

Ambiente y salud (Parte I)

Salvatore Verlezza  0009-0008-8234-614X

Recibido: 14 mayo 2025

Aceptado: 22 mayo 2025

Resumen

En "Ambiente y Salud " se aborda cómo los factores ambientales impactan la salud, destacando el cambio climático como una amenaza significativa. Examina determinantes como la contaminación del aire y agua, exposición a sustancias tóxicas, fenómenos climáticos extremos, vinculados a enfermedades respiratorias, cardiovasculares e infecciosas. Resalta datos claves de la OMS y OPS, como la falta de acceso a agua potable y saneamiento, riesgos químicos y vulnerabilidad climática en comunidades específicas. Revisa los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionados con la salud ambiental y la conexión entre naturaleza y bienestar, promoviendo actividades en entornos naturales para mejorar la salud biológica, mental y física.

El artículo redefine el concepto de salud, integrando sostenibilidad y equilibrio ecológico, y analiza cómo el cambio climático afecta directamente la salud mediante eventos extremos e indirectamente a través de la seguridad alimentaria y enfermedades. Además, introduce el concepto de exposoma, que estudia las interacciones entre factores genéticos y ambientales en la salud.

Finalmente, destaca la importancia de la epigenética en la regulación génica, que algunas alte-

raciones pueden transmitirse intergeneracionalmente, afectando el fenotipo de la descendencia; relacionándolo con enfermedades; subrayando la necesidad de abordar los riesgos ambientales para mejorar la salud global.

Palabras clave: ambiente y salud; fenómenos climáticos; equilibrio ecológico; epigenética.

Environment and health (Part I)

Salvatore Verlezza

Abstract

"Environment and Health" addresses how environmental factors impact health, highlighting climate change as a significant threat. It examines determinants such as air and water pollution, exposure to toxic substances, and extreme weather events, all linked to respiratory, cardiovascular, and infectious diseases. It highlights key data from the WHO and PAHO, such as the lack of access to safe drinking water and sanitation, chemical risks, and climate vulnerability in specific communities. It reviews the Sustainable Development Goals (SDGs) related to environmental health and the connection between nature and well-being, promoting activities in natural environments to improve biological, mental, and physical health.

The article redefines the concept of health, integrating sustainability and ecological balance, and analyzes how climate change directly affects health through extreme events and indirectly through food security and disease. It also introduces the concept of the exposome, which studies the

* Servicio de Medicina Interna, Hospital General del Oeste, José Gregorio Hernández. Caracas, Venezuela
* Miembro de la SVMI;
correo: verlezza@gmail.com

interactions between genetic and environmental factors on health. Finally, it highlights the importance of epigenetics in gene regulation, as some alterations can be transmitted intergenerationally, affecting the phenotype of offspring; linking it to disease; and underscoring the need to address environmental risks to improve global health.

Key words: environment and health; climatic phenomena; ecological balance; epigenetics.

Introducción

El cambio climático podría ser la mayor amenaza para la salud del siglo XXI, impactando vidas tanto directa como indirectamente.

El área de la salud ambiental examina cómo los factores ambientales afectan la salud humana. Incluyen la contaminación del aire y del agua, el cambio climático, y la exposición a sustancias tóxicas, que están asociados con resultados adversos en enfermedades comunes como diabetes, enfermedades respiratorias, inmunológicas y cardíacas. El cambio climático tiene un impacto significativo en la salud humana, afectando tanto a nivel directo como indirecto a través de la alteración de los determinantes ambientales y sociales de la salud. Los cambios en la temperatura, los patrones de precipitación, el nivel del mar y los eventos climáticos extremos están desestabilizando los principales determinantes de la salud humana.

Asociados con el aumento en la mortalidad y morbilidad cardiopulmonar, afecta el sistema inmunológico humano, alterando la respuesta inmune y la defensa de barrera, lo que puede llevar al aumento en la prevalencia de enfermedades no transmisibles. También está vinculado a la transmisión de muchas enfermedades infecciosas, incluidas las enfermedades transmitidas por vectores y por el agua, como dengue, malaria y cólera. Estos cambios reflejan los impactos de la temperatura, la humedad y otros fenómenos climáticos en los patógenos, vectores y hospedadores animales.

El cambio climático podría tener efectos devastadores en la salud humana y ambiental. La gama de amenazas que éste representa para la salud es

amplia, diversa y compleja, lo que plantea importantes desafíos para los sistemas de salud y para la arquitectura sanitaria global.

Un medio ambiente saludable es esencial para garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades. La salud pública ambiental estudia la intersección entre el medioambiente y la salud humana, analizando los determinantes ambientales que afectan la salud, como factores físicos, químicos y biológicos. Estos determinantes son cruciales, ya que su deterioro puede impactar negativamente en la salud de la población.^{1,2}

Datos claves sobre salud y medio ambiente

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), se destacan los siguientes puntos:

Acceso al agua y saneamiento:

- 28 millones de personas carecen de acceso a agua mejorada.
- 83 millones no tienen instalaciones adecuadas de saneamiento.
- 15.6 millones practican la defecación al aire libre, lo que causa cerca de 30,000 muertes evitables anuales.

Riesgos químicos:

- Plomo y mercurio afecta desproporcionadamente a niños y mujeres embarazadas, causando trastornos de salud crónicos.

Impacto del clima:

- Aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, inseguridad alimentaria y cambios en la transmisión de enfermedades debido a fenómenos meteorológicos extremos.

Vulnerabilidad climática:

- Las Comunidades en islas pequeñas y montañas enfrentan riesgos desproporcionados.

Nuevos peligros ambientales:

- Desechos electrónicos, microplásticos y escasez de agua.

Desafíos de gestión:

- Contaminación interregional, incluyendo contaminación del aire transfronteriza.

