

De cuando el
gas ~~natural~~ fósil
genera energía
y también
enfermedad

Carla Flores Lot

Forma sugerida de citar:

Flores-Lot, Carla. 2025. *De cuando el gas ~~natural~~ fósil genera energía y también enfermedad*. Conexiones Climáticas y CartoCrítica, 2025.

Consulta el estudio completo  aquí



CONEXIONES
CLIMÁTICAS



CartoCrítica

Resumen

A pesar de ser promovido como una alternativa “limpia” o “de transición”, el gas fósil utilizado para generar energía eléctrica reproduce los impactos sanitarios y ambientales propios de otros combustibles fósiles. Se revisaron 43 publicaciones —incluyendo artículos científicos, tesis y reportes— con el objetivo de identificar los efectos en la salud humana vinculados a plantas eléctricas que operan con gas. Los hallazgos revelan una contaminación múltiple que abarca aire, agua, suelo y organismos vivos, con emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas finas ($\text{PM}_{2.5}$), compuestos orgánicos volátiles (COVs), metales pesados, dioxinas, radionúclidos, nanopartículas, bacterias como *Legionella sp.* y metano, muchos de ellos poco monitoreados y altamente peligrosos.

Se identificaron aseveraciones contundentes respecto al riesgo de las emisiones de metano, como que debe de mantener las fugas del mismo por debajo del 3.2% del volumen total de emisiones o su impacto es mayor que el de cualquier combustible sólido, ya que este gas tiene un potencial de calentamiento global significativamente mayor que el CO_2 .

Los efectos en salud son diversos, acumulativos y sinérgicos, incluyendo enfermedades respiratorias y cardiovasculares, partos prematuros, trastornos neurológicos, afectaciones endócrinas, deterioro cognitivo, daño reproductivo, cáncer y pérdida auditiva. Se documenta también una mayor letalidad por COVID-19 en regiones con alta exposición previa, así como impactos significativos en la salud mental, usualmente omitidos en evaluaciones de riesgo. La exposición afecta no solo a quienes habitan en las inmediaciones, sino también a poblaciones situadas a decenas de kilómetros, lo que pone en evidencia la insuficiencia de los actuales umbrales legales y perímetros sanitarios.

Adicionalmente, se identificaron condiciones de riesgo en los entornos laborales, especialmente para trabajadores expuestos crónicamente a ruido, calor, contaminantes atmosféricos y radiación electromagnética. Lejos de representar un modelo energético superado, las tecnologías supuestamente “innovadoras” perpetúan la dependencia del gas fósil y sus impactos, encubiertos bajo discursos de eficiencia y sostenibilidad. Finalmente, se demuestra que estas instalaciones tienden a concentrarse en comunidades históricamente vulneradas, con acceso limitado a servicios de salud, escasa capacidad de defensa institucional y exposición reiterada al riesgo, lo que configura zonas de sacrificio energético y refuerza patrones de racismo ambiental.

Índice

Introducción	6
Metodología	12
Resultados	16
Análisis de literatura seleccionada	17
1. Contaminación atmosférica e impactos por generación eléctrica con combustibles fósiles	17
2. Bioindicadores y toxicidad ambiental	20
3. Contaminación del aire atribuible a plantas a gas	22
4. Impactos a la salud por generación eléctrica con gas	25
5. Daños a la salud ocupacional en plantas eléctricas a gas	34
6. Desigualdad y zonas de sacrificio	35
Conclusiones	38
Referencias	44
Anexo	52

Introducción

Frente al avance acelerado de la crisis climática, marcada por olas de calor extremas, inundaciones más frecuentes, sequías prolongadas y pérdida masiva de biodiversidad, se ha vuelto inevitable repensar la forma en que producimos y usamos la energía, siendo que el sistema energético es responsable del 34% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), (IPCC, 2023), cuyo 80% está basado en combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) (Clarke, y otros, 2022) los cuales son la principal causa del cambio climático, al haber contribuido a la fecha con más del 75% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Panthak, y otros, 2022).

No obstante, en las últimas dos décadas, el gas fósil —destinada y comúnmente denominado “gas natural” y al cual nos referiremos en adelante como “gas”— ha sido promovido globalmente como un combustible puente o de transición hacia sistemas energéticos menos nocivos. Esta narrativa se ha apoyado en dos premisas principales: por un lado, su aparente menor huella de carbono en comparación con otros hidrocarburos como el carbón y el combustóleo; y por el otro, su supuesta capacidad para complementar fuentes intermitentes de energía renovable, como la solar o la eólica, garantizando la estabilidad del sistema eléctrico, aunque se advierte que su papel debe ser limitado en el tiempo si se quiere cumplir con los objetivos de 1.5°C (IEA, 2022), (IPCC, 2022).

Esta estrategia ha sido adoptada tanto por organismos internacionales como por gobiernos nacionales, quienes han incluido al gas en sus planes de transición energética, bajo la idea de que su uso ayudaría a reducir gradualmente la dependencia de fuentes de alta intensidad contaminante, sin comprometer la seguridad energética (Levy, Messina, & Contreras Lisperguer, 2023). En el caso de América Latina —y en particular en México— esta narrativa ha justificado fuertes inversiones en infraestructura para transporte, distribución y generación eléctrica basada en gas, incluso en contextos donde abundan los recursos renovables y donde las poblaciones locales enfrentan los impactos sociales y ambientales de dicha expansión (Rodríguez, Estrada, & Ventura, 2022).

La generación de energía eléctrica a partir del gas comprende distintas tecnologías que, pese a sus diferencias técnicas, mantienen un denominador común: su dependencia de un recurso no renovable cuyas cadenas de extracción, procesamiento y quema conllevan impactos ambientales y sociales significativos. A continuación se describen las principales tecnologías empleadas mismas que también se resumen en la Tabla 1:

1. Centrales de Ciclo Simple.

Estas plantas queman gas para mover una turbina y generar electricidad. Son baratas y arrancan rápido, pero su eficiencia es baja (35–40%), lo que implica más emisiones por cada unidad de energía generada. (U.S. EPA, 2015). Liberan grandes cantidades de óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado y dióxido de carbono (CO_2), que dañan la calidad del aire y provocan problemas respiratorios y cardiovasculares (Thirion & Steyn, 2021).

2. Centrales de ciclo combinado.

En estas instalaciones se combina una turbina de gas con una turbina de vapor, aprovechando los gases calientes

de escape de la primera para generar vapor que impulsa la segunda. Aunque este sistema puede alcanzar eficiencias de hasta un 60% (Ibrahim, y otros, 2017), estas cifras no deben interpretarse como reducción real del impacto ambiental. La cadena completa —desde el fracking hasta la distribución del gas— conlleva emisiones fugitivas de metano, afectaciones a territorios y poblaciones, y una fuerte dependencia de la infraestructura fósil.

3. Cogeneración.

La cogeneración aprovecha el calor residual para procesos industriales o calefacción. Esta integración ha sido defendida como “eficiente”, pero investigaciones han demostrado que los impactos por emisiones de compuestos orgánicos volátiles (covs) y metano continúan siendo sustanciales en zonas cercanas a plantas de cogeneración alimentadas por gas (Kanoglu & Dincer, 2009). Además, su implementación suele priorizar industrias pesadas, no necesidades comunitarias.

4. Motores a gas.

Es una tecnología de pequeña escala que se basa en motores de combustión interna (típicamente encendido por chispa), acoplados a un generador. Son comunes para sistemas de generación distribuida o de respaldo, promovido para instalaciones industriales, hospitales o pequeñas comunidades. Aunque son instalaciones pequeñas, su proliferación puede generar impactos significativos a escala local, como emisiones de partículas ultrafinas, óxidos de nitrógeno (NO_x) y ruido. (Gilmore, Adams, & Lave, 2010).

TECNOLOGÍA	PROCESO TÉRMICO	EFICIENCIA ELÉCTRICA [%]	APLICACIONES	LIMITACIONES	IMPACTOS
1. Ciclo simple con turbina de gas.	Combustión directa de gas: Gas caliente mueve turbina → genera electricidad.	~33%	Picos de demanda, respaldo, arranque rápido, menor costo.	Mucho calor desperdiciado.	Alta emisión por MWh generado; uso intensivo de gas sin recuperación de calor; más emisiones por unidad de energía útil.
2. Ciclo combinado.	Combustión + recuperación de calor (turbina de gas + turbina de vapor en serie) → electricidad	Hasta 64%	Base, pico, carga intermedia, alta eficiencia, menos emisiones que carbón.	Costo alto, arranque más lento.	Depende de gas; emisiones de metano en cadena de suministro.
3. Cogeneración.	Combustión con recuperación de calor útil: Electricidad + calor para uso externo.	30–40% eléctrica (hasta 80% total)	Industria, hospitales, edificios, máximo aprovechamiento energético.	Requiere demanda de calor constante.	Emisiones de CO ₂ y de metano.
4. Motores a gas (combustión interna).	Combustión interna en cilindros: Motor mueve generador.	40–48%	Pequeñas redes, industria, zonas remotas, modular, alta disponibilidad, arranque rápido.	Menor escala y eficiencia que ciclo combinado.	Emisiones locales de NO _x y CO ₂

En los últimos años, gobiernos e industria han impulsado narrativas sobre nuevas tecnologías supuestamente más limpias para justificar la permanencia del gas en las matrices energéticas. Tres ejemplos frecuentes son:

Gasificación integrada en ciclo combinado (gicc).

Transforma el gas en un “gas de síntesis” antes de su combustión. Se presenta como control de emisiones, pero produce residuos altamente contaminantes y ha demostrado ser económicamente inviable (Petrescu & Cormos, 2017).

Celdas de combustible de óxido sólido (sofc).

Que convierten el gas en electricidad mediante reacciones electroquímicas sin combustión. Si bien se presentan como “innovadoras”, su dependencia de metales escasos y su vínculo con gas perpetúan impactos ambientales y extractivos (Bicer & Khalid, 2018).

Turbinas de gas con mezcla de hidrógeno.

Promovidas como transición hacia un gas “verde”, aunque actualmente el hidrógeno disponible (hidrógeno gris) se produce mayoritariamente con gas, generando más emisiones que las que pretende evitar (Howarth & Jacobson, 2021).

