotriz.
2. *Contaminación del agua:* de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua se denomina contaminada cuando su composición se ha alterado de modo que no cumpla con las condiciones necesarias para el consumo humano y de los animales (Organización

Mundial de la Salud, 2023). La contaminación del agua afecta a ríos, mantos acuíferos y mares, que se convierten poco a poco en grandes basureros. Los elementos contaminantes que se pueden encontrar vertidos en aguas negras, urbanas e industriales son petróleo, aceites, productos fitosanitarios, como plaguicidas, abonos, pesticidas, detergentes y otros productos nocivos para el medio ambiente.

3. *Contaminación del suelo*: es aquella producida por el vertido de sustancias químicas y basura. Cuando se acumula basura al aire libre en un mismo lugar durante mucho tiempo, parte de los residuos orgánicos se fermentan y se filtran a través del suelo, sea este permeable o no. Los líquidos contaminan con hongos, bacterias y microorganismos patógenos el suelo y las aguas, superficiales y subterráneas, afectando las cadenas alimenticias. La agricultura y la minería forman parte del primer sector de las industrias, las extractivas. Los plaguicidas utilizados en la agricultura son otro de los principales contaminantes del suelo. También la actividad minera contamina los suelos con las aguas de relave, que contienen elementos químicos como mercurio, cadmio, cobre, arsénico, plomo, etc.

La Organización Mundial de la Salud advierte sobre el riesgo del uso de sustancias químicas como los plaguicidas, debido a su capacidad de permanecer en el agua y el suelo durante años, pero también resalta que pueden resultar tóxicos para el ser humano.

La extracción de petróleo genera emisiones atmosféricas cargadas de dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno. El aumento de estos gases retrasa la difusión al espacio de la radiación infrarroja, lo que conduce al calentamiento global.

Los componentes del petróleo pueden entrar en la cadena alimenticia. Los componentes más livianos o volátiles se evaporan y van a otras partes por la lluvia. El petróleo quemado es una fuente de contaminación que se transporta con el aire y se deposita con las lluvias.

Las aguas residuales generadas por el *fracking* suelen contener hidrocarburos como benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX), que son tóxicos y cancerígenos, y pueden filtrarse en las aguas subterráneas o superficiales, contaminando las fuentes de agua potable.

El *fracking* o la extracción de hidrocarburos altamente contaminante y sin regulación, genera altas emisiones de metano a la atmósfera y contamina grandes volúmenes de agua que no pueden reutilizarse (Bezanilla, 2018). La técnica de *fracking* se utiliza para extraer gas de esquisto, un hidrocarburo no convencional atrapado en capas de roca del subsuelo, que requiere fracturar la roca para liberarlo (Paz, 2018; Bezanilla, 2018). Según Bezanilla (2018), esta técnica genera contaminación acústica en los sitios de extracción y promueve el uso de gas natural en lugar de energías renovables. Además, se utilizan 750 tipos diferentes de productos químicos en el proceso y la fracturación de un solo pozo puede requerir entre nueve y 29 millones de litros de agua. Bezanilla destaca los impactos ambientales, como la sismicidad inducida, que en 2011 causó varios temblores en Ohio, Alabama y Montana (Bezanilla, 2018).

Estados Unidos impulsa esta técnica y la industria del *fracking* está exenta de cumplir con diversas leyes ambientales desde la aprobación de la “Energy Policy Act” en 2005. Bezanilla señala que, además de la emisión directa de metano, las fugas al fracturar la roca contaminan el agua de manera irreversible. Los camiones que transportan el agua contaminada y el gas extraído, así como los taladros utilizados en el proceso, también generan emisiones (Bezanilla, 2018).

En México, ya se han perforado 924 pozos de *fracking* en diversas entidades como Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Puebla y Tabasco, según datos de la Alianza Mexicana contra el Fracking (Bezanilla, 2018).