Objetivos de desarrollo sostenible (ods) (Figura 1)

Cinco ODS de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas abordan los determinantes ambientales de la salud que busca garantizar vidas saludables. Estos ODS incluyen temas de agua, saneamiento, calidad del aire, seguridad química y acción climática.^{1,3}

Figura. 1



Conexión con la naturaleza

El crecimiento urbano proyectado al 70% en 2030 está vinculado a comportamientos poco saludables; reconectar con la naturaleza y fomentar la actividad física en entornos naturales, puede mitigar estos efectos negativos. Aunque existen riesgos, los beneficios para la salud y el bienestar son significativos, incluyendo: Mejora de la salud mental y emocional, reducción del estrés con mejora de la calidad del sueño, fortalecimiento de la cohesión social y vínculos intergeneracionales; desarrollo de habilidades motoras y cognitivas en niños y jóvenes.^{4,5,6}

Concepto de salud

En 1946, la OMS definió la Salud como «un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades».⁷ Esta definición buscó guiar la gobernanza sanitaria a nivel nacional y mundial. Sin embargo, su naturaleza utópica y el uso del término "completo" pueden llevar a la percepción errónea de que casi todos los individuos están enfermos, especialmente en el contexto del envejecimiento. Además, no considera las condiciones de

vida ni los diversos factores que influyen en la salud de las personas.^{7,8}

La definición de Salud ha evolucionado para incluir conceptos más amplios y dinámicos. Según la literatura médica, la Salud se puede ver como un conjunto de características organizativas y dinámicas que mantienen la fisiología, lo que abarca: compartimentalización espacial, mantenimiento de la homeostasis y respuestas adecuadas al estrés.^{8,9}

El diccionario de Salud Pública de Last¹⁰ ofrece una definición alternativa que destaca la sostenibilidad: “Un estado sostenible de equilibrio o armonía entre los seres humanos y su entorno físico, biológico y social, que les permite coexistir indefinidamente”. Esta visión ecológica entiende la Salud como un fenómeno dependiente de su sostenibilidad y de la interrelación con el entorno circundante.

¿Qué tiene que ver el cambio climático y la salud?

El cambio climático es un fenómeno que se está acelerando debido principalmente a la quema de combustibles fósiles y cambios en el uso del suelo, como la agricultura y la silvicultura. Sin medidas urgentes para reducir las emisiones de carbono, se prevé que el calentamiento global (CGb) supere los 1.5 °C establecidos en el Acuerdo de París, alcanzando potencialmente más de 3 °C para finales de siglo.¹¹

Impactos directos en la Salud:^{12,13} Eventos climáticos extremos: aumento en la frecuencia de olas de calor, inundaciones y huracanes, causando lesiones, enfermedades y muertes y, la contaminación del aire: con agravamiento de enfermedades respiratorias, como el asma.

Impactos indirectos en la Salud:^{14,15} Seguridad alimentaria y malnutrición: cambios en la disponibilidad de agua y alimentos y enfermedades infecciosas: alteraciones en la epidemiología, con aumento en la propagación de enfermedades transmitidas por vectores debido a cambios en la temperatura y precipitación.

Población vulnerable: Los niños son especialmente susceptibles a los efectos del cambio climático,

lo que incluye: problemas de salud relacionados con el calor y la contaminación del aire, inseguridad alimentaria e impactos en la salud mental y exacerbación de desigualdades, especialmente en comunidades de bajos ingresos.

Salud cardiovascular y mental:^{16,17} Las temperaturas extremas y la contaminación del aire aumentan el riesgo de eventos cardiovasculares y condiciones como accidentes cerebrovasculares (ACV) y trastornos de salud mental, pueden verse afectadas por el cambio climático.

Ambiente como determinante de la salud

El ambiente ha sido un tema de debate a lo largo de la historia, y su relevancia ha aumentado en el contexto actual de sostenibilidad y salud. La OMS considera que un entorno saludable es un derecho humano fundamental, y todos tienen la responsabilidad de garantizarlo. Esto incluye crear ambientes que reduzcan riesgos físicos, químicos y biológicos, y asegurar el acceso a recursos esenciales para la Salud.¹⁸

La salud ambiental se refiere a los aspectos de la salud humana determinados por factores ambientales, incluyendo: prevención de enfermedades: creación de entornos que promuevan la salud y la carga global de enfermedades: una parte significativa se debe a factores de riesgo ambientales, como la contaminación del aire, agua no segura y exposición a productos químicos.

El "ambiente" abarca todos los elementos que influyen en la vida y desarrollo de los organismos, incluyendo factores físicos, químicos, biológicos y sociales. Estos pueden afectar significativamente los índices de morbilidad y patrones de enfermedades.¹⁹

Las vertientes de la salud ambiental:^{20,21,22} 1. Enfoque verde: centrado en los efectos de la actividad humana sobre el ambiente (deterioro de la capa de ozono, deforestación, etc.). 2. Enfoque azul: estudia los efectos del ambiente sobre la salud y calidad de vida de la humanidad, adoptado por la OMS como "salud ambiental o planetaria".

La OMS define la salud ambiental como aque-

llos aspectos de la salud humana que son determinados por factores en el entorno, esto incluye: evaluación y control de factores que pueden afectar la salud y prevención de enfermedades y promoción de un ambiente saludable. La contaminación del aire es identificada como uno de los mayores riesgos para la salud ambiental, impactando en enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer de pulmón. La salud ambiental implica una perspectiva activa hacia el entorno, no sólo protegiéndolo de la contaminación, sino también reconociéndolo como una fuente que puede promover salud y bienestar.²²

Un poco de historia sobre el clima y la salud

La relación entre el clima y la salud ha sido objeto de estudio durante más de 2,400 años, comenzando con Hipócrates quien, en su tratado sobre aires, aguas y lugares, estableció la conexión entre el clima y las enfermedades. Este fue el primer intento sistemático de relacionar las condiciones ambientales con la salud humana.²³

Impactos en el Imperio Romano: Enfermedades:

Los romanos enfrentaron epidemias como la Peste Antonina y la Peste de Cipriano, así como enfermedades transmitidas por agua contaminada y la gonorrea. Contaminación: La intoxicación por plomo fue común, afectando la salud mental y la tasa de natalidad de la aristocracia, lo que contribuyó a la decadencia del Imperio Romano. La minería también introdujo antimonio en el medio ambiente, y la deforestación provocó la erosión del suelo y la propagación de enfermedades como la malaria.^{24, 25, 26}