Estas tecnologías no constituyen una solución real. Por el contrario, alimentan una estrategia de greenwashing que encubre la continuidad de un modelo energético fósil con nuevos ropajes tecnológicos.

El enfoque de considerar al gas como un recurso limpio y puente hacia las energías renovables ha sido cuestionado por múltiples investigaciones científicas y por organizaciones sociales y ambientales (Oil Change International, 2019). Diversos estudios han documentado que el ciclo completo del gas —desde su extracción hasta su combustión— genera emisiones significativas de metano, un gas de efecto invernadero mucho más potente que el dióxido de carbono a corto plazo (Fu, Liu, & Sun, 2021).

Adicionalmente, el despliegue de infraestructura gasífera ha generado impactos socioambientales que contradicen su supuesta neutralidad climática. En distintas regiones del mundo, y también en América Latina, se ha documentado cómo este tipo de desarrollos ha intensificado conflictos territoriales, afectado comunidades locales, y contribuido a la configuración de zonas de sacrificio ambiental (Healy, Stephens, & Malin, 2019). Esto plantea serias dudas sobre su rol como una alternativa verdaderamente transitoria y ambientalmente compatible con los objetivos climáticos de largo plazo.

Metodología

Para analizar si el uso del gas para generar energía afecta la salud de las comunidades cercanas, se realizó una revisión sistemática cualitativa (RSC). Esta recopiló y evaluó estudios sobre los efectos en la salud humana por la exposición a contaminantes emitidos por plantas que usan gas.

Al ser una revisión cualitativa, no se hizo un metaanálisis, por lo que no se cuantifican los riesgos ni se comparan grupos. Aun así, la RSC permite identificar tendencias, vacíos de información y proponer hipótesis a partir de una metodología rigurosa y transparente. Los pasos a seguir fueron los siguientes:

1. Definición del tema y planteamiento de la pregunta
2. Identificación de palabras clave
3. Análisis y síntesis de lecturas
4. Hallazgos y conclusiones

1

Definición del tema y planteamiento de la pregunta.

El tema que se quiere abordar es el impacto del uso de gas para generación eléctrica en la salud humana.

Se busca exponer que existe una discrepancia entre la narrativa de que el gas es un combustible “limpio” o de “transición” y la evidencia científica que muestra afectaciones a la salud de comunidades cercanas a plantas generadoras. La pregunta que propuesta para desarrollar es:

¿Existe evidencia científica de que la operación de plantas de generación eléctrica alimentadas por gas provoca daños a la salud de las personas que habitan en sus alrededores?

2

Identificación de palabras clave.

En esta etapa, se definieron palabras clave, tanto en español como en inglés, que orienten y delimiten la estrategia de búsqueda bibliográfica,

con el fin de identificar literatura científica relevante para responder a la pregunta de investigación. La selección de términos se basa en los componentes del modelo PEO, combinando sinónimos, variaciones lingüísticas y términos controlados cuando sea posible. Una vez identificadas, se establece una estrategia de búsqueda y se seleccionan las bases de datos donde implementarla, mismas que se muestran en los resultados.

Componente	Palabras clave		Descriptores	
	Inglés	Español	MeSH	DeCS
P Población (personas expuestas en zonas cercanas)	community	comunidades		
	resident	residentes		
	local population	población local		
	nearby population	población cercana		
E Exposición	gas-fired power plant	planta de energía a gas	power plants fossil fuels	plantas de energía combustibles fósiles
	natural gas power plant	planta eléctrica de gas		
	thermoelectric plant	planta/central termoeléctrica		
	energy generation	generación de energía		
	power generation facilities	instalaciones de generación eléctrica		
	toxic emissions	emisiones tóxicas		
O Resultados observados	health impact	impactos a la salud	respiratory disease	enfermedades respiratorias
	health effect	efectos en la salud	cardiovascular disease	enfermedades cardiovasculares
	disease	enfermedad	public health	salud pública
	pulmonary	pulmonar	air pollution	contaminación del aire
	neoplasms	cáncer	environmental health	salud ambiental
	neurological disorders		environmental exposure	admisiones hospitalarias
	mental health		hospital admissions	
			air quality	calidad del aire
TÉRMINOS ÚTILES CONTEXTUALES	environmental justice			justicia ambiental
	sacrifice zones	zonas de sacrificio	exposure	exposición ambiental
	proximity	proximidad		
	emission	emisiones		

3 Análisis y síntesis de lecturas.

Se realizó un análisis cualitativo sistemático basado en técnicas de análisis temático. Esta metodología permite identificar, organizar e interpretar patrones recurrentes (temas) dentro del conjunto de evidencia revisada, ofreciendo una comprensión profunda sobre cómo los daños a la salud asociados a plantas eléctricas de gas se manifiestan, se documentan y se interpretan en la literatura científica.

Para ello, se desarrolló un análisis en el que se identificó el país o región del estudio, tipo de planta a gas, población expuesta, tipo de afectación en salud reportada, metodología del estudio, forma de medición o atribución del daño, y posibles factores modificadores (por ejemplo, cercanía geográfica, condiciones socioeconómicas, etc.). A partir de esta estructura de análisis se agruparon las temáticas para identificar los hallazgos clave como: exposición a contaminantes, tipos de enfermedades asociadas, mecanismos de análisis y vulnerabilidad de la población.

4 Hallazgos y conclusiones.

La síntesis final se presenta de forma narrativa, acompañada de una tabla que resume los hallazgos más relevantes que contribuyen a explicar los impactos en salud asociados a este tipo de infraestructura energética. Este enfoque busca no solo describir lo documentado, sino visualizar cómo se configura el conocimiento científico sobre los daños en salud causados por plantas de gas, con base en evidencia acumulada, tendencias regionales y marcos de análisis como la justicia ambiental y la gestación de zonas de sacrificio.

Resultados

La búsqueda en PubMed, arrojó 33 resultados, mismos que fueron revisados solo en los títulos y de los cuales se seleccionaron 17. Posteriormente se revisaron los resúmenes de esos 17 y su disponibilidad de descarga terminando con una selección de 8 artículos, este mismo procedimiento se repitió solo para LILACS. En total se seleccionaron 43 publicaciones para revisión, de las cuales 37 son artículos, 3 son tesis y 3 son reportes.

Se distinguieron 6 temáticas que permiten abordar los objetivos de los daños a la salud por centrales de generación eléctrica que usen gas, tanto de forma directa como indirecta, y con base en ellas se estructuró el análisis de las publicaciones:

1. Contaminación atmosférica e impactos por generación eléctrica con combustibles fósiles.
2. Bioindicadores y toxicidad ambiental.
3. Contaminación del aire atribuible a plantas a gas.
4. Impactos a la salud por generación eléctrica con gas.
5. Daños a la salud ocupacional en plantas eléctricas a gas.
6. Desigualdad y zonas de sacrificio.

Análisis de literatura seleccionada

Si bien existe la narrativa de que las plantas termoeléctricas que operan con gas emiten menores concentraciones de contaminantes en comparación con aquellas que utilizan combustibles más pesados como el carbón, el diésel o el combustóleo, diversos estudios han demostrado que estas plantas siguen generando contaminantes y riesgos significativos para la salud pública. Para comprender la dimensión de estos riesgos, se revisaron múltiples líneas de evidencia disponibles. Estas abarcan desde la contaminación del aire generada por plantas fósiles en general, hasta los impactos específicos asociados a las plantas a gas, incluyendo bioindicadores ambientales de contaminación, afectaciones a la salud pública y laboral, y patrones de injusticia ambiental vinculados a su ubicación y operación.

1. Contaminación atmosférica e impactos por generación eléctrica con combustibles fósiles.

17

Diversos estudios han mostrado que la industria de la generación eléctrica a partir de combustibles fósiles es una fuente significativa de contaminantes atmosféricos.

Por ejemplo, un estudio de modelación en el Reino Unido encontró que una central eléctrica fósil podía contribuir hasta con el 70 % de la concentración local de dióxido de azufre (SO_2) y más del 60 % de la deposición de azufre, (Chemel, y otros, 2011). Lelieveld et al. (2015) documentaron que en 2010 la generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles —incluido el gas, aunque no de forma exclusiva— responsable de aproximadamente el 14 % de las muertes atribuibles a la contaminación del aire a nivel mundial, asociadas a enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer.

Señalaron que las emisiones más relevantes de esta fuente son principalmente dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x), los cuales se transforman en la atmósfera en sulfatos y nitratos.¹ Además, las plantas eléctricas contribuyen aproximadamente a una séptima parte de la exposición de la población a material particulado fino ($\text{PM}_{2.5}$) y ozono troposférico (O_3). Señala que bajo un escenario de políticas sin cambios (*business-as-usual*), se estima que la mortalidad atribuible a la contaminación atmosférica aumentará a 6.6 millones de muertes al año, siendo las zonas donde se concentra la generación de energía eléctrica las que sufran el mayor incremento.

Complementando esta evidencia global, un análisis realizado en el área metropolitana de Seúl, estimó que las plantas de energía fósil —incluidas las de gas— aportaron en promedio $0.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$ al aire ambiente en 2010, y que para 2024 su contribución podría alcanzar los $0.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Aunque esta concentra-

¹ Contribuyen a la lluvia ácida, reducen la visibilidad y pueden tener efectos perjudiciales en los ecosistemas acuáticos y terrestres, además de afectar la salud respiratoria.

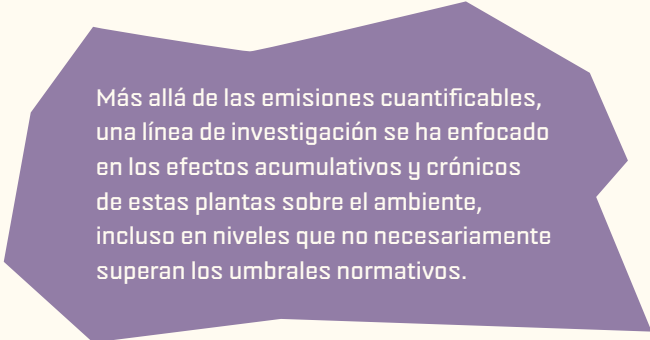
ción representa apenas el 3.5 % del estándar nacional anual de calidad del aire ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), equivale al 12.4 % del recorte requerido ($7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) para alcanzar la meta gubernamental de reducción de partículas finas (Kim, Kim, Kim, & Kim, 2016) y se estimó que estas emisiones serían responsables de más de 700 muertes prematuras anuales en la región.

