

Impactos sobre la salud, la calidad de aire y la toxicidad derivados de la minería y generación eléctrica a base de carbón en Coahuila

Lauri Myllyvirta, analista principal | 08/2021



CREA es una organización de investigación independiente enfocada en mostrar las tendencias, causas e impactos en la salud, así como las soluciones a la contaminación del aire.

Impactos sobre la salud, la calidad de aire y la toxicidad derivados de la minería y generación eléctrica a base de carbón en Coahuila

Hallazgos principales

- Las centrales eléctricas Carbón 1 y 2, con una capacidad combinada de 2,600 megavatios (MW), en Coahuila, al norte de México, constituyen el conjunto de instalaciones de generación con carbón más grande y uno de los mayores focos de emisiones contaminantes del país. Actualmente, se han anunciado planes para una nueva central carboeléctrica de 1,400 MW en la región.
- Las emisiones de contaminantes atmosféricos de las centrales exponen a un estimado de 530,000 personas a concentraciones medias de SO₂ en 24 horas que exceden los límites establecidos en las directrices de la Organización Mundial de la Salud, y a 230,000 personas a concentraciones medias de PM_{2.5} en 24 horas que exceden los límites establecidos.
- Las emisiones de contaminantes atmosféricos de las centrales eléctricas y las minas están asociadas con aproximadamente 430 muertes relacionadas con la contaminación del aire cada año (intervalo de confianza del 95%: 244-612), lo que resulta en costos económicos totales estimados de aproximadamente \$4 mil millones de dólares al año. Otros impactos anuales en la salud asociados con las emisiones incluyen 260 visitas a urgencias relacionadas con el asma, 60 nuevos casos de asma en niños, 80 partos prematuros, un total de 150,000 días de ausencia laboral por incapacidad y casi 1,900 años vividos con discapacidades relacionadas con la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), diabetes y accidente cerebrovascular.
- En el futuro, las emisiones de las centrales eléctricas y las minas en funcionamiento contribuirán a un total acumulado proyectado de 5,900 muertes por contaminación del aire (intervalo de confianza del 95%: 3,300-8,400), suponiendo una vida útil de 50 años. Con la adición de la central eléctrica propuesta, esta cifra aumentaría a 9,400 muertes (5,300-13,500).
- Las dos centrales carboeléctricas existentes en conjunto emiten aproximadamente 1,700 kg de mercurio al año. Esta cifra aumentaría hasta los 2,200 kg anuales previstos con la incorporación de la nueva central eléctrica anunciada. Gran parte del mercurio se deposita en los bosques y las tierras de cultivo circundantes, aumentando las concentraciones de mercurio en las zonas de esparcimiento y cultivos. Los niveles de deposición de mercurio son potencialmente peligrosos en una zona con más de 470,000 habitantes.

Índice

Hallazgos principales	1
Contenido	2
Introducción	3
Materiales y métodos	3
Resultados	12
Emisiones	13
Calidad del aire y salud	15
Depósito tóxico	23
Recomendaciones	26
Acerca de CREA	27
Bibliografía	28

Imagen de portada: mina de carbón en la región de Múzquiz, en el estado de Coahuila. Crédito: iStock.com/Photo Beto.

Introducción

México tiene la tercera peor calidad del aire en la región de América Latina y el Caribe al clasificarse por la concentración media anual de $PM_{2.5}$ según el Informe Mundial de Calidad del Aire 2020 de IQAir (2020). Nueve de las 15 ciudades más contaminadas de la región en 2020 se encontraban en México. Los altos niveles de contaminación hacen que la contaminación del aire sea uno de los principales factores de riesgo ambiental de mortalidad en México, siendo responsable de más del 9% de las muertes (48,000) sólo en 2019 (SoGA 2020). El informe Status of Global Air (SoGA) por el Health Effects Institute, 2020, sostiene que el 100% de la población de México vive en zonas donde se exceden las directrices de la OMS para los niveles de $PM_{2.5}$.

Sin embargo, en un momento en el que las fuentes de energía renovables son cada vez más baratas y muchos países están dejando de depender del carbón, México sigue dependiendo en gran medida de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía. En 2019, una gran parte (73%) de la generación de electricidad en México seguía siendo suministrada por centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles (Administración de Información Energética de Estados Unidos, U.S. EIA, 2020).

Este estudio de caso proporciona un análisis detallado de la calidad del aire, impactos tóxicos y sanitarios de las centrales eléctricas Carbón 1 y 2, y las minas en la región de Coahuila que suministran la central, en el que se combinan los mejores datos disponibles sobre las emisiones para los proyectos con modelos atmosféricos detallados y datos epidemiológicos y literatura existentes. También explora los futuros impactos posibles de la central eléctrica propuesta en Coahuila.