Cultura Inca y Salud: Los incas, en el Tawantinsuyo, entendían la salud como un equilibrio con la naturaleza. Su arquitectura y urbanismo, ejemplificados en Machu Picchu, reflejan un enfoque sostenible y una profunda conexión con el entorno natural.²⁷

Epidemias históricas: A lo largo de la historia, se han documentado epidemias vinculadas a cambios climáticos, como la Peste Negra en el siglo XIV y la introducción de enfermedades en América tras la conquista, que devastó a las poblaciones nativas.^{28,29}

Cambios recientes: En la década de 1990, el brote de Hantavirus en EE. UU. se asoció al aumento de las lluvias y la proliferación de ratones. Estudios recientes sugieren que el cambio climático puede exacerbar enfermedades emergentes como malaria, dengue y encefalitis.³⁰ La pandemia de COVID-19, declarada en marzo de 2020, tuvo un impacto significativo en la salud y la economía global. Aunque se observaron reducciones temporales en las emisiones de CO₂, también surgieron desafíos ambientales, como el aumento de desechos tóxicos y la contaminación.^{31,32, 33}

Paradigmas epidemiológicos (Figuras 2,3 y 4)

Los paradigmas epidemiológicos son marcos conceptuales que han guiado la evolución de la epidemiología a lo largo de la historia, identificándose 3 eras principales:³⁴

- Era de las estadísticas sanitarias: el paradigma del miasma: Propone que las enfermedades son causadas por "malos aires" o emanaciones nocivas. Este enfoque se centra en mejorar las condiciones sanitarias para prevenir enfermedades antes del desarrollo de la teoría de los gérmenes.
- Era de la epidemiología de enfermedades infecciosas: teoría de los gérmenes: se enfoca en identificar agentes patógenos específicos responsables de enfermedades infecciosas. Este paradigma permitió avances significativos en la prevención y tratamiento mediante vacunas y antibióticos. Se representa a través de la tríada ecológica, que incluye: agente epidemiológico, huésped epidemiológico y ambiente epidemiológico.
- Era de la epidemiología de enfermedades crónicas: paradigma de la "caja negra": Se centra en identificar factores de riesgo asociados con enfermedades crónicas sin entender completamente los mecanismos biológicos subyacentes. Este enfoque ha sido útil para establecer asociaciones entre factores de riesgo y enfermedades como las cardiovasculares y el cáncer.

Nuevos Enfoques: La ECO-EPIDEMIOLOGÍA o "paradigma de las cajas chinas": Este nuevo

enfoque busca integrar múltiples niveles de organización, desde lo molecular hasta lo social, permitiendo un análisis más completo de los problemas de salud pública complejos.³⁵ Relación entre paradigmas: El paradigma de la "caja negra" se centra en la observación de relaciones entre exposiciones y resultados de salud sin entender los mecanismos, mientras que el de las "cajas chinas" propone una comprensión más integradora de estas interacciones. Se destaca la necesidad de un cambio hacia un enfoque más holístico y multidisciplinario, especialmente en contextos de crisis de salud pública

Figura 2: TRIADA ECOLÓGICA

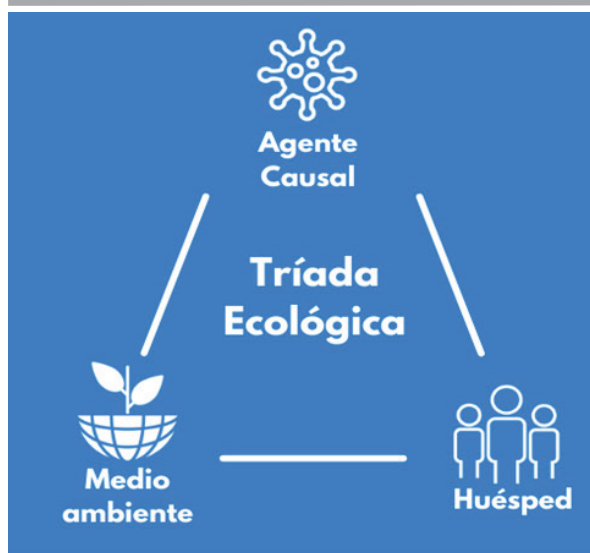
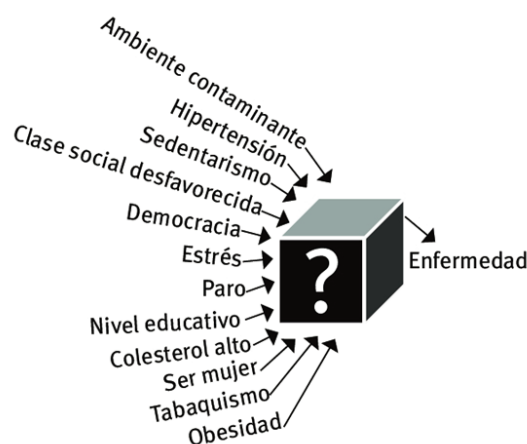


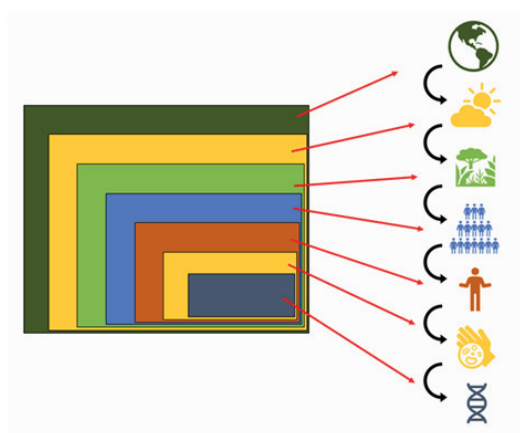
Figura 3: CAJA NEGRA



como la pandemia de COVID-19, donde es crucial evaluar los impactos fisiológicos, psicológicos, conductuales y sociales de manera integral.³⁶