Ampliando la perspectiva más allá del punto de combustión, algunos estudios se han centrado en las emisiones y riesgos asociados a lo largo de toda la cadena de valor del gas, desde su extracción hasta su uso final en la generación eléctrica. Una revisión sistemática de Fu et al. (2021) documenta los riesgos ambientales y sanitarios a lo largo de esta cadena, y señala que en la etapa de uso final, el uso del gas para la generación de energía eléctrica representa aproximadamente el 37% de su consumo global.

Este uso produce emisiones de gases como CO_2 , CH_4 y NO_x , y además fugas de metano (CH_4) en etapas intermedias así como operaciones deficientes anulan su ventaja frente al carbón,

ya que este gas tiene un potencial de calentamiento global significativamente mayor y debe de mantener las fugas por debajo del 3.2% del volumen total; **de lo contrario, el efecto invernadero asociado puede igualar o superar al de los combustibles sólidos.** En la misma línea, se ha comprobado que los óxidos de nitrógeno (NO_x), emitidos en las termoeléctricas a gas, son precursores fundamentales del ozono troposférico. Un ejemplo es el trabajo de Gego et al. (2012) que demostró una disminución significativa de este contaminante (O_3) en zonas urbanas del este de Estados Unidos tras la reducción de emisiones de NO_x en el sector eléctrico.

2. Bioindicadores y toxicidad ambiental.



Más allá de las emisiones cuantificables, una línea de investigación se ha enfocado en los efectos acumulativos y crónicos de estas plantas sobre el ambiente, incluso en niveles que no necesariamente superan los umbrales normativos.

En esta línea, Lanchetti et al. (2023) proponen integrar el enfoque ecotoxicológico en los monitoreos previos a la operación de plantas de gas, al destacar que los riesgos para la salud no provienen únicamente de las emisiones directas, sino también de las interacciones entre compuestos emitidos al aire, suelo y agua, que derivan en componentes con efectos tóxicos, genotóxicos, neurotóxicos o embriotóxicos, incluso si individualmente no superan los límites normativos, sobre todo en exposiciones crónicas y prolongadas en sitios cercanos a plantas industriales y de generación de energía. Este enfoque se ve respaldado por estudios como el de Noori et al. (2018), quienes observaron alteraciones en semillas de Brassicaceae² expuestas crónicamente a la contaminación atmosférica de la planta termoeléctrica Shazand en Irán. Se documentaron afectaciones en la fertilidad del polen, anomalías morfológicas y alta concentración de flavonoides³, lo que confirma que la exposición a estas instalaciones genera efectos fisiológicos y reproductivos en la vegetación nativa y sugiere su potencial como bioindicadores de contaminación atmosférica.

² También llamadas crucíferas, la mayoría comestibles como la col, el brócoli, la coliflor o el rábano.

³ Compuestos asociados a la respuesta defensiva de las plantas frente a contaminantes.

En el mismo sentido, Idowu et al. (2020) reportaron concentraciones elevadas de metales pesados incluyendo arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb) y zinc (Zn), en agua, suelo y organismos acuáticos cerca de una planta de gas y combustóleo en Lagos, Nigeria. Algunos valores como los del cadmio y plomo, superaron los límites de la EPA y la FAO.

Además, se detectó bioacumulación de Cd, Hg, Pb y Zn en cangrejos (*Callinectes amnicola*), tilapia (*Oreochromis niloticus*) y camarones (*Penaeus notalis*), que forman parte de la dieta habitual, alertando sobre los riesgos alimentarios para las comunidades locales.

El estudio advierte que esta exposición crónica a dosis subletales de metales pesados puede derivar en efectos graves a la salud, como hipertensión, daño neurológico, disfunción renal y enfermedades congénitas.

Por otro lado, Al-Masri et al. (2014) detectaron contaminantes radiactivos (polonio-210 y plomo-210) en suelos dentro y fuera de una planta a gas en Siria. Dentro de la planta, se registraron concentraciones de hasta 96 Bq/kg para ^{210}Pb y 103 Bq/kg para ^{210}Po , niveles que superan los valores típicos de fondo natural en suelos, generalmente situados entre 10 y 50 Bq/kg, de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, 2003). En localidades ubicadas a más de 30 km del centro de la planta, como Nabk y Yabrud, se observaron niveles de hasta 120 Bq/kg (^{210}Pb) y 113 Bq/kg (^{210}Po), lo que indica la dispersión de estos radionúclidos más allá del perímetro industrial. Ambos son elementos radioactivos y de riesgo sanitario, el polonio emite partículas alfa y es altamente

tóxico y causa daño celular cuando se inhala o ingiere, y el plomo es un emisor beta y tiene la capacidad de acumularse en los tejidos especialmente del sistema nervioso, huesos y riñones.

En India, Ghosh et al. (2023) analizaron los impactos ambientales de una planta de ciclo combinado a gas en Durgapur e identificaron contaminantes como óxidos de nitrógeno (hasta 260 mg/Nm³), monóxido de carbono (50 mg/Nm³), dióxido de carbono (más de 110,000 kg/h) y material particulado (20 mg/Nm³), emitidos principalmente por las chimeneas. Además detectaron un incremento en compuestos metálicos y sales minerales en suelos y un potencial de acidificación leve en aguas superficiales y subterráneas por deposición húmeda de gases ácidos (NO_x y CO₂). Aunque estos niveles cumplen con la normativa local, los autores advierten que la acumulación de emisiones múltiples en el entorno cercano representa un riesgo ambiental latente para las comunidades dentro del radio de dispersión, que puede alcanzar hasta 7 km, afectando suelos, aguas cercanas y zonas residenciales ubicadas a solo 2 o 3 km. Un caso similar de acumulación fue documentado en Sonora, México por Villalba et al. (2013), donde una planta de ciclo combinado a gas y una textil contribuyen simultáneamente a la carga tóxica del ecosistema del río Agua Prieta. Se encontraron concentraciones elevadas de metales pesados como plomo, mercurio y cadmio, así como hidrocarburos del petróleo, todos con reconocida toxicidad ambiental. Estas investigaciones revelan que los efectos ambientales no se limitan al aire y que los compuestos emitidos pueden persistir y acumularse en matrices biológicas y abióticas, reforzando la necesidad de evaluaciones integrales de impacto.

3. Contaminación del aire atribuible a plantas a gas.

En contraste con las secciones anteriores donde se consideraban plantas mixtas o cadenas ampliadas, algunos estudios se han en-

focado específicamente en emisiones atribuibles a plantas que operan únicamente con gas.

Hacatoglu et al. (2014), desarrollaron un modelo multicriterio de evaluación ambiental para comparar una planta termoeléctrica a gas con un sistema eólico. Su análisis reveló que la huella ambiental de la planta a gas era significativamente mayor en todas las categorías analizadas, incluyendo calentamiento global, emisión de partículas, óxidos de nitrógeno, plomo y ozono. El estudio subraya además el papel del óxido nitroso (N_2O) como subproducto de combustión que, aunque no regulado por el Protocolo de Montreal, contribuye en un 99.8% a la destrucción de la capa de ozono, es decir que en las emisiones analizadas de ese tipo de planta, el N_2O es prácticamente el único compuesto con potencial de agotar la capa de ozono, elevando el riesgo de exposición a radiación UV para las poblaciones cercanas.

Yang et al. (2019), analizaron los efectos en la calidad del aire de una planta de cogeneración de gas ubicada en campus universitario en Ithaca, Nueva York A pesar de contar con quemadores avanzados⁴ y sistemas de reducción catalítica⁵, se encontró exposición significativa a emisiones como $\text{PM}_{2.5}$, formaldehído, hidrocarburos y aerosoles ácidos. Pues los quemadores avanzados solo mejoran la eficiencia térmica pero no reducen contaminantes, y los sistemas de reducción catalítica sí bien evitan que el 83% del NO_x producido llegue a la atmósfera, el 17% restante sigue saliendo al ambiente.

⁴ También llamado *duct burner*, es un quemador adicional ubicado dentro del sistema de recuperación de calor (*heat recovery steam generator*, HRSG), que permite aumentar la producción de vapor al quemar más combustible (generalmente gas)

La exposición a estas emisiones se suma a la carga de contaminación acumulativa e incluso se señala su potencial de impacto local en zonas urbanas densas debido al efecto de estela descendente por edificaciones cercanas (*building downwash*).⁶ Respecto al formaldehído, hidrocarburos, y los aerosoles ácidos, que son compuestos irritantes y en algunos casos cancerígenos o mutagénicos, se estableció que sí forman parte de estas emisiones y que llegan directamente a la atmósfera. Lo anterior muestra que incluso con tecnología avanzada que controle emisiones, no se elimina el riesgo ambiental ni de salud pública y la exposición local a emisiones contaminantes resulta inevitable.

En México, Nieblas y Quintero (2006) identificaron que tan solo dos plantas eléctricas de gas en Mexicali —La Rosita (1,060 MW) y Termoeléctrica de Mexicali (600 MW)— emiten anualmente 2,094 toneladas de óxidos de nitrógeno (NO_x), 2,281 de monóxido de carbono (CO) y 1,094 de partículas PM_{10} . Estas emisiones agravan la calidad del aire en la cuenca atmosférica compartida Mexicali–Valle Imperial, que de acuerdo con los autores está señalada como zona de “no cumplimiento” por la EPA y SEMARNAT. Estudios citados en esta publicación, muestran una correlación directa entre los picos de PM_{10} y el aumento de enfermedades respiratorias, hospitalizaciones y muertes prematuras, particularmente en el Valle Imperial, donde se registra la mayor incidencia de asma infantil en California.

después de que los gases de la turbina han pasado. Generan más calor sin aumentar proporcionalmente las emisiones, lo que reduce la cantidad de contaminante por unidad de energía producida, es decir, el factor de emisión. Esto no quiere decir que haya menos contaminante total saliendo del ducto, sino que se emite menos por cada unidad de energía útil generada.