Los defensores del *fracking* argumentan que brinda acceso a nuevos depósitos de petróleo y gas natural, reduce los precios, mejora la calidad del aire, reduce las importaciones de petróleo y genera empleo. Sin embargo, Bezanilla advierte que los beneficios netos de cambiar del carbón al gas natural tardarán en observarse y que las pequeñas emisiones de metano tienen un gran impacto. Además, el abaratamiento del gas natural ha desplazado a otras fuentes de energía como la nuclear y las renovables. Aunque algunos ven el gas natural como un “puente” hacia una economía libre de carbono, las emisiones de metano son mayores de lo estimado, según mediciones recientes (Bezanilla, 2018).

En la Zona Metropolitana del Valle de México se emiten aproximadamente 49.5 millones de toneladas de CO₂ equivalente, representando alre-

dedor del 7% de las emisiones nacionales. El sector industrial contribuye con el 22% de estas emisiones, es decir, alrededor de 10.7 millones de toneladas de CO₂ equivalente (Gobierno del Distrito Federal, 2012). A diario, 70 mil plantas de industrias, la refinería de Tula y tres termoeléctricas ubicadas en Hidalgo, generan emisiones que afectan a la Ciudad de México (Chubb, s.f.).

La Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México reporta que las emisiones automotrices han disminuido en los últimos años, pero las generadas por las empresas han subido, no obstante, el transporte es el principal emisor de partículas finas, generadas básicamente por las unidades pesadas a diésel y los vehículos particulares a gasolina, así mismo, debido a su gran consumo energético es el principal emisor de CO₂, Co, NoX y carbono negro (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2023). Cinco de las 16 delegaciones de la Ciudad de México concentran la mayor cantidad de fábricas.

Las causas de la contaminación Industrial son:

- *Crecimiento industrial y falta de políticas de control:* el crecimiento no planificado de las zonas industriales, así como el ignorar las normas de regulación ambiental, contaminando el aire y el agua.
- *Tecnologías obsoletas:* las tecnologías no actualizadas generan una gran cantidad de residuos.
- *Procesos poco éticos:* fábricas que no cuentan con suficiente capital eluden la normativa medioambiental y liberan gran cantidad de gases tóxicos en la atmósfera.
- *Insuficiente eliminación de residuos:* la contaminación del agua y del suelo son causados directamente debido a la ineficiencia en la eliminación de residuos.

En el sector terciario de la producción, el de las industrias de servicios, la contaminación va desde el uso excesivo de papel, energía eléctrica. Los procesos administrativos oficiales representan retrocesos y, en muchos casos, hay un exceso de movilidad. Existen procesos que pueden realizarse desde la residencia de los empleados, evitando la pérdida de tiempo de traslado. La digitalización de los procesos y la expedición de productos

disminuiría la contaminación causada por el uso de papelería y de gasolina por transporte.

Uso de suelo

Como resultados de la Revolución se fraccionaron los latifundios. Grandes extensiones de tierra pasaron a ser ejidos, parcelas de pequeños propietarios. Sin apoyos, agua, créditos y asistencia técnica, muchos terrenos fueron destinados a ser pastizales, abandonados o vendidos (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2021). Se reduce la tierra cultivable y crece la mancha urbana. Fraccionamientos por todos lados, sin planificación urbana alguna. La planificación urbana o planeamiento urbanístico es el proceso de desarrollo y diseño de áreas urbanas. Uso de terrenos abiertos, aire, agua y el entorno construido, incluidos los edificios, el transporte, las funciones económicas y sociales.

El ritmo de crecimiento y su dispersión hace difícil para el Estado proporcionar los servicios con la suficiente cantidad y calidad de servicio. La falta de recolección de basura crea focos de contaminación. La falta o deficiencia de drenaje provoca acumulación de aguas negras e inundaciones, que constituyen a importantes focos de contaminación.