Se refiere a la totalidad de las exposiciones ambientales que un individuo experimenta a lo largo de su vida y las respuestas biológicas asociadas. Este concepto busca entender cómo los factores ambientales influyen en la salud humana, capturando la complejidad de las exposiciones, que incluyen: químicos sintéticos, componentes dietéticos, estresores psicosociales y factores físicos.³⁷

Figura 4: EXPOSOMA



La exposómica es el estudio del exposoma, similar al Proyecto Genoma Humano, pero enfocado en identificar determinantes ambientales de la salud. Este enfoque transdisciplinario permite descubrir factores no genéticos que contribuyen a las enfermedades, incluyendo estresores químicos ambientales.³⁸ El avance en la investigación de la exposómica ha sido impulsado por tecnologías analíticas como la espectrometría de masas de alta resolución y plataformas de metabolómica, que permiten caracterizar de manera cuantitativa el exposoma humano, abarcando: metabolitos endógenos, productos químicos ambientales y derivados de microbiota.^{38,39}

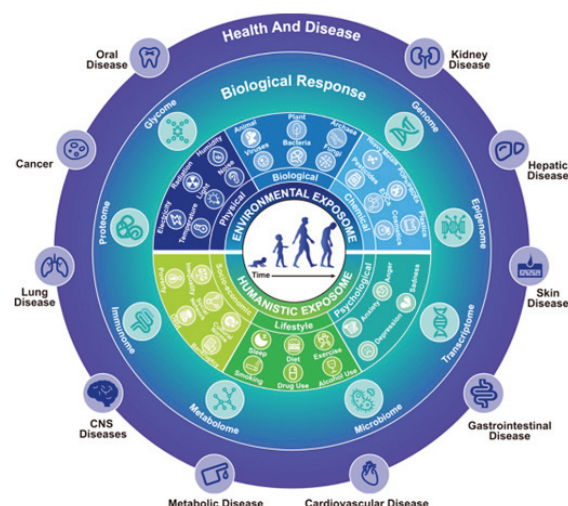
Un principio fundamental de la Biología es que el fenotipo resulta de la interacción entre genes y ambiente. Aunque la genómica ha proporcionado un profundo conocimiento genético, aún se necesita un análisis similar para el entorno. El exposoma

representa los impulsores ambientales no genéticos de la salud y la enfermedad.³⁹ Abarca diferentes categorías, incluyendo: 1. Exposomas ambientales: físicos, biológicos y químicos (ej. ruido, temperatura, bacterias, pesticidas) y 2. Exposomas humanos: socioeconómicos, estilo de vida y psicológicos (ej. desigualdad, dieta, tabaquismo, ansiedad). Puede afectar la biología de los organismos, desde la expresión génica hasta cambios metabólicos, con efectos que pueden ser adversos o beneficiosos para la Salud.³⁹

Epigenética

Es el estudio de los cambios en la actividad génica que pueden heredarse a través de divisiones celulares, sin que estos cambios se deban a alteraciones en la secuencia del ADN. Los mecanismos epigenéticos son esenciales para: regulación génica, plasticidad fenotípica, desarrollo y preservación de la integridad del genoma.⁴⁰ Los cambios epigenéticos incluyen: modificaciones químicas del ADN (ej. metilación del ADN) y modificaciones de proteínas histonas (ej. acetilación de histonas). Estas modificaciones afectan la actividad transcripcional de los genes sin alterar la secuencia del ADN.⁴¹

Figura 5: Exposomas



Tradicionalmente, se pensaba que los estados epigenéticos se borraban en cada generación. Sin embargo, existe evidencia que algunas modificaciones pueden transmitirse intergeneracionalmente,

afectando el fenotipo de la descendencia. La variación epigenética puede aumentar la plasticidad y variabilidad fenotípica así como modular el efecto de la selección natural sobre la variación genética. La epigenética es crucial en la salud humana, ya que las variaciones epigenéticas se reconocen como factores importantes en enfermedades humanas y procesos de envejecimiento.^{40,41}

La investigación en epigenética ha abierto nuevas oportunidades terapéuticas, como el uso de inhibidores de complejos epigenéticos para tratar enfermedades cardíacas. Las diferencias entre individuos suelen clasificarse en causas genéticas y ambientales, pero ambas pueden relacionarse con cambios epigenéticos en la regulación de la expresión génica. Estos cambios pueden persistir durante el desarrollo y transmitirse a lo largo de generaciones (herencia transgeneracional). A pesar de su relevancia, establecer una relación causal entre la variación epigenética y las diferencias fenotípicas ha sido un desafío. Sin embargo, nuevos enfoques genómicos están ofreciendo oportunidades para medir y manipular la variación epigenética, ayudando a esclarecer su papel en la conexión entre genotipo y fenotipo.^{41,42}

Estimaciones del riesgo de enfermedad debido al exposoma y la herebilidad

El desarrollo de enfermedades es influenciado por múltiples factores genéticos y ambientales, con un 50-80% de la etiología atribuida a factores ambientales. Las interacciones entre genética y ambiente varían según la composición genética individual y las exposiciones ambientales, siendo más significativas durante la etapa prenatal y en la infancia temprana.^{39,40}

Interacciones Gen-Ambiente: Se han identificado varias interacciones relevantes, como: mutaciones de BAP1 y Asbesto: Relación con el mesotelioma; CHD8 y Pesticidas: Asociación con el trastorno del espectro autista; Gen FTO y Actividad física: Impacto en el trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) y DRD4 y Estilo de crianza: Influencia en el TDAH.^{42,43} En salud de precisión, destaca además: Polimorfismos genéticos en enzimas metabólicas, relación entre factores genéti-

cos y respuesta a fármacos e influencia en toxicidad de medicamentos.⁴⁴

Se estima que las exposiciones ambientales son responsables del 70-90% del riesgo de enfermedad. La medición del exposoma es complicada y carece de estandarización, lo que puede llevar a subestimar su impacto en la variación del riesgo de enfermedad. La falta de estandarización en la medición del exposoma contrasta con la genómica, donde los datos son más estructurados y compartibles. Esto genera dificultades en la estimación de la variación fenotípica atribuible al exposoma.⁴⁶