⁵ Es un sistema de control de emisiones que elimina óxidos de nitrógeno (NO_x) del gas de escape mediante una reacción química con amoníaco o urea en presencia de un catalizador.

⁶ Cuando el viento, al chocar con edificaciones, se desvía hacia abajo y crea corrientes más concentradas a nivel de suelo.

Estas plantas, construidas para exportar energía a California, operan bajo un modelo de regulación ambiental asimétrico que ha permitido externalizar los costos ambientales hacia el lado mexicano. Además, advierten que la instalación de terminales de gas licuado puede añadir hasta mil toneladas anuales de NO_x , intensificando el daño ambiental en ambos lados de la frontera.

4. Impactos a la salud por generación eléctrica con gas.

En materia de salud un número creciente de estudios ha documentado de forma directa o inferida los efectos negativos del funcionamiento de plantas a gas sobre la salud pública. Esta evidencia incluye desde asociaciones epidemiológicas hasta estimaciones de carga de enfermedad atribuible a la exposición a contaminantes específicos emitidos por estas instalaciones. Aunque las primeras revisiones no son específicas sobre plantas a gas, su inclusión resulta relevante para esta revisión porque los contaminantes más comúnmente asociados a los impactos en salud (como NO_x , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ o compuestos orgánicos volátiles) se comparten entre las distintas tecnologías de generación térmica, incluida la basada en gas, aunque en proporciones variables.

Por ejemplo, Liu et al. (2012) encontraron una relación significativa entre la proximidad residencial a plantas termoeléctricas en Nueva York —sin distinguir el tipo exacto de combustible pero

muchas de ellas a gas— y el aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y hospitalizaciones, especialmente por asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Krieger et al. (2016) estimaron en Pensilvania que las emisiones de plantas fósiles durante 2015, incluidas las de gas, estuvieron asociadas con más de 2,300 muertes prematuras, 27,000 ataques de asma, 1,280 infartos no fatales, 43,000 casos de síntomas respiratorios agudos y 127,000 días laborales perdidos, y un costo social de 20 mil millones de dólares.

En adelante, los estudios revisados se enfocan en instalaciones que funcionan exclusivamente con gas, lo cual permite aislar con mayor claridad los efectos sanitarios propios de esta tecnología.

Un informe de PSE Healthy Energy (Shetty, Nunez, Heath, Efstathiou, & Bilsback, 2025), analizó los costos en salud pública asociados con dos plantas a gas propuestas en Wisconsin: Oak Creek y Paris, estimando un impacto económico de entre 25 y 145 millones de dólares anuales debido a emisiones de NO_x , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ y compuestos orgánicos volátiles (cov), que pueden agravar enfermedades cardíacas y asma, además de aumentar el riesgo de muerte prematura, y de representar un riesgo particular por la formación secundaria de ozono troposférico. Estos resultados se refuerzan con el estudio de Matkovic et al. (2022), quienes, a través de un modelo de transporte químico atmosférico, confirmaron que las plantas de gas en Europa y Reino Unido contribuyen significativamente a la formación de $\text{PM}_{2.5}$, lo que está asociado con diversas enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Adicionalmente, Gilmore et al. (2006) puntualizan que incluso tecnologías de respaldo como motores o microturbinas a gas generan emisiones relevantes para la salud, en cuyo estudio calculan hasta 5.8 ¢/kWh por mortalidad crónica atribuible a $\text{PM}_{2.5}$ ⁷, y aumentos de hasta 10 ppb de NO_x en zonas urbanas densas como Nueva York.

⁷ Es decir, cada kilowatt-hora (kWh) de electricidad generado por un motor a gas o una microturbina genera un daño estimado de 5.8 centavos de dólar por muertes prematuras atribuibles a $\text{PM}_{2.5}$.

Otra aproximación se encuentra en el estudio antes citado de Krieger et al. (2016), donde señalan que las plantas de gas, especialmente las de ciclo combinado (NGCC), generan cargas significativas para la salud pública pues liberan dioxinas y contaminantes bioacumulables persistentes (PBTs), productos de la combustión incompleta o de residuos con trazas de cloro y metales, compuestos altamente tóxicos asociados a cáncer, disrupción hormonal y daño fetal.

Por su parte, Brewer et al. (2016) aporta evidencia crítica sobre contaminantes aún más pequeños y poco evaluados que también representan un riesgo grave para la salud: las nanopartículas o partículas ultrafinas (menores a 100 nanómetros). Al analizar directamente el escape de una turbina de gas en California, los investigadores encontraron concentraciones de partículas de 2-3 nanómetros hasta cuatro órdenes de magnitud por encima del aire ambiente, niveles excepcionalmente altos que no habían sido registrados en estudios previos sobre plantas de gas.

Estas nanopartículas no se capturan adecuadamente con los métodos convencionales que miden $PM_{2.5}$, y pueden penetrar profundamente en los pulmones, atravesar la barrera alveolar, ingresar al torrente sanguíneo y alcanzar otros órganos, aumentando el riesgo de inflamación sistémica, daño vascular y celular, y enfermedades cardiovasculares.

Aunque su masa total puede ser baja, su número y superficie de contacto biológico son elevados, por lo que su presencia masiva en el escape directo de la planta —incluso con tecnologías

de control como catalizadores de oxidación y sistemas de reducción selectiva de NO_x — pone en evidencia una dimensión subestimada de los daños a la salud provocados por las plantas de gas.

Estudios adicionales realizados en Irán y México han utilizado modelos de dispersión para estimar los efectos sanitarios derivados de la exposición a contaminantes emitidos por plantas a gas.

Fouladi et al. (2016) hicieron mediciones directas en las chimeneas de una planta de ciclo combinado en Qom, Irán, donde cuantificaron las emisiones de los contaminantes críticos NO_x , PM_{10} , CO y SO_2 . Las emisiones NO_x y su conversión secundaria en nitratos representaron la principal fuente de daño a la salud, y los efectos sanitarios estimados alcanzaron, anualmente, 26,377 días de actividad restringida (RAD)⁸, 56 años de vida perdidos (L. YOLL)⁹ en muertes prematuras, 13 casos de bronquitis crónica y más de mil casos potenciales de tos persistente en niñas y niños.¹⁰ La mayor concentración de contaminantes se localizó a 7.5 km de la planta, hacia la ciudad, pero el modelo también estimó impactos en la salud dentro y fuera de un radio de 50 km, afectando áreas más distantes con menor concentración debido a la alta población expuesta. Los daños a la salud causados por esta planta se calcularon en un costo social de aproximadamente 5 millones de dólares anuales, a pesar de que sus emisiones son inferiores a las de plantas de carbón o combustóleo. Posteriormente, Fouladi-Fard et al. (2025) realizaron otro estudio en la misma planta, pero esta vez estimaron el índice de riesgo no carcinogénico (HQ)¹¹ por grupos de edad (infantes: < 2 años, niños:

⁸ Días que las personas tienen que reposar por enfermedad.

⁹ L.YOLL = Long-term Years of Life Lost, es una métrica usada en epidemiología ambiental para estimar cuántos años de vida, en total, pierde una población como consecuencia de muertes prematuras atribuibles a la contaminación del aire.

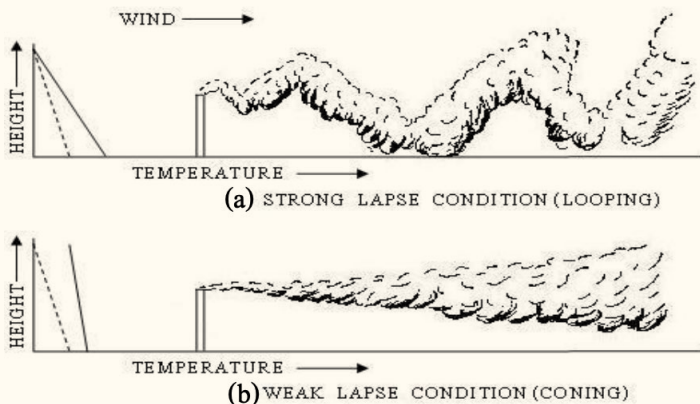
¹⁰ Es importante mencionar que estos resultados no provienen de registros médicos, sino de un modelo matemático validado internacionalmente, que combina las emisiones medidas en la planta, la dirección y fuerza del viento, la ubicación de la población y estudios epidemiológicos previos.

¹¹ Es un índice que evalúa el potencial de efectos no cancerígenos (que no causen cáncer) para la salud humana debido a la exposición a sustancias químicas. Ejemplo: sistema respiratorio, nervioso, hepático y renal, endocrino, inmune, desarrollo, etc.

2 > 6, y mayores a 6 años) y el índice de riesgo acumulado (HI). En términos de riesgo, el HI para NO_x se estimó en 3.65, superando ampliamente el umbral aceptable de 1, lo que indica un riesgo no carcinogénico preocupante para la población expuesta. Este riesgo fue especialmente alto en los grupos de infantes y niños, cuyos HQ también superaron el valor de 1. En otro estudio más amplio realizado en Irán por Jorli et al. (2017) se estimaron las emisiones de 61 plantas que utilizan principalmente gas, aunque a veces incorporan combustóleo. Los hallazgos indican que estas plantas causan 2,510 muertes prematuras anuales, más de 17,000 años de vida perdidos (YOLL) y costos sociales en salud que superan mil millones de dólares al año.

En México, Arellano (2012) realizó un ejercicio similar para la planta termoeléctrica de ciclo combinado “El Sauz”, ubicada en el municipio de Pedro Escobedo, Querétaro, donde identificó otros contaminantes peligrosos del aire (CPA) emitidos por la planta, como benceno, formaldehído, 1,3-butadieno, acetaldehído, PAH's y xilenos, todos reconocidos por su potencial carcinogénico o tóxico. Si bien los resultados no superaron los umbrales establecidos por la EPA, el estudio advierte que esto no implica una exposición inocua, ya que los efectos en salud dependen de la susceptibilidad individual y de la exposición acumulada.

De forma convergente, investigaciones recientes en Malasia, Perú, Bangladesh e Irán aportan evidencia sobre el alcance de las emisiones más allá del perímetro inmediato de las plantas, afectando zonas urbanas cercanas e incluso regiones situadas a decenas de kilómetros de distancia.