Las áreas verdes, muchas veces olvidadas, se transforman paulatinamente en basureros. Los son árboles son plantados sin distribución estratégica en sitios que pudieran causar problemas a corto plazo en banquetas o cableados públicos cuando los árboles, aparte de que contribuyen al paisaje, mejoran la calidad del aire. La falta de planeación implica largos desplazamientos a los lugares de trabajo, centros comerciales y de abasto, instituciones bancarias, de salud y educación. Los grandes desplazamientos implican la dependencia del servicio de transporte, particular o público, con el consecuente consumo de gasolina.

Por su parte, el tener una mascota requiere de cuidados, pero muchos dueños de perros los sacan a pasear y dejan sus excrementos al aire libre cuando son sustancias altamente contaminantes.

Comercialización

El objetivo de facilitar la comercialización de productos al menor costo posible ha llevado a diseñar empaques y envoltorios hechos con materiales altamente contaminantes. Los tiempos de degradación de dichos materiales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. *Tiempo de degradación de materiales de empaque y materiales de productos comerciales*

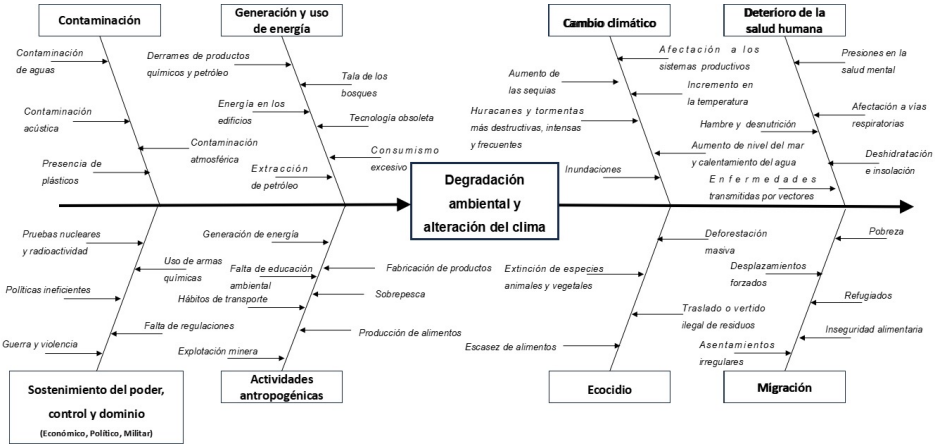
Producto/Material	Años	Producto/Material	Años
Papel y cartón	1	Cuero	5
Latas de aluminio	10	Botellas de plástico	100-1 000
Bolsas de plástico	150	Tetrapak	30
Pañales	500	Plásticos	500
Fibras sintéticas	400	Unicel	800
Celofán	2	Botella de vidrio	4 000
Encendedor	100	Madera	15

Fuente: Elaboración propia con información de Bibayoff (2021).

Resultados y discusión

A partir de los referentes expuestos anteriormente, producto de la revisión documental y aplicando la metodología descrita para la construcción del diagrama causa-efecto, se procedió a elaborar un diagrama de causa-efecto del problema definido como: *Degradación ambiental y alteración del clima*. Se identificaron cuatro categorías principales de causas y se agruparon las causas menores tomando en consideración esas categorías denominadas como Contaminación, Generación y uso de energía, Sostenimiento del poder, control y dominio y Actividades antropogénicas. Se procedió de igual forma para la agrupación de los efectos, para lo cual se establecieron cuatro categorías: Cambio climático, Deterioro de la salud humana, Ecocidio y Migración. El diagrama resultante del análisis causa-efecto se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Diagrama causa-efecto para el análisis del problema de la degradación ambiental y alteración del clima



Estrategias para el cambio

La degradación ambiental y la alteración del clima en el planeta Tierra requieren un enfoque global, con la colaboración urgente de gobiernos, sociedades y empresas. Es de vital importancia que el gobierno y la sociedad apliquen medidas para disminuir los efectos tan perjudiciales del cambio climático, para que de manera conjunta se planteen distintas opciones de adaptación y mitigación (De la Barrera, 2022). La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastres (UNDRR) y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) plantean algunas acciones clave para reducir las afectaciones al medio ambiente y los riesgos ocasionados por desastres naturales (UNDRR, 2023). Utilizando como referencia el diagrama causa-efecto elaborado y las acciones que proponen los organismos internacionales se plantean las siguientes estrategias:

Concientización pública y educación: El desarrollo de programas sostenidos de información pública y la inclusión de la prevención de desastres en los programas educativos a todos los niveles son fundamentales. Estas acciones deben abarcar no solo a la población general, sino también a los grupos específicos como empresarios, líderes comunitarios y autoridades gubernamentales.

mentales. La creación de sociedades más conscientes de los riesgos y responsables del cuidado ambiental facilitaría la adopción de prácticas más sostenibles.

Compromiso y liderazgo de las autoridades públicas: Las autoridades deben involucrarse activamente en la reorientación de los recursos, para integrar prácticas de reducción de riesgos en todos los proyectos de desarrollo. La institucionalización de la capacitación sobre gestión de riesgos y prevención de desastres será crucial, así como la promoción de políticas que aseguren un mayor compromiso con la sostenibilidad. Además, debe promoverse una mayor cooperación internacional e interagencial para crear sinergias y facilitar la implementación de soluciones climáticas.

Innovación en financiamiento y cooperación internacional: Se necesita un financiamiento innovador que involucre tanto a los sectores públicos como privados. Los países industrializados deben cumplir su compromiso de aportar recursos a los países en desarrollo, facilitando su adaptación a los impactos climáticos. Los esfuerzos de adaptación y mitigación deben ser respaldados por inversiones sustanciales, dado que la inacción es mucho más costosa a largo plazo. Esto incluye la promoción de tecnologías de energía limpia, la creación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, y el establecimiento de políticas para la gestión eficiente de los recursos naturales.

Implementación de políticas globales para emisiones cero: Es urgente establecer acuerdos internacionales que establezcan objetivos claros para alcanzar emisiones cero de gases de efecto invernadero para el año 2050, con un recorte significativo de las emisiones antes de 2030. Para esto, será necesario realizar una transición significativa hacia energías renovables, reduciendo de manera drástica el uso de carbón, petróleo y gas. De igual manera, se deben fomentar políticas y acuerdos que ayuden a las naciones a reducir su dependencia de los combustibles fósiles y promover la energía limpia.

Inversión en investigación y tecnología: El conocimiento científico y la investigación aplicada juegan un papel crucial en la formulación de soluciones

efectivas. El desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de energía limpia y la optimización de los recursos renovables es una estrategia que debe ser impulsada a gran escala. En este sentido, es necesario invertir en la creación de sistemas que aprovechen de manera eficiente la energía solar, eólica e hidráulica, así como en la mejora de procesos industriales que reduzcan la contaminación.

Acción para mitigar los efectos de las actividades antropogénicas: La reducción de la contaminación, la implementación de sistemas de recolección y distribución de agua de lluvia, y la promoción de la eficiencia energética son acciones que deben llevarse a cabo en todos los niveles de la sociedad. El tratamiento adecuado de aguas residuales y la gestión integral de desechos sólidos son medidas esenciales para reducir la carga ambiental de las actividades humanas.

Restauración ecológica y conservación de la biodiversidad: El ecocidio, que incluye la destrucción de ecosistemas clave y la extinción de especies, es uno de los efectos más graves de la degradación ambiental. Es necesario implementar programas de reforestación, conservación de hábitats naturales y el fortalecimiento de las áreas protegidas. A través de políticas y acuerdos internacionales, debe fomentarse la protección de la biodiversidad y la creación de corredores biológicos que faciliten la resiliencia de los ecosistemas ante el cambio climático.

Adaptación a los impactos del cambio climático y manejo de la migración: Los efectos del cambio climático, como fenómenos meteorológicos extremos, están impulsando desplazamientos humanos. Las políticas de adaptación deben enfocarse en fortalecer la resiliencia de las comunidades más vulnerables, especialmente en zonas agrícolas y urbanas. Además, es fundamental garantizar la protección de los derechos humanos de los migrantes, promoviendo políticas que faciliten su integración y acceso a recursos en nuevos lugares de residencia.