Las estimaciones de variación en enfermedades pueden superar el 100% debido a la superposición de datos de estudios diferentes, como los de gemelos y estudios ambientales, que no consideran adecuadamente las interacciones genéticas y ambientales.⁴⁴ Este contexto resalta la complejidad de la interacción entre genética y ambiente en la causalidad de enfermedades, enfatizando la necesidad de mejorar la medición y estandarización de las exposiciones ambientales.^{45,46} (Tabla 1)

Tiempo y clima^{45,46,47}

El tiempo y el clima son conceptos relacionados pero distintos, diferenciándose principalmente por la escala temporal. Tiempo: Se refiere a las condiciones atmosféricas actuales en un momento y lugar específicos. Incluye elementos como presión, temperatura, precipitación, humedad, viento y nubosidad. Estas condiciones pueden cambiar rápidamente, y los meteorólogos se encargan de predecir el tiempo para los próximos días. Clima: Representa la media de las condiciones meteorológicas (temperatura, precipitación, etc.) en un lugar durante un periodo prolongado, típicamente de 30 años. Esta media permite identificar las variaciones estacionales típicas de una región y clasificar diferentes tipos de climas, como ecuatorial, tropical, desértico, entre otros. Por ejemplo, en un área con clima mediterráneo, se espera sol y calor durante el verano (clima), pero un día específico de julio podría traer lluvia y frescura (tiempo).

Los científicos han observado cambios rápidos en las variables climáticas (temperatura, nubosidad,

TABLA 1: ESTIMACIONES DEL RIESGO DE ENFERMEDAD DEBIDO AL EXPOSOMA Y LA HEREDABILIDAD

Enfermedad	Factores ambientales	Contribución del exposoma	Estimación de la heredabilidad
CV	Contaminación del aire (PM2.5), que provoca aterosclerosis, hipertensión e infarto de miocardio.	Más del 80% del riesgo de enfermedad CV es atribuible a factores ambientales y de estilo de vida	40%–60%
Diabetes tipo 2	Patrones alimentarios, obesidad, inactividad física, exposición a sustancias químicas (ftalatos, bisfenol A)	Entre 70% y 90% de la predisposición a la diabetes tipo 2 se explica por exposiciones ambientales, estilo de vida y predisposición genética	25%–75%
Asma y enfermedades respiratorias	Contaminantes del aire (NO ₂ , O ₃), alérgenos de interiores (ácaros del polvo, moho), humo de tabaco, exposiciones ocupacionales	Entre 60% y 70% de la incidencia del asma se atribuye a factores ambientales, especialmente exposiciones en etapas tempranas de la vida	35%–95%
Cáncer	Tabaquismo, factores dietéticos, consumo de alcohol, exposición al sol, contaminantes ambientales	Entre 70% y 90% de los cánceres se atribuyen a factores ambientales el estilo de vida también juega un papel dominante	Varía ampliamente, desde bajo (15%) a alto (>80%) dependiendo del tipo
Enfermedades neurodegenerativas (Alzheimer)	Inactividad física, dieta, exposición a la contaminación del aire, exposiciones ocupacionales	Hasta el 60% del riesgo de enfermedades neurodegenerativas se explica por factores ambientales	25%–80%, dependiendo de casos familiares o esporádicos

CV: enfermedad cardiovascular O₃: Ozono NO₂: dióxido de nitrógeno

etc.) a lo largo de periodos largos (más de 30 años). Estos cambios son más difíciles de percibir debido a su escala temporal y pueden incluir:

Aumento del nivel del mar, derretimiento de capas de hielo y glaciares y alteraciones en los patrones estacionales.

El cambio climático se manifiesta de manera menos inmediata, lo que complica su apreciación en comparación con las variaciones diarias del tiempo.

Cambio climático^{48,49,50}

Estamos en una etapa crítica frente al cambio climático, considerado el mayor desafío de nues-

tra era. Este fenómeno se manifiesta a través de señales evidentes, como patrones meteorológicos erráticos que amenazan la producción de alimentos y el aumento del nivel del mar, que incrementa el riesgo de inundaciones devastadoras. Si no se actúa de inmediato, adaptarse a sus consecuencias será mucho más complicado y costoso en el futuro.

Se define como la alteración de las condiciones climáticas de la Tierra, principalmente impulsada por la actividad humana. El aumento de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x) son un factor crítico. Estas emisiones provienen del uso de energía eléctrica, dependencia de combustibles fósiles, contaminación del transporte y gestión inadecuada de residuos.

El cambio climático tiene repercusiones económicas y sociales significativas, afectando especialmente a los países en desarrollo que son menos capaces de enfrentar estos desafíos. Las consecuencias ambientales incluyen: sequías en ríos, escasez de agua potable, alteraciones en la producción de alimentos y aumento en la frecuencia de desastres naturales (sequías, olas de calor, inundaciones).

Hechos fundamentales

1. Relación entre GEI y temperatura: La concentración de GEI en la atmósfera está directamente relacionada con la temperatura media global.
2. Aumento GEI desde la Revolución Industrial: La concentración de GEI ha

aumentado progresivamente desde la Revolución Industrial, elevando la temperatura del planeta.

3. **Dominancia del Dióxido de Carbono:** El CO₂ es el GEI más abundante, representando aproximadamente dos tercios de todos los GEI, principalmente por la quema de combustibles fósiles.

Otras consecuencias del cambio climático

- **Acidificación y contaminación del agua:** Aumento de CO₂ en el aire afecta la calidad del agua.
- **Fenómenos meteorológicos extremos:** Huracanes, ciclones, sequías e inundaciones son los más frecuentes.
- **Impacto en la biodiversidad:** Muerte, migración y extinción de especies, especialmente marinas.
- **Alteración del ciclo del agua:** Cambios en patrones de precipitación y escorrentía.
- **Aumento del nivel del mar:** Causado por el deshielo de glaciares y casquetes polares.
- **Aparición de enfermedades:** Incremento de enfermedades como dengue y malaria.
- **Agotamiento de recursos naturales:** Recursos esenciales para la vida humana se están reduciendo.