La forma de la pluma cambia según las condiciones meteorológicas y operativas, lo que modifica continuamente las zonas con mayor contaminación. Factores como la temperatura del aire y de los gases, la altura de la chimenea, la velocidad del viento, la presión atmosférica y las características de las partículas determinan cómo se dispersan los contaminantes y qué áreas resultan más afectadas.

En Malasia, Rahman et al. (2024) analizaron la concentración de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) a 100 metros del perímetro de 13 plantas de electricidad a gas. Los resultados revelaron que las concentraciones excedían significativamente los límites seguros recomendados por la Organización Mundial de la Salud, con promedios de 63.6 microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$) para PM_{10} y 41.2 $\mu g/m^3$ para $PM_{2.5}$, frente a los límites diarios establecidos de 45 $\mu g/m^3$ y 15 $\mu g/m^3$, respectivamente. La evaluación se clasificó en tres grupos de edad (niños, adultos y adultos mayores) y se determinó que los niños eran el grupo más vulnerable, con un índice de riesgo superior a 1 para ambos tipos de partículas, indicando una alta probabilidad de efectos crónicos en su salud respiratoria y cardiovascular.

De manera complementaria, un estudio técnico realizado en el complejo termoeléctrico de Chilca, Perú (Tirado, 2019), aporta evidencia adicional sobre los patrones de dispersión de contaminantes atmosféricos generados por plantas térmicas, al mostrar que estos pueden extenderse hasta 100 km desde la fuente emisora y alcanzar zonas densamente pobladas como Lima. Utilizando una malla de 1,600 celdas de 5 km² cada una, se detectaron concentraciones significativas de NO_x y PM_{10} en cuadrantes aleja-

dos de la planta, principalmente por la dirección predominante del viento, lo que subraya un riesgo significativo para poblaciones incluso distantes.

En la misma línea, el estudio de Al Monsur et al. (2020) en Bangladesh amplía esta perspectiva al introducir la métrica de “grado de severidad” (DoS, por sus siglas en inglés) de los contaminantes para cuantificar la intensidad del impacto según la distancia, y lo hace a partir de un contaminante poco abordado en estudios previos: el dióxido de carbono (CO_2). Concluyen que si bien la exposición disminuye con la distancia, el estudio proyecta concentraciones de CO_2 superiores a los niveles de referencia (110.38 ppm a 150 m), lo que podría generar efectos directos sobre la salud como la disminución del metabolismo cerebral en condiciones de hipercapnia¹² leve.

Además de los modelos de dispersión y efectos en los costos y riesgos a la salud, también se encontraron estudios lineales como el realizado por Di Ciaula (2012), quien examinó la frecuencia de visitas a urgencias y hospitalizaciones en personas de 75 años o más que vivían cerca de una planta de generación eléctrica a gas. Usando registros médicos de tres años, se compararon zonas ubicadas a menos de 1 km, entre 1 y 2 km, y más de 2 km de la planta. Los resultados mostraron que quienes vivían más cerca tenían tasas significativamente mayores de visitas hospitalarias por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, especialmente durante el verano, cuando las condiciones climáticas pueden intensificar la acumulación de contaminantes.

La exposición a las emisiones de las termoeléctricas a gas, también inciden en la comorbilidad con otras enfermedades en las poblaciones cercanas, volviéndolas más vulnerables frente a enfermedades respiratorias graves.

¹² Altos niveles de CO_2 en la sangre.

En un estudio realizado en Estados Unidos, Tanaka (2024) encontró que los condados ubicados con mayor frecuencia a favor del viento de plantas generadoras de electricidad con gas, es decir, directamente expuestos a sus emisiones, presentaron una tasa significativamente mayor de mortalidad por COVID-19. Esta mayor letalidad se atribuyó a un incremento acumulativo en la carga de enfermedades respiratorias y cardiovasculares provocadas por contaminantes como las partículas finas ($PM_{2.5}$) emitidas por estas plantas.

Diversas investigaciones han documentado otras rutas de afectación a la salud vinculadas con estas instalaciones, como la exposición crónica al ruido industrial, el aumento en la incidencia de partos prematuros y los trastornos en la salud mental de las poblaciones vecinas.

Hossian et al. (2017) estudiaron una planta de ciclo combinado a gas fósil de 108 MW ubicada en una zona rural clasificada como “silenciosa”. Registraron niveles de hasta 88.6 dB a corta distancia —muy por encima del límite diurno de 75 dB para zonas industriales— generados por 38 generadores y 68 ventiladores de escape. Aunque osha estima una atenuación de 3 dB por metro, en este caso fue de solo 0.44 dB por metro, lo que evidencia una persistencia del sonido a mayor distancia y su posible propagación hacia zonas residenciales. El artículo vincula incluso niveles bajos de ruido con hipertensión, alteraciones del sueño, deterioro cognitivo infantil y trastornos psiquiátricos, subrayando la importancia de considerar la contaminación acústica en las evaluaciones de riesgo sanitario.

También resalta la utilidad del mapeo estratégico de ruido para identificar áreas de exposición crónica y mejorar el monitoreo ambiental en contextos rurales con baja vigilancia institucional.

El estudio realizado por Ha et al. (2015), concluye que vivir cerca de plantas generadoras de energía a gas como combustible, se asocia con un mayor riesgo de parto prematuro. Vivir a menos de 20 km de una planta de este tipo aumentó en 9% las probabilidades de parto prematuro, mientras que la presencia de dos o más plantas a gas dentro del mismo radio se asoció con un incremento del 13% en la probabilidad de parto muy prematuro. Las mujeres que vivían más cerca de plantas a gas estuvieron expuestas a concentraciones promedio estimadas de $9.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$ durante el primer trimestre del embarazo. En total, 164,909 nacimientos (38.9% del total) estuvieron expuestos a este tipo de plantas.¹³

En materia de salud mental, Liu et al. (2024), encontraron que el retiro completo de plantas de gas estuvo asociado a una mejora estadísticamente significativa en la salud mental de las personas que vivían en un radio de 50 kilómetros. Específicamente, se observó una mejora de 0.123 desviaciones estándar en el índice PHQ-4, una escala validada que mide síntomas de ansiedad y depresión. Este efecto positivo no se presentó en casos de retiro parcial, lo que sugiere que los impactos negativos a la salud mental persisten mientras las plantas permanecen parcialmente operativas. Los autores atribuyen esta mejora a la reducción de disamenidades ambientales como la contaminación del aire y el ruido, en ausencia de afectaciones económicas significativas, dado que las plantas de gas suelen tener una menor dependencia laboral local.

¹³ El estudio incluyó 66 plantas a gas activas en Florida durante el periodo de análisis.

5. Daños a la salud ocupacional en plantas eléctricas a gas.

La literatura revisada también incluye estudios centrados en la salud ocupacional de las personas trabajadoras en estas instalaciones, donde reportan exposiciones crónicas a contaminantes atmosféricos en espacios cerrados, niveles elevados de ruido, calor, sustancias químicas y riesgos ergonómicos, que pueden derivar en afecciones respiratorias, auditivas, cardiovasculares o trastornos musculoesqueléticos.

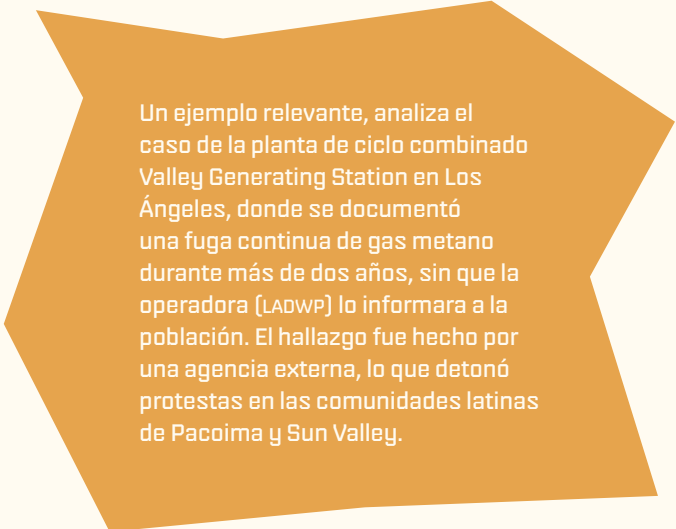
Por ejemplo, Spitzer (2011) señala que los trabajadores de una planta termoeléctrica a gas están expuestos a decibeles que superan los límites establecidos de 85 dBA por jornada de 8 horas. En áreas como la sala de turbinas o generadores de la planta de gas, se registraron niveles de hasta 99.7 dBA, mientras que en las calderas de la planta de carbón se alcanzaron valores cercanos a los 98 dBA. En ambos estudios los resultados mostraron que el personal expuesto a las ondas electromagnéticas reportó niveles significativamente más altos de trastornos físicos, ansiedad, insomnio, depresión y disfunción social, en comparación con el grupo no expuesto.

Guzmán-González (2020) realizó una revisión sistemática de los riesgos laborales en termoeléctricas de combustibles fósiles, identificando también aquellos presentes específicamente en plantas de gas. Se documentan exposiciones a ruido por encima de 85 dB, vinculadas a hipoacusia, pérdida auditiva y alteraciones en el sistema nervioso central, así como trastornos musculoesqueléticos asociados al sobreesfuerzo físico, altas temperaturas y posturas forzadas. Respecto a los riesgos químicos, se señala la inhalación de contaminantes como óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), ozono (O_3) y partículas en suspensión; los cuales se han vinculado a enfermedades respiratorias como bronquitis, asma, crisis obstructivas bronquiales, así como a daños genéticos y celulares —incluyendo aberraciones cromosómicas y células micronucleadas— que

podrían derivar en enfermedades hematológicas. Un hallazgo adicional que distingue esta revisión es la presencia de bacterias del género *Legionella sp.*, como *L. pneumophila*, en las instalaciones de enfriamiento, vinculadas con enfermedades como la fiebre de Pontiac o legionelosis.¹⁴

6. Desigualdad y zonas de sacrificio

Además de los estudios centrados en riesgos, modelaciones de dispersión y evaluaciones cuantitativas de daño a la salud, también existen trabajos que aportan perspectivas desde las comunidades expuestas.