Las soluciones al cambio climático generarán beneficios económicos y protegen el medio ambiente. Existen marcos y acuerdos globales para esto,

como los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Acuerdo de París. Hay tres rutas de acción: reducir las emisiones, adaptarse a los impactos climáticos y financiar los ajustes necesarios.

Conclusiones

La degradación ambiental está teniendo un impacto cada vez más evidente en el cambio climático, con consecuencias graves y de alcance global. Las temperaturas extremas, los tornados y huracanes más frecuentes y de mayor intensidad son solo algunas de las manifestaciones de un fenómeno que sigue en ascenso. Este patrón de eventos climáticos extremos apunta a un escenario aún más devastador en el futuro cercano, mientras que la ocurrencia de sismos se incrementa, elevando la amenaza de un terremoto de gran magnitud.

La interacción de estos fenómenos ha generado una alarmante ampliación de la brecha entre áreas desérticas y las inundaciones, lo que está alterando la calidad del suelo y reduciendo sus capacidades productivas. Esta pérdida de recursos naturales, en el contexto de una creciente población mundial, agrava la crisis alimentaria. A pesar de los avances tecnológicos, el hambre persiste como un problema global, lo que evidencia la necesidad urgente de un cambio profundo en nuestra relación con la tierra y los recursos.

La ciencia y la tecnología, aunque han logrado mejorar ciertos aspectos de la vida humana, también han contribuido a la explotación irresponsable de la naturaleza. Este progreso debe ser sometido a una revaloración crítica, cuestionando sus fines y sopesando cuidadosamente los costos y beneficios a largo plazo. Si no se realiza este análisis con urgencia, los efectos devastadores podrían ser irreversibles.

Debemos encontrar un equilibrio entre el desarrollo económico y el respeto por el medio ambiente, garantizando que los productos no solo sean accesibles y funcionales, sino también sostenibles. En este contexto, la ciencia y la tecnología deben reorientarse hacia el bienestar global, priorizando la armonía con la naturaleza y el bienestar de las futuras generaciones.

Es imperativo un cambio en las políticas y estrategias de producción que permitan satisfacer las demandas de los consumidores con productos de calidad, a un precio accesible y en armonía con la naturaleza. La ciencia y la tecnología deben enfocarse en este objetivo, por el bien de la humanidad.

Las estrategias propuestas deben ser implementadas de manera integrada, considerando las interrelaciones entre las causas y los efectos del problema de la degradación ambiental y la alteración del clima. Para ello, se necesita un enfoque holístico, basado en un pensamiento sistémico, que incluya medidas legislativas, educativas, tecnológicas y sociales, apoyadas por políticas públicas a nivel local, nacional e internacional. Solo con una acción conjunta y sostenida será posible revertir la degradación ambiental y mitigar sus efectos a largo plazo.