El cambio climático es un fenómeno complejo que exige acción inmediata y coordinada para mitigar sus efectos y adaptarse a sus consecuencias.

Calentamiento global^{48,49,50}

El calentamiento global (CGb) es el resultado de la absorción de energía solar por la Tierra, que al calentarse, emite calor en forma de rayos infrarrojos. Parte de este calor es devuelto a la superficie, provocando un recalentamiento. Aunque el efecto invernadero es un fenómeno natural y necesario, el cambio climático se refiere al aumento desproporcionado de las temperaturas en la atmósfera y los océanos.

Causas del CGb

1. **Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI):**
 - **Dióxido de carbono (CO₂):** Proviene de

la quema de combustibles fósiles, deforestación y procesos industriales.

- **Metano (CH₄):** Emisiones generadas por la agricultura, ganadería y descomposición de residuos orgánicos.
- **Óxidos de nitrógeno (N₂O):** Resultan de actividades agrícolas y el uso de fertilizantes.

2. Deforestación:

- La eliminación de bosques reduce la capacidad de la Tierra para absorber CO₂, contribuyendo al aumento de este gas en la atmósfera.

3. Uso de combustibles fósiles:

- La dependencia de carbón, petróleo y gas natural para energía y transporte es una de las principales fuentes de GEI.

Efectos del CGb

- **Aumento de temperaturas:** Incremento en las temperaturas globales, afectando ecosistemas y climas locales.
- **Desglaciación:** Derretimiento de glaciares y casquetes polares, contribuyendo al aumento del nivel del mar.
- **Eventos climáticos extremos:** Mayor frecuencia de fenómenos como huracanes, sequías e inundaciones.
- **Impacto en la biodiversidad:** Alteraciones del hábitat que puede llevar a la extinción de especies.

Consecuencias a largo plazo del CGb

- **Aumento del nivel del mar:** Amenazando a comunidades costeras y ecosistemas marinos.
- **Alteraciones en la agricultura:** Cambios en los patrones de cultivo y seguridad alimentaria.
- **Problemas de salud:** Aumento de enfermedades relacionadas con el calor y la calidad del aire.

Mitigación

Para combatir el CGb, es crucial:

- **Reducir las emisiones de GEI:** A través de la transición a energías renovables y la

mejora de la eficiencia energética.

- **Promover la reforestación:** Aumentar la cantidad de árboles para absorber CO₂.
- **Fomentar prácticas sostenibles:** En agricultura, industria y transporte.

El CGb es un desafío urgente que requiere acción colectiva y sostenida para proteger nuestro planeta y sus habitantes.

Efecto invernadero⁵¹ (Figura 6)

El efecto invernadero (EIV) es un fenómeno natural crucial para la regulación de la temperatura media en la superficie del planeta. Sin este efecto, la temperatura promedio de la Tierra sería de aproximadamente -18°C, en comparación con la actual media de 15°C, lo cual es vital para la existencia de la vida.

Funcionamiento del EIV: la superficie terrestre absorbe alrededor del 70% de la radiación solar, mientras que el resto se refleja al espacio. La radiación solar absorbida se convierte en radiación infrarroja, que regresa a la atmósfera. Parte de esta radiación infrarroja se refleja de nuevo al espacio, mientras que otra parte es retenida por los GEI en la atmósfera, contribuyendo al aumento de la temperatura global.

Los principales gases responsables del efecto invernadero son: vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y ozono (O₃). Estos gases, que se encuentran de forma natural en la atmósfera, tienen la capacidad de absorber la radiación solar y redistribuirla como radiación térmica. Sin embargo, su creciente concentración, impulsada por actividades humanas, está contribuyendo al CGb.

Causas del EIV: el consumo eléctrico, calefacción y aire acondicionado, transporte y combustión de combustibles fósiles, consumo diario de materiales desechables y destrucción de ecosistemas.

Desde la era industrial, el EIV ha provocado un aumento de aproximadamente 1°C en la temperatura global. Aunque algunos cambios climáticos ya son evidentes, sus impactos actuales son limitados. Es crucial actuar rápidamente para reducir las emi-

siones de GEI.

Un aumento de la temperatura media terrestre superior a 1,5°C podría desencadenar fenómenos climáticos extremos, incluyendo: derretimiento de los hielos, aumento del nivel del mar e inundación de ciudades costeras, proliferación de huracanes devastadores, migración forzada de poblaciones y especies y desertificación de zonas fértiles, afectando la agricultura y la ganadería.

El EIV es fundamental para el clima de la Tierra, pero su intensificación por la actividad humana amenaza el equilibrio de nuestros ecosistemas.

Las dos caras del ozono⁵² (Figura 7)

El ozono (O₃) presenta dos caras en la atmósfera: el ozono estratosférico (ozono bueno) y el ozono troposférico (ozono malo). El ozono estratosférico, está ubicado en la parte alta de la atmósfera, a más de 10 km sobre el suelo, actúa como un escudo natural contra la radiación ultravioleta (UV), protegiendo la salud humana, los cultivos y los ecosistemas. En las décadas de 1970 y 1980, se descubrió que los clorofluorocarbonos (CFC) estaban causando un agujero en esta capa, lo que generó preocupación global.

Figura 6: Efecto invernadero



El ozono troposférico se ubica en la tropósfera, cerca de la superficie terrestre, representando el 10% del ozono atmosférico. En altas concentraciones, el ozono troposférico es perjudicial para la salud humana, los cultivos y la vegetación natural. Se produce a partir de reacciones químicas entre contaminantes como el óxido de nitrógeno (NO₂), el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos, especialmente en condiciones cálidas y soleadas.