Un ejemplo relevante, analiza el caso de la planta de ciclo combinado Valley Generating Station en Los Ángeles, donde se documentó una fuga continua de gas metano durante más de dos años, sin que la operadora (LADWP) lo informara a la población. El hallazgo fue hecho por una agencia externa, lo que detonó protestas en las comunidades latinas de Pacoima y Sun Valley.

¹⁴ La fiebre de Pontiac es una gripe leve que puede mejorar sin tratamiento. La legionelosis, también conocida como enfermedad del legionario, es una infección pulmonar grave causada por la bacteria *L. pneumophila*, y se manifiesta como una neumonía severa.

A través de entrevistas se reportaron problemas respiratorios, dolores de cabeza persistentes, náuseas, episodios de ansiedad y agravamiento de padecimientos como el asma. Algunas personas mencionaron la percepción de un aire “pesado” o con olor químico, y expresaron temor ante la posibilidad de enfermedades graves, como el cáncer, al observar un aumento de casos en su entorno. Los residentes expresaron frustración ante la opacidad institucional y una fuerte sensación de injusticia. La comparación con la respuesta que recibieron comunidades más privilegiadas ante incidentes similares llevó a identificar este caso como un ejemplo de racismo ambiental y zona de sacrificio energético.

Desde la perspectiva social, Delet-Barreto y Rosenberg (2022) revelaron que la transición de plantas eléctricas de carbón a gas en Estados Unidos no ha reducido el riesgo sanitario ni las desigualdades ambientales. De hecho, comunidades con alta proporción de personas de color y en situación de pobreza han albergado un mayor número de unidades de generación a gas, así como una mayor proporción de generación eléctrica total. La exposición a contaminantes como NO_x y SO_2 —asociados con impactos respiratorios y cardiovasculares— persiste en estas comunidades, reforzando condiciones históricas de vulnerabilidad.

Varios de los estudios citados en apartados anteriores señalan la desigualdad sistemática en la ubicación de estas instalaciones y exposición a comunidades vulnerables.

Krieger et al. (2016) subrayan que instalaciones estudiadas en Pensilvania tienden a ubicarse en zonas urbanas habitadas por comunidades afroamericanas, latinas y de bajos ingresos, con mayor carga previa de enfermedades respiratorias y acceso limitado a servicios de salud, lo que acentúa patrones de injusticia ambiental.

Brewer et al. (2016) consideran que la dimensión subestimada de nanopartículas constituye una amenaza crítica para la salud pública en California, especialmente en comunidades expuestas de forma continua y donde ya existen condiciones de vulnerabilidad ambiental y social. Y Tanaka (2024) señala que muchas plantas de gas en EE. UU. están ubicadas en áreas densamente pobladas, exacerbando la desigualdad ambiental al concentrar los daños sanitarios en comunidades con pobreza estructural y menor acceso a servicios de salud.

Conclusiones

La generación de energía eléctrica mediante combustibles fósiles, incluido el gas, produce impactos severos, multidimensionales y acumulativos sobre la salud humana y los ecosistemas. Aunque ha sido promovido como un combustible “limpio” o de “transición”, el gas mantiene las mismas lógicas extractivas y contaminantes que otros hidrocarburos, y la evidencia analizada en esta revisión desmiente contundentemente su supuesta inocuidad.

1. Contaminación múltiple e infraevaluada: aire, agua, suelo y cuerpo humano.

Las plantas que operan exclusivamente con gas emiten una amplia variedad de contaminantes —algunos regulados, otros ignorados o subestimados— que son altamente nocivos para la salud. Entre los más visibilizados en normativas ambientales se encuentran los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), ambos presentes en concentraciones tóxicas que siguen generando daño respiratorio, cardiovascular y sistémico aun cuando el combustible sea gas. Estos contaminantes son precursores del ozono troposférico y de la lluvia ácida y pueden viajar largas distancias, afectando poblaciones enteras.

Además, se identificaron contaminantes altamente peligrosos pero menos monitoreados o invisibles en los marcos regulatorios:

- **Dioxinas y compuestos bioacumulables persistentes (PBTs).**
Tóxicos cancerígenos y hormonales derivados de residuos o combustión incompleta.
- **Nanopartículas ultrafinas (<100 nm).**
Con capacidad de atravesar barreras pulmonares y alcanzar órganos internos incluido el cerebro, no capturadas en métricas convencionales.
- **Campos electromagnéticos (CEM).**
Vinculados con disfunciones cardiovasculares, cognitivas y psicológicas tanto en residentes como en trabajadores. Se señalan alteraciones del sistema nervioso central, trastornos musculoesqueléticos, Parkinson, Alzheimer y enfermedades de la neurona motora.
- **Bacterias como *Legionella sp.* en sistemas de enfriamiento.**
Se dispersan en el agua, causantes de infecciones respiratorias severas, con escaso monitoreo.
- **Metales pesados y compuestos orgánicos volátiles (COVs).**
Como mercurio, plomo, cadmio, benceno y formaldehído, presentes en aire, agua, suelos y alimentos locales.
- **Radionúclidos como plomo-210 y polonio-210.**
Detectados en suelos y dispersados hasta decenas de kilómetros; su omisión en monitoreos representa una falla grave de salud pública.
- **Metano (CH₄).**
Gas de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global, cuyas fugas a lo largo de la cadena de suministro están poco documentadas en estudios sanitarios, pese a protagonizar casos emblemáticos de racismo ambiental y opacidad institucional.

Estos contaminantes muestran que el daño no es solo químico ni exclusivo del aire: se acumula y circula en el entorno físico, biológico y social, afectando de forma simultánea a cuerpos, territorios y vínculos comunitarios.

2. Impactos sanitarios complejos, acumulativos y multifactoriales.

La evidencia científica recogida documenta una variedad de daños a la salud, desde enfermedades respiratorias y cardiovasculares hasta efectos neurológicos, disfunciones endócrinas, partos prematuros y riesgos de cáncer. Estos efectos no se deben a un solo contaminante, sino al efecto acumulado y sinérgico de varios: NO_x, partículas finas, COVs, HAPs, metales pesados, dioxinas, ozono, ruido crónico, CEM, entre otros.

Especialmente preocupante es la acumulación de elementos radiactivos y metales pesados en agua, suelos y organismos vivos, que representan una amenaza sostenida para la seguridad alimentaria, la salud infantil y la reproducción. El análisis revela que los efectos son más severos en poblaciones con comorbilidades previas, niñas y niños, y personas mayores, lo que refuerza la necesidad de evaluar impactos diferenciados por edad, sexo y condiciones preexistentes. En este sentido, se documentó el papel agravante de estos contaminantes en la comorbilidad con otras enfermedades respiratorias e infecciosas, como la mayor letalidad por COVID-19 en regiones bajo exposición regular por la cercanía a estas instalaciones.

Además, un hallazgo crítico de esta revisión es la afectación a la salud mental, usualmente omitida en evaluaciones de impacto. Se documenta cómo la percepción constante de amenaza, el deterioro ambiental, la opacidad institucional y el ruido crónico contribuyen a síntomas de ansiedad, depresión y estrés sostenido, incluso sin contacto directo con los contaminantes.

3. Exposición más allá del perímetro industrial.

La exposición a contaminantes no se limita al entorno inmediato de las plantas. Modelos de dispersión revisados muestran efectos sanitarios a decenas de kilómetros de distancia, incluyendo zonas urbanas densamente pobladas. El daño se manifiesta incluso con emisiones que no rebasan límites normativos, lo cual evidencia la insuficiencia de los umbrales legales actuales para proteger la salud. En casos como los de Irán, México, Perú y Estados Unidos, se ha demostrado que la combinación de proximidad, viento, condiciones meteorológicas y densidad poblacional puede multiplicar el riesgo en zonas consideradas “fuera del área de influencia directa”.

4. Ambientes laborales peligrosos, con exposición múltiple.

Las personas trabajadoras en plantas de gas enfrentan exposiciones crónicas a ruido, calor, sustancias químicas, campos electromagnéticos y bacterias. Los estudios revisados reportan daño auditivo, deterioro de la función pulmonar, alteraciones cardiovasculares y estrés psicosocial. Se identifican enfermedades profesionales invisibilizadas, especialmente entre personal técnico que realiza labores prolongadas en áreas de alta exposición. Estos datos contradicen la idea de que estas instalaciones son seguras internamente y refuerzan la urgencia de incluir a la salud ocupacional como parte central en las evaluaciones de transición energética.

5. Persistencia del modelo fósil bajo disfraces tecnológicos.

La narrativa que presenta al gas como “transitorio” o “menos dañino” oculta una continuidad en la lógica de contaminación, despojo y sacrificio. Incluso las tecnologías que se publicitan como innovadoras —como los “duct burners”, los sistemas de reducción catalítica, las celdas de combustible, turbinas con mezcla de hidrógeno o sistemas de ciclo combinado— siguen dependiendo de gas fósil, generan contaminantes peligrosos y no resuelven los impactos en salud documentados. Lejos de ser una “transición”, constituyen un reempaque del modelo fósil, ahora legitimado por el greenwashing tecnológico.

6. Zonas de sacrificio y racismo ambiental.

La revisión confirma que estas instalaciones se sitúan sistemáticamente en comunidades empobrecidas, racializadas y con menor capacidad de defensa institucional. La exposición desproporcionada a contaminantes, la falta de información, la falta de acceso a servicios de salud, la nula respuesta estatal y la persistencia del daño configuran zonas de sacrificio energético. En varios casos documentados, las fugas de metano, los efectos en la salud y la opacidad institucional han afectado de manera predominante a comunidades latinas, afrodescendientes y rurales, lo que evidencia prácticas de racismo ambiental y violencia estructural en la distribución del daño.

Para facilitar una visualización integrada de los hallazgos de esta investigación, se elaboró la Tabla 4 que agrupa de manera sistemática los componentes tóxicos identificados, los medios a través de los cuales se dispersan en el ambiente (como el aire, el agua o el suelo), así como los impactos asociados en la salud humana y el entorno. Esta herramienta permite establecer re-

laciones claras entre las sustancias, sus vías de exposición y los efectos potenciales, proporcionando una visión comprensiva y estructurada del problema analizado. La Tabla 4 se encuentra en el ANEXO al final del documento.