Referencias

- Banco Mundial. (2022a). Lo que hay que saber sobre el cambio climático y la contaminación atmosférica. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2022/09/01/what-you-need-to-know-about-climate-change-and-air-pollution#:~:text=Las%20part%C3%ADculas%20finas%20o%20aerosoles,enfermedad%20pulmonar%20obstructiva%20cr%C3%B3nica%2C%20neumon%C3%ADa%2C>
- Banco Mundial. (2022b). The Global Health Cost of PM2.5 Air Pollution. A Case for Action Beyond 2021. <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/550b7a9b-4d1f-5d2f-a439-40692d4eedf3/content>
- Bezanilla, A. (2018). El Fracking, extracción de hidrocarburos altamente contaminante y sin regulación. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático. UNAM. Disponible en <https://www.atmosfera.unam.mx/el-fracking-extraccion-de-hidrocarburos-altamente-contaminante-y-sin-regulacion/>
- Bibayoff, A. (31 May, 2021). ¿Cuánto tardan en degradarse los productos que usamos? EZPAK. <https://ezpak.mx/blogs/news/cuanto-tardan-en-degradarse-los-productos-que-usamos>
- Bindoff, N.L., P.A. Stott, K.M. AchutaRao, M.R. Allen, N. Gillett, D. Gutzler, K. Hansingo, G. Hegerl, Y. Hu, S. Jain, I.I. Mokhov, J. Overland, J. Perlwitz, R. Sebbari and X. Zhang. (2013). Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Burger, M., & Tigre, M. A. (2023). Global Climate Litigation Report: 2023 Status Review. Sabin Center for Climate Change Law, Columbia Law School & United Nations Environment Programme. https://scholarship.law.columbia.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1203&context=sabin_climate_change
- Chubb. (s.f.). Contaminación industrial: causas y maneras de evitarla. Chubb. Recuperado de <https://www.chubb.com/mx-es/mercado-empresarial/articulos/que-es-contaminacion-industrial.html>
- De la Barrera, E. (2022). Posibles estrategias para detener el cambio climático. Revista Nexos. Disponible en <https://medioambiente.nexos.com.mx/posibles-estrategias-para-detener-el-cambio-climatico/>
- EnviroModeling. (2022). Impacto ambiental. <https://enviromodeling.cl/impacto-ambiental/>
- Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades. (2017). Revolución Industrial. Portal Académico del CCH. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/historiauniversal1/unidad3/revolucionindustrial>
- Félix, E. E., Schilman, A., Hurtado, M., Texcalac, J. L. & Riojas, H. (2020). Revisión rápida: contaminación del aire y morbilidad por Covid-19. Salud Pública de México, 62(5), 582-589. <https://doi.org/10.21149/11481>
- Gobierno del Distrito Federal. (2012). Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2012. Secretaría del Medio Ambiente (SMA), Gobierno del Distrito Federal. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164910/Inventario-emisioneszmvm2012.pdf>
- Gutierrez, V. (2022). ¿Qué son las partículas PM10 y PM2.5? <https://perspectivas.mx/articulo-que-son-las-particulas-pm10-y-pm2-5/>
- Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas y Tecnología. (s.f.). La Revolución Industrial y sus consecuencias en el medio ambiente. INCAT. <https://institutonacional.cl/wp-content/uploads/2019/06/8%C2%B0-Tecnolog%C3%ADa-Revolucion-industrial.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2021). México ante el Cambio Climático. Sitio oficial de país. México. <https://cambioclimatico.gob.mx/impactos-del-cambio-climatico-en-mexico/>
- Ecologistas en acción. (2008). ¿Qué son las PM2,5 y cómo afectan a nuestra salud? [Página Web]. Número 58. Disponible en <https://www.ecologistasenaccion.org/17842/que-son-las-pm25-y-como-afectan-a-nuestra-salud/>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2021). México ante el Cambio Climático. Sitio oficial de país. México. Disponible en <https://cambioclimatico.gob.mx/impactos-del-cambio-climatico-en-mexico/>
- Instituto Nacional de Ecología. (1997). Sistema Integrado de Regulación Directa y Gestión Ambiental de la Industria. Segunda edición, SEMARNAP / INE, México.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Disponible en https://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019a). Informe especial sobre calentamiento global de 1.5°C. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019b). Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. <https://www.ipcc.ch/srocc/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Linares, C. (2007). Las PM2,5 y su impacto sobre la salud. El caso de la ciudad de Madrid. *Ecosostenible*, 35, 32-37.
- Linares, C. y Díaz, J. (2008). Las PM2,5 y su afección a la salud. *El Ecologista*, 58, 46-49.
- Linares, C., Díaz, J., Negev, M., Martínez, G. S., Debono, R. & Paz, S. (2020). Impacts of Climate Change on the Public Health of the Mediterranean Basin Population - Current Situation, Projections, Preparedness and Adaptation. *Environmental Research*. 182, 109107. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109107>
- NASA. (2024). Causas del cambio climático. Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA). <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/causas/>
- National Geographic. (2024). El desecho plástico más común de todo el planeta es un producto capaz de liberar microplásticos. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/10/el-desecho-plastico-mas-comun-de-todo-el-planeta-es-un-producto-capaz-de-liberar-microplasticos>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2024). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (WWDR). Agua para la prosperidad y la paz. UNICEF. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391195>
- Organización de las Naciones Unidas. (2022). COP27: ¿Qué es el cambio climático?. <https://unric.org/es/que-es-el-cambio-climatico/>
- Organización de las Naciones Unidas. (2023a). El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 2022. ONU. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/41679/Annual_Report_2022.pdf?sequence=3
- Organización de las Naciones Unidas. (2023b). Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, Objetivo 6: Garantizar el acceso al agua y al saneamiento para todos. ONU. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>
- Organización de las Naciones Unidas. (2024). Causas y efectos del cambio climático. ONU. <https://www.un.org/es/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
- Organización Meteorológica Mundial. (2017). Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre el cálculo de las normales climáticas. https://library.wmo.int/viewer/60338/download?file=1203_es.pdf&type=pdf
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). Agua para consumo humano. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organización Mundial de la Salud. (2014). Siete millones de muertes cada año debi-