Impacto de la salud⁵³

El Ozono estratosférico

- **Radiación UV:** La disminución del ozono estratosférico aumenta la radiación UV-B, lo que está vinculado a un mayor riesgo de cáncer de piel, cataratas y otras enfermedades oculares.

Figura 7: Ozono



- **Protocolo de Montreal:** Ha sido clave para controlar la emisión de sustancias que agotan el ozono, mitigando algunos efectos adversos.

El Ozono troposférico

- **Problemas respiratorios y cardiovasculares:** La exposición al ozono troposférico se asocia con problemas respiratorios, especialmente en niños y ancianos. Puede inducir daño oxidativo en las células epiteliales respiratorias, provocando inflamación y daño tisular.
- **Efectos en niños:** Aumento en visitas a emergencias por asma y otras enfermedades respiratorias. Exposición a largo plazo vinculada con un mayor riesgo de asma y alergias.
- **Efectos en ancianos:** Asociado con un aumento en la mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, afectando la función cardíaca y aumentando la presión arterial.

El ozono, aunque es el mismo gas (O₃), tiene efectos muy diferentes dependiendo de su ubicación en la atmósfera. El ozono estratosférico protege la vida en la Tierra, mientras que el ozono tro-

posférico es un contaminante que amenaza la salud y los ecosistemas. Es fundamental equilibrar los beneficios y riesgos asociados con la exposición al ozono y la radiación UV.⁵⁴⁻⁵⁸

Referencias

1. Naciones Unidas, La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G. 2681-P/Rev.)
2. Castell, C. Naturaleza y salud: Una alianza necesaria. *Gaceta Sanitaria* 2020;34(2):194-196. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2019.05.016>
3. <https://www.paho.org/es/determinantes-sociales-ambientales-para-equidad-salud>
4. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
5. Hartig T et al. *Nature and Health*. Annu. Rev Public Health 2014;35:207-28. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182443>
6. Lovell, R., & Maxwell, S. Evidence Statement on the Links Between Natural Environments and Human Health, 2017. <http://hdl.handle.net/10871/31598>
7. Organización Mundial de la Salud. Constitución de la Organización Mundial de la Salud. Nueva York, EEUU: Organización Mundial de la Salud, 1946. <https://www.who.int/fr/about-us/who-we-are/constitution>
8. Leonardi, F. "La definición de salud: Hacia nuevas perspectivas". *Revista Internacional de Servicios de Salud* 2018; 48(4): 735-748. <https://doi.org/10.1177/0020731418782653>
9. López Otín C, Kroemer G. Hallmarks of Health. *Cell press* 2021;184(1):33-63. doi: 10.1016/j.cell.2020.11.034.
10. Last JM. Diccionario de salud pública. Oxford: Oxford University Press; 2007.
11. Romanello M, Di Napoli C, Drummond P, et al. The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: health at the mercy of fossil fuels. *Lancet* 2022;400(10363):1619-1654. doi: 10.1016/S0140-6736(22)01540-9.
12. Campbell-Lendrum D, Neville T, Schweizer C, Neira M. Climate Change and Health: Three Grand Challenges. *Nat Med* 2023;29(7):1631-1638. doi:10.1038/s41591-023-02438-w.
13. Covert HH, Abdoel Wahid F, Wenzel SE, Lichtveld MY. Climate Change Impacts on Respiratory Health: Exposure, Vulnerability, and Risk. *Physiol Rev*, 2023;103(4):2507-2522. doi:10.1152/physrev.00043.2022.
14. Leal Filho W, Dinis MAP, Lange Salvia A, et al. Assessing Climate Change and Health Provisions Among Staff in Higher Education Institutions: A Preliminary Investigation. *PloS One* 2024;19(5): e0304019. doi: 10.1371/journal.pone.0304019.
15. Weeda LJZ, Bradshaw CJA, Judge MA, Saraswati CM, Le Souëf PN. How Climate Change Degrades Child Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sci. Total Environ.* 2024; 920:170944. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.170944.
16. Khraishah H, Ostergard RL, Nabi SR, De Alwis D, Alahmad B. Climate Change and Cardiovascular Disease: Who Is Vulnerable?. *Arteriosclerosis, Thromb, Vasc Biol.* 2025;45(1):23-36. doi:10.1161/ATVBAHA.124.318681.
17. Sisodiya SM, Gulcebi MI, Fortunato F, et al. Climate Change and Disorders of the Nervous System. *Lancet, Neurology* 2024;23(6):636-648. doi:10.1016/S1474-4422(24)00087-5.
18. Shrikhande S, Wolf J, Vert C, et al. World Health Organization Repository of Systematic Reviews on Interventions in Environment, Climate Change and Health: A New Resource for Decision Makers, Intervention Implementers, and Researchers. *Environ Health* 2024;23(1):88. doi:10.1186/s12940-024-01105-y.
19. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/environment>
20. Sánchez González MA. Historia de la Medicina y Humanidades