Referencias

- Al Monsur, A., Rahman, A., & Mohammedy, F. M. (2020). Assessment of Severity of Impact on Human Within the Proximity to A Fossil Fuel Power Plant. *IEEE International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE)*, 246-250. doi:<https://doi.org/10.1109/WIECON-ECE52138.2020.9398020>
- Al-Masri, M., Haddad, K., Doubal, A., Awad, I., & Al-Khatib, Y. (2014). Assessment of soil contamination by ^{210}Po and ^{210}Pb around heavy oil and natural gas fired power plants. *Journal of Environmental Radioactivity*, 132, 89-93. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.01.018>
- Arellano, A. (2012). *Evaluación de riesgos a la salud por tóxicos atmosféricos generados por la operación de una termoeléctrica de ciclo combinado [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, FES Zaragoza]*. Repositorio BIDI UNAM. Obtenido de <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2013/Presenciales/0694111/Index.html>
- Ayodele, O. F., Ayodele, B. V., Mustapa, S. I., & Fernando, Y. (2021). Effect of activation function in modeling the nexus between carbon tax, CO_2 emissions, and gas-fired power plant parameters. *Energy Conversion and Management: X*, 12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100111>
- Bicer, Y., & Khalid, F. (2018). Life cycle environmental impact comparison of solid oxide fuel cells fueled by natural gas, hydrogen, ammonia and methanol for combined heat and power generation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(5), 3670 - 3685. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.122>
- Brewer, E., Li, Y., Finken, B., Quartucy, G., Muzio, L., Baez, A., . . . Jung, H. S. (2016). $\text{PM}_{2.5}$ and ultrafine particulate matter emissions

from natural gas-fired turbine for power generation. *Atmospheric Environment*, 131, 141-149. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.11.048>

- Chemel, C., Sokhi, R., Dore, A., Sutton, P., Vincent, K., Griffiths, S., . . . Fisher, B. (2011). Predictions of U.K. regulated power station contributions to regional air pollution and deposition: A model comparison exercise. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 61(11), 1236 - 1245. doi:<https://doi.org/10.1080/10473289.2011.609756>
- Clarke, L., Wei, Y.-M., De La Vega Navarro, A., Garg, A., Hahmann, A. N., Khennas, S., . . . Wada, K. (2022). Energy systems (Chap. 6). En IPCC, P. R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Die-men, D. McCollum, . . . J. Malley (Edits.), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. doi:<https://doi.org/10.1017/9781009157926.008>
- Declat-Barreto, J., & Rosenberg, A. A. (2022). Environmental justice and power plant emissions in the Regional Greenhouse Gas Initiative states. *PLOS ONE*, 17(7). Obtenido de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271026>
- Di Ciaula, A. (2012). Emergency visits and hospital admissions in aged people living close to a gas-fired power plant. *European Journal of Internal Medicine*, 23, e53-e58. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejim.2011.09.013>
- Ekpruke, C., & Iyawe, V. (2020). Cardiovascular system response to chronic exposure to emissions from gas turbines power plants. *World Journal of Cardiovascular Diseases*, 10, 208-224. doi:<https://doi.org/10.4236/wjcd.2020.104020>
- Fouladi, F. R., Naddafi, K., Yunesian, M., Nabizadeh Nodehi, R., Dehghani, M. H., & Hassanvand, M. S. (2016). The assessment of health impacts and external costs of natural gas-fired power plant of Qom. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 20922-20936. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-016-7258-0>
- Fouladi-Fard, R., Naddafi, K., Hosseini, M., Yunesian, M., Nabizadeh Nodehi, R., Dehghani, M., . . . Rajabi, S. (2025). Health risk assessment and Sobol' sensitivity analysis of power plant air pollution (SO₂ and NO_x): The effect of power plant fuel change. *Integrated Environmental Assessment and Management*. doi: <https://doi.org/10.1093/inteam/vjae014>

- Fu, J., Liu, Y., & Sun, F. (2021). Identifying and regulating the environmental risks in the development and utilization of natural gas as a low-carbon energy source. *Frontiers in Energy Research*, 9. doi:<https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.638105>
- Gego, E., Porter, P., Hogrefe, C., Irwin, J., & Sistla, G. (2012). Modeling analyses of the effects of changes in nitrogen oxides emissions from the electric power sector on ozone levels in the eastern United States. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58(4), 580-588. doi:<https://doi.org/10.3155/1047-3289.58.4.580>
- Ghosh, A., Chakraborty, P. S., & Balakannan, K. (2023). Environmental impact assessment from the emission of combined natural gas cycle power plant. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 11.
- Gilmore, E. A., Adams, P. J., & Lave, L. B. (2010). Using Backup Generators for Meeting Peak Electricity Demand: A Sensitivity Analysis on Emission Controls, Location, and Health Endpoints. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 60(5), 523-531. doi:<https://doi.org/10.3155/1047-3289.60.5.523>
- Gilmore, E., Lave, L., & Adams, P. (2006). The costs, air quality, and human health effects of meeting peak electricity demand with installed backup generators. *Environmental Science & Technology*, 6887-6893. doi:<https://doi.org/10.1021/es061151q>
- Gomez, Y. (2023). *Exploring residents' experience of living near a power plant [Tesis de maestría]*. California State Polytechnic University, Pomona. doi:<https://scholarworks.calstate.edu/downloads/6d570410k>
- Guzmán-González, Y. (2020). Riesgos y peligros laborales en termoeléctricas: una revisión de la literatura de 2007 a 2017. *Salud UIS*, 52(3), 239-250. doi:<https://doi.org/10.18273/revsal.v52n3-2020006>
- Ha, S., Hu, H., Roth, J., Kan, H., & Xu, X. (2015). Associations between residential proximity to power plants and adverse birth outcomes. *American Journal of Epidemiology*, 182(3), 215-224. doi:<https://doi.org/10.1093/aje/kwv042>
- Hacatoglu, K., Dincer, I., & Rosen, M. (2014). A new model to assess the environmental impact and sustainability of energy systems. *Journal of Cleaner Production*, 1-8. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.050>
- Hauser, R., Eisen, E., Pothier, L., & Christiani, D. (2001). A prospective study of lung function among boilermaker construction workers ex-

- posed to combustion particulates. *American Journal of Industrial Medicine*, 39(5), 454-462. doi:<https://doi.org/10.1002/ajim.1021>
- Healy, N., Stephens, J. C., & Malin, S. A. (2019). Embodied energy injustices: Unveiling and politicizing the transboundary. *Energy Research & Social Science*, 48, 219-234. doi:<https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.09.016>
- Higgins, J., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., & Welch, V. A. (2022). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions (Version 6.3)*. The Cochrane Collaboration. Obtenido de <https://training.cochrane.org/handbook>
- Hossian, M., Siddique, M., Mostafa, M., Khalil, U., Malik, F., Alam, F., & Abedin, Z. (2017). Level of sound in a power plant generated by natural gas: A case study of its mapping. *YRU Journal of Science and Technology*, 2(1), 51-64. Obtenido de <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/yrjst/article/view/124462/96575>
- Howarth, R. W., & Jacobson, M. Z. (2021). How green is blue hydrogen? *Energy Science & Engineering*, 1-12. doi: <https://doi.org/10.1002/ese3.956>
- IAEA, I. A. (2003). *Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation (Technical Report Series No. 419)*. Vienna: IAEA. Obtenido de https://www.iaea.org/publications/6789/extent-of-environmental-contamination-by-naturally-occurring-radioactive-material-norm-and-technological-options-for-mitigation?utm_source=chatgpt.com
- Ibrahim, T. K., Mohammed, M. K., Awad, O. I., Rahman, M. M., Najafi, G., Basrawi, F., & Mamat, R. (2017). The optimum performance of the combined cycle power plant: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 459-474. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.060>
- Idowu, G., Olonimoyo, E., Idowu, A., & Aiyesanmi, A. (2020). Impact of gas and oil-fired power plants on proximal water and soil environments: Case study of Egbin power plant, Ikorodu, Lagos State, Nigeria. *SN Applied Sciences*, 2, 1352. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3150-0>
- IEA, I. E. (2022). *World Energy Outlook 2022*. Paris: IEA. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- IPCC, I. P. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge,

UK and New York, NY, USA.: Cambridge University Press.
doi:10.1017/9781009157926

- IPCC, I. P. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (H. Lee & J. Romero, Eds.). IPCC. doi:<https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Jorli, M., Van Passel, S., Sadeghi, H., Nasser, A., & Agheli, L. (2017). Estimating Human Health Impacts and Costs Due to Iranian Fossil Fuel Power Plant Emissions through the Impact Pathway Approach. *Energies*, 10(12). doi:<https://doi.org/10.3390/en10122136>
- Kanoglu, M., & Dincer, I. (2009). Performance assessment of cogeneration plants. *Energy Conversion and Management*, 50(1), 76–81. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.08.029>
- Kim, B.-U., Kim, O., Kim, H., & Kim, S. (2016). Influence of fossil-fuel power plant emissions on the surface fine particulate matter in the Seoul Capital Area, South Korea. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66(9), 863–873. doi:<https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1181681>
- Krieger, E., Casey, J., & Shonkoff, S. B. (2016). *Our Air: Health and Equity Impacts of Pennsylvania's Power Plants*. PSE Healthy Energy and NextGen Climate America. Obtenido de <https://search.issuelab.org/resource/our-air-health-and-equity-impacts-of-pennsylvania-s-power-plants.html>
- Laal, F., Ahmadi, E., Arbabi, R., Mohammadi, M., & Jamil, N. (2016). The effect of electromagnetic waves on the general health of Zahedan gas power plant personnel. *Journal of Community Health Research*, 5(3), 149-147. Obtenido de <https://jhr.ssu.ac.ir/article-1-294-en.pdf>
- Lacchetti, I., Carere, M., Cristiano, W., & Mancin, L. (2023). The role of ecotoxicology in the health impact assessment: An innovative ecosystem approach for the protection of human health in Italy. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 59(1), 51-55.
- Lelieveld, J., Evans, J., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525, 367-371. doi:<https://doi.org/10.1038/nature15371>
- Levy, A., Messina, D., & Contreras Lisperguer, R. (2023). *Hacia una planificación sostenible para una transición energética justa en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Obtenido de [48](https://repo-</p>
</div>
<div data-bbox=)

itorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/3a9b2a1c-b137-4754-9047-c495c7234c5f/content