- das a la contaminación atmosférica. <https://www.who.int/es/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution>
- Organización Mundial de la Salud. (2021). Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire. OMS. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/346062/9789240035461-spa.pdf?sequence=1>
- Organización Mundial de la Salud. (2024a). Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud. OMS. [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)
- Organización Mundial de la Salud. (2024b). Tormentas de arena y de polvo. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sand-and-dust-storms?utm_source=chatgpt.com
- Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). Calidad del aire. Sitio de la OPS. Recuperado el 16 de junio de 2024 de <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Paz, R. (2018). El fracking contamina la atmósfera e inutiliza el agua. Gaceta UNAM. <https://www.gaceta.unam.mx/el-fracking-contamina-la-atmosfera-e-inutiliza-el-agua>
- Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES). (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (s.f.). Beat Plastic Pollution. ONU. <https://www.unep.org/interactives/beat-plastic-pollution/?lang=ES>
- Raine, A. (2021). Cómo las nuevas leyes podrían ayudar a combatir la crisis planetaria. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/como-las-nuevas-leyes-podrian-ayudar-combatir-la-crisis-planetaria>
- Sánchez, G. N. (2003). Técnicas participativas para la planeación. México: Fundación ICA. Libro digital.
- Sánchez, G. N. (2016). Técnicas heurísticas participativas para la planeación. Procesos breves de intervención. México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y Plaza y Valdés Editores.
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2023). Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2020. Dirección General de Calidad del Aire, Dirección de Proyectos de Calidad del Aire. Ciudad de México. <http://data.sedema.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/docpub/sedema/inventario-emisiones-cdmx-2020bis.pdf>
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024). Reporte del Clima en México 2024. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/Anual2024.pdf>
- Stop Ecocidio Internacional. (2017). Definición jurídica del ecocidio. <https://es.stopecocide.earth/about>

- UNDRR (2023). Oficina de las Naciones Unidas para la reducción de riesgos de desastres. <https://www.undrr.org/es>
- Universidad de Burgos. (2020). Cambio climático e historia de la tierra. Universidad de Burgos. <https://www.ubu.es/adaptacion-al-cambio-climatico-en-las-universidades-accue/el-cambio-climatico/cambio-climatico-e-historia-de-la-tierra>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2023). Estado y perspectivas del cambio climático en México: un punto de partida. Francisco Estrada Porrúa, Jorge Zavala Hidalgo, Amparo Martínez Arroyo, Graciela Raga y Carlos Gay García (Coord.). UNAM - Programa de Investigación en Cambio Climático (PINCC) y el Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (ICAYCC). <https://cambioclimatico.unam.mx/wp-content/uploads/2023/11/estado-y-perspectivas-del-cambio-climatico-en-mexico-un-punto-de-partida-unam.pdf>