- Médicas. Elsevier Health Sci 2022;472
21. Colao A, Muscogiuri G, Piscitelli P. Environment and Health: Not Only Cancer. *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(7): E724. doi:10.3390/ijerph13070724.
22. Antonelli M, Barbieri G, Donelli D. Defining a New Perspective in Environmental Health: The Healing Environment. *Int. J. Biometeorol*, 2022;66(5):1039-1044. doi:10.1007/s00484-022-02251-z.
23. Galimberti Oliveira, M. Tratados hipocráticos sobre los aires, aguas y lugares. *Rev Peru Invest Salud*. 2017;1(1):48-51
24. https://www.eldebate.com/historia/20240130/estudio-revela-devastadoras-epidemias-epoca-romana-fueron-causadas-olas-frio_170787.html
25. Gesamte Z. The history of epidemic environmental lead poisoning. *Hyg*. 1989;35(12):718-21.
26. Hemberg S. Lead poisoning in a historical perspective. *Am J Ind Med*. 2000;38(3):244-54. doi: 10.1002/1097-0274(200009)38:3<244: aid-ajim3>3.0.co;2-f. PMID: 10940962.
27. <https://www.iagua.es/blogs/luis-lujan-cardenas/machu-picchu-ingenieria-verde-santuario-agua-ii>
28. McMichael AJ. Insights from past millennia into climatic impacts on human health and survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, [on line]; 2012. 109(13), 4730-4737. <https://doi.org/10.1073/pnas.1120177109>.
29. Medlock, J. M., & Leach, S. A. Effect of climate change on vector-borne disease risk in the UK. *Lancet. Infectious diseases* [on line]; 2015. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(15\)70091-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(15)70091-5).
30. Torres F, Ceballos CM, González D, Dutil V. Efectos del cambio climático en la salud. *Rev Inf Cient* [Online].; 2019. <http://www.revinfcientifica.sld.cu/index.php/ric/articloe/view/2276>.
31. Atzrodt CL, Maknoja I, McCarthy RDP, et al. A Guide to COVID-19: A Global Pandemic Caused by the Novel Coronavirus SARS-CoV-2. *FEBS J*. 2020;287(17):3633-3650. doi:10.1111/febs.15375.
32. Ang L, Hernández-Rodríguez E, Cyriaque V, Yin X. COVID-19's Environmental Impacts: Challenges and Implications for the Future. *Sci. Total Environ*, 2023; 899:165581. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165581.
33. Roth GA, Vaduganathan M, Mensah GA. Impact of the COVID-19 Pandemic on Cardiovascular Health in 2020: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol*, 2022;80(6):631-640. doi: 10.1016/j.jacc.2022.06.008.
34. Susser M, Susser E. Choosing a Future for Epidemiology: I. Eras and Paradigms. *Am J Public Health*, 1996;86(5):668-73. doi:10.2105/ajph.86.5.668.
35. Susser M, Susser E. Choosing a Future for Epidemiology: II. From Black Box to Chinese Boxes and Eco-Epidemiology. *Am J Public Health*, 1996;86(5):674-7. doi:10.2105/ajph.86.5.674.
36. Fairman KA. Pandemics, Policy, and the Power of Paradigm: ¿Will COVID-19 Lead to a New Scientific Revolution? *Ann. Epidemiol*. 2022; 69:17-23. doi: 10.1016/j.annepidem.2022.02.005.
37. Safarlou CW, Jongsma KR, Vermeulen R. Reconceptualizing and Defining Exposomics Within Environmental Health: Expanding the Scope of Health Research. *Environ. Health Perspect*. 2024;132(9):95001. doi:10.1289/EHP14509.
38. Lai Y, Ay M, Hospital CD, Miller GW, Sarkar S. Seminar: Functional Exposomics and Mechanisms of Toxicity-Insights from Model Systems and NAMs. *Environ. Health Perspect*.2024;132(9):94201. doi:10.1289/EHP13120.
39. Wei, Xin & Huang, Zinuo & Jiang, et al (2022). Charting the landscape of the environmental exposome. *iMeta*. 1. 10.1002/imt2.50.
40. Jain R, Epstein JA. Epigenetics. *Adv Exper Med Biol*. 2024;1441:341-364. doi:10.1007/978-3-031-44087-8-18.
41. Moelling K. Epigenetics and Transgenerational Inheritance. *J Physiol* 2024;602(11):2537-2545. doi:10.1113/JP284424.
42. Webster, AK, Phillips, PC. Epigenética e individualidad: de los conceptos a la causalidad a través de escalas temporales. *Nat Rev Genet* 2025. <https://doi.org/10.1038/s41576-024-00804-z>
43. Motsinger-Reif AA, Reif DM, Akhtari FS, House JS, Campbell CR, et al. Gene-environment interactions within a precision environmental health framework. *Cell Genom*. 2024;4(7):100591. doi: 10.1016/j.xgen.2024.100591.
44. Baccarelli A., Dolinoy DC, Walker CL. Un enfoque de salud ambiental de precisión para la prevención de enfermedades humanas. *Nat. Commun*. 2023; 14:2449. doi: 10.1038/s41467-023-37626-2.
- 45.- <https://wmo.int/es>
46. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/gigawhat/buscar-articulos/articles/2022/10/clima>
47. <https://www.noaa.gov/>
48. <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/los-efectos-del-cambio-climatico/>
49. <https://www.unep.org/annualreport/es/2024?%2Fes%2F2024=>
50. <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>
51. <https://climatepromise.undp.org/es/news-and-stories/el-diccionario-climatico-una-guia-practica-para-el-cambio-climatico>
52. <https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/las-dos-caras-del-ozono.html>
53. <https://pediaa.com/what-is-the-difference-between-ground-level-ozone-and-stratospheric-ozone/>
54. Lucas RM, Yazar S, Young AR, et al. Human Health in Relation to Exposure to Solar Ultraviolet Radiation Under Changing Stratospheric Ozone and Climate. *Photochem Photobiol Sci* 2019;18(3):641-680. doi:10.1039/c8pp90060d
55. Madronich S, Bernhard GH, Neale PJ, et al. Continuing Benefits of the Montreal Protocol and Protection of the Stratospheric Ozone Layer for Human Health and the Environment. *Photochem Photobiol Sci*. 2024;23(6):1087-1115. doi:10.1007/s43630-024-00577-8.
56. Wilson SR, Madronich S, Longstreth JD, Solomon KR. Interactive Effects of Changing Stratospheric Ozone and Climate on Tropospheric Composition and Air Quality, and the Consequences for Human and Ecosystem Health. *Photochem Photobiol Sci* 2019;18(3):775-803. doi:10.1039/c8pp90064g.
57. Russo RC, Togbe D, Coullin I, et al. Ozone-Induced Lung Injury and Inflammation: Pathways and Therapeutic Targets for Pulmonary Diseases Caused by Air Pollutants. *Environ. Int*, 2025; 198:109391. doi: 10.1016/j.envint.2025.109391.
58. Day DB, Xiang J, Mo J, et al. Association of Ozone Exposure with Cardiorespiratory Pathophysiologic Mechanisms in Healthy Adults. *JAMA*, 2017;177(9):1344-1353. doi:10.1001/jamainternmed.2017.2842.