- Liu, J., Wen, K., Brewer, D., & Qiu, Y. (2024). Energy Transition and Mental Health. Obtenido de https://www.jancylingliu.com/papers/energytransition_mentalhealth_2024.pdf
- Liu, X., Lessner, L., & Carpenter, D. (2012). Association between residential proximity to fuel-fired power plants and hospitalization rate for respiratory diseases. *Environmental Health Perspectives*, 120(6), 807-810. doi:<https://doi.org/10.1289/ehp.1104146>
- Matkovic, V., Myllyvirta, L., Gierens, R., Brown, S., Kieninger, F., Stauffer, A., . . . Jensen, G. K. (2022). *False fix: the hidden health impacts of Europe's fossil gas dependency*. Health and Environment Alliance (HEAL), Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA), EMBER, Europe Beyond Coal, Food & Water Action Europe. Obtenido de https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2022/05/HEAL-Fossil-gas_briefing.pdf
- Nieblas-Ortiz, E., & Quintero-Núñez, M. (2006). Gestión ambiental transfronteriza para la generación eléctrica en la región California, Estados Unidos-Baja California, México. *Región y Sociedad*, XVIII(37), 3-35. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10203702>
- Noori, M., Baghaeifar, Z., Chehregani, A., & Faraki, F. (2018). Seeds characters, pollen fertility and flavonoids of ten Brassicaceae collected near a kilns thermal power plant for air pollution bioidication. *Nusantara Bioscience*, 10(2), 96-104. doi:<https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n100206>
- Oil Change International, .. (2019). *Burning the gas 'bridge fuel' myth: Why gas is not clean, cheap, or necessary*. Washington, DC: Oil Change International. Obtenido de <https://oilchange.org/publications/burning-the-gas-bridge-fuel-myth/>
- Pathak, M., Slade, R., Shukla, P., Skea, J., Pichs-Madruga, R., & Ürges-Vorsatz, D. (2022). *Technical Summary in Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge, UK and New York, NY, USA.: Cambridge University Press. doi:<https://doi.org/10.1017/9781009157926.002>
- Petrescu, L., & Cormos, C.-C. (2017). Environmental assessment of IGCC power plants with pre-combustion CO₂ capture by chemical & calcium looping methods. *Journal of Cleaner Production*, 158, 233-244. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.011>

- Rahman, N. H., Hassan, M. N., Idris, W. M., Johari, M. M., Abdullah, A. M., & Ismail, S. N. (2024). Particulate matter concentrations around natural gas-fired power plants and their associated health impact assessment. *Journal of King Saud University - Science*, 36(7). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103270>.
- Revueltas-Agüero, M., Ramírez-Sotolongo, J. C., Suárez-Medina, R., Barceló-Pérez, C., Valdés-González, Y., & Serra-Larín, S. (2022). La exposición a campos electromagnéticos y su relación con el riesgo cardiovascular en una población. *Arch méd Camagüey*, 26, 89-94. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/amc/v26/1025-0255-amc-26-e8994.pdf>
- Rodríguez, V., Estrada, J., & Ventura, V. H. (2022). *El gas natural en México: Impacto de la política de autosuficiencia, seguridad y soberanía en la transición y la integración energética regional*. Ciudad de México: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/49810616-0d2c-44c6-80f8-aa5a250f9be1/content>
- Sánchez-Rodríguez, M. (2020). Estrategias para la búsqueda de información bibliográfica. *Casos y revisiones de salud*, 2(2), 71-88. Obtenido de <https://cyrs.zaragoza.unam.mx/volumen-2-numero-2-enero-junio-2020/>
- Shetty, K., Nunez, Y., Heath, N., Efstathiou, C., & Bilsback, K. (2025). *Health, equity, and economic impacts of proposed gas power plants in Wisconsin: Oak Creek and Paris Projects*. PSE Healthy Energy. Obtenido de <https://www.healthyclimatewi.org/post/new-analysis-details-the-public-health-impacts-of-proposed-gas-plants-in-wisconsin>
- Spitzer, S. (2011). *Occupational Noise Exposure Assessment for Coal and Natural Gas Power Plant Workers*. Chico: California State University, Chico. Obtenido de <https://scholarworks.calstate.edu/concern/theses/9593tv67p>
- Tanaka, S. (2024). Blowin' in the wind: Long-term downwind exposure to air pollution from power plants and adult mortality. *Journal of Environmental Economics and Management*, 128. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.103072>
- Thirion, C., & Steyn, J. (2021). *Natural Gas for Power Generation*. Obtenido de <https://www.ownerteamconsult.com/natural-gas-for-power-generation/>

- Tirado, A. (2019). *Valoración económica a la salud pública, y al ambiente generada por la contaminación de plantas térmicas de generación de electricidad. TESIS PARA OPTAR EL GRADO.* Lima, Perú: Universidad Nacional Federico Villareal. Obtenido de <https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/3017/TIRADO%20RENGIFO%20ARMINDA-%20DOCTOR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- U.S. EPA, E. P. (2015). *Catalog of CHP Technologies: Section 3. Technology Characterization – Combustion Turbines*. Combined Heat and Power Partnership. Obtenido de https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/catalog_of_chp_technologies_section_3._technology_characterization_-_combustion_turbines.pdf
- Villalba Atondo, A. I., del Castillo Alarcón, J. M., Gómez Álvarez, A., Pérez Villalba, A. M., Nubes Ortiz, G., Villalba Urquidy, S., & Salcido Esquer, A. (2013). Contaminación del agua y suelo en el ecosistema Río Agua Prieta, Sonora, México. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, XV(1), 3-11.
- Woodruff, T., & Sutton, P. (2011). An Evidence-Based Medicine Methodology To Bridge The Gap Between Clinical And Environmental Health Sciences. *Health Affairs*, 30(5), 931-937. doi:<https://doi.org/10.1377/hlthaff.2010.1219>
- Woodruff, T., & Sutton, P. (2014). The Navigation Guide Systematic Review Methodology: A Rigorous and Transparent Method for Translating Environmental Health Science into Better Health Outcomes. *Environ Health Perspect*, 122, 1007-1014. doi:<http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1307175>
- Yang, B., Gu, J., Zhang, T., & Zhang, K. M. (2019). Near-source air quality impact of a distributed natural gas combined heat and power facility. *Environmental Pollution*, 256, 650-657. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.067>
- Zamanian, Z., Gharepoor, S., & Dehghani, M. (2010). Effects of electromagnetic fields on mental health of the staff employed in gas power plants, Shiraz, 2009. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 13(19), 956-960.

MEDIO	COMPONENTE TÓXICO	AFECTACIONES 1	AFECTACIONES 2	AFECTACIONES 3
Aire	Dióxido de azufre (SO ₂)	• Enfermedades respiratorias • Asma infantil y tos crónica • Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) • Enfermedades cardiovasculares • Cáncer • Muertes prematuras	Acidificación de cuerpos de agua (lluvia ácida)	Precursor de O ₃
Aire	Óxidos de nitrógeno (NO _x)			
Aire	Partículas suspendidas PM ₁₀			
Aire	Partículas suspendidas PM _{2.5}		Aumenta comorbilidad (COVID)	Parto prematuro y muy prematuro.
Aire	Nanopartículas		Atraviesan el tejido pulmonar y pueden depositarse en sangre, sistema linfático e incluso el cerebro, inflamación sistémica.	
Aire	Ozono troposférico (O ₃)		Calentamiento global	
Aire	CO			
Aire	CO ₂			
Aire	CH ₄			
Aire	COV (benceno, 1,3-butadieno, xileno)			
Aire	N ₂ O	Leucemia	Precursor de O ₃	
Aire	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	Destruye capa de ozono		
Aire	Aldehídos (formaldehído y acetaldehído)	• Cáncer • Irritación de tejidos • Problema respiratorios	Leucemia	
Aire	Aerosoles ácidos			
Aire	Dioxinas			

MEDIO	COMPONENTE TÓXICO	AFECTACIONES 1	AFECTACIONES 2	AFECTACIONES 3
Aire	Contaminantes bioacumulables persistentes (PBT)	• Cáncer • Disrupción hormonal • Daño fetal		
Aire	Trazas de cloro			
Agua y suelo	Metales pesados: arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb) y zinc (Zn)	• Cáncer • Hipertensión • Daño neurológico • Disfunción renal • Enfermedades congénitas		
Suelo	Elementos radiactivos: ²¹⁰ Pb (plomo) y ²¹⁰ Po (polonio) en suelo	• Daño celular degenerativo • Acumulación en tejidos del sistema nervioso • huesos y riñones		
Suelo	Sales minerales	• Daño renal y neurológico • Cáncer • Problemas reproductivos		
Agua y suelo	Hidrocarburos	• Cáncer • Irritación de tejidos • Problemas respiratorios		
Aire	Ruido	• Hipertensión • Afectación auditiva y del sistema nervioso • Alteraciones del sueño • Deterioro cognitivo infantil • Trastorno psiquiátricos		

MEDIO	COMPONENTE TÓXICO	AFECTACIONES 1	AFECTACIONES 2	AFECTACIONES 3
Espacio	Campos electromagnéticos (CEM)	• Riesgo cardiovascular • Presión arterial elevada • Frecuencia cardíaca acelerada	Disfunción autonómica, alteraciones del sistema nervioso central, trastornos musculoesqueléticos, Parkinson, Alzheimer y enfermedades de la neurona motora.	Ansiedad, depresión y altos niveles de estrés percibido.
Agua	Bacterias <i>Legionella sp.</i> y <i>L. pneumophila</i>	• Legionelosis • Neumonía crónica		
Decisiones humanas	Racismo / clasismo ambiental	• Sobre exposición de personas con cargas previas de enfermedades y sin acceso a servicios de salud • Instalación cerca de comunidades pobres y racializadas	Fugas masivas de metano sin atención durante dos años.	Persistencia de patrones de desigualdad estructural.
Decisiones humanas	Presencia de planta en entorno	Síntomas de ansiedad y depresión.		