Materiales y métodos

Los factores de emisión de los mayores contaminantes atmosféricos (SO_2 , NO_x y polvo) de las centrales eléctricas se encontraban disponibles en la empresa estatal de electricidad de México, Comisión Federal de Electricidad, CFE (2016). La generación anual de energía se obtuvo del Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional, México, 2018 (SENER 2018a, Tabla 2.2.11.A.C) y el régimen térmico se obtuvo de un conjunto de datos de centrales eléctricas en México de la Secretaría de Energía (SENER 2018b). El poder calorífico del carbón se reportó como 18-21 MJ/ kg en la CFE (2016); se utilizó el punto medio de estos valores. Con esta información, se calculó el consumo anual de carbón (CC) de cada central eléctrica como:

$$CC = GEN \times HR / CV,$$

donde GEN es la generación de energía, HR es el régimen térmico y CV es el poder calorífico. A partir de ahí se calcularon las emisiones (E) del contaminante P para los principales contaminantes utilizando los factores de emisión por kg de carbón (EF) de la CFE:

$$E_p = EF_p \times CC.$$

Las emisiones de mercurio se calcularon utilizando datos sobre el contenido de mercurio de carbón del manual sobre el mercurio del PNUMA (2017), la eliminación de mercurio en el lavado de carbón de Acosta-Ruiz & Powers (2003), asumiendo que todo el carbón se lava, y la eliminación de mercurio por los dispositivos de control de partículas de las centrales tomado del PNUMA (2017):

$$E_{Hg} = CC \times C_{Hg} \times (1 - CE_{Hg}),$$

donde C_{Hg} es contenido de mercurio de carbón y CE es eficiencia de control, la cantidad de mercurio retenida por el lavado de carbón y los controles de emisiones de la central.

También se estimó la concentración de gases de combustión contaminantes (FGC, en mg/ Nm³) para compararla con los límites de emisiones de otros países. Esto se basó en el factor de emisiones de CO₂ del carbón indicado en la CFE (2016) y una relación entre el volumen normalizado de gases de combustión y las emisiones de CO₂ de 3,563 Nm³/ tCO₂ al 6% de exceso de oxígeno calculado a partir de la EEA (2008, Tablas D. 1-D. 2):

$$FGC_p = EF_p / (EF_{CO_2} \times FGR),$$

donde EF es el factor de emisión de cada contaminante por tonelada de carbón quemado dado por la CFE (2016). El EF para el CO₂ se calculó a partir del contenido de carbón registrado.

Para la nueva central eléctrica propuesta en Coahuila, se asumió que la planta utilizaría tecnología supercrítica, con un rendimiento térmico de alrededor del 42% con base en el poder calorífico inferior (LHV), y cumpliría con los estándares de emisión para nuevas centrales eléctricas de combustible sólido (concentraciones de gases de combustión de 220 ppm de SO₂ y NO_x; 50 mg/ Nm³ de partículas¹ según la SEMARNAT 2011). Las emisiones anuales se estimaron como

$$E_p = CAP / EFF \times LF \times SFGV \times FGC_p,$$

donde LF es el factor de carga de la central, considerado igual que el de Carbón-2.

Las emisiones de mercurio de la nueva unidad se calcularon de la misma manera que las de las unidades existentes, pero se considera que la nueva central tendría que instalar equipos de desulfuración de gases de combustión para cumplir con las nuevas normas de emisión de la central, aumentando ligeramente la eficacia de la captura de mercurio según el PNUMA (2017).

¹ Los estándares mexicanos se normalizan al 5% de exceso de oxígeno, 25 °C y 1 atm; se aplicaron las conversiones apropiadas.

La información sobre el suministro de carbón a las centrales desde varias minas se recopiló a partir de numerosas fuentes, y las ubicaciones probables de las minas activas se identificaron a partir de imágenes de satélite de Google Earth (Tabla 2).

Las emisiones de polvo procedentes de la minería del carbón se estimaron a partir de los factores de emisión por defecto del Programa Europeo de Evaluación y Control / Agencia Europea de Medio Ambiente (EMEP/EEA) (2016). Las emisiones de polvo se duplicaron respecto a la tasa por defecto durante la estación seca, desde mediados de diciembre hasta mediados de junio. Las minas se modelaron como fuentes de área, establecidas como rectángulos que cubren todo el pozo minero. En realidad, la mayor parte del polvo se emitirá desde una zona mucho más pequeña con operaciones mineras activas en un momento dado, lo que significa que la hipótesis da lugar a una proyección conservadora de las concentraciones locales máximas.

Tabla 1. *Centrales eléctricas de Coahuila incluidas en el estudio (GEM2021).*

Nombre de la unidad	MW	Latitud	Longitud
Central termoeléctrica Carbón-1 Unidad 1	300	28.468	-100.697
Central termoeléctrica Carbón-1 Unidad 2	300	28.468	-100.697
Central termoeléctrica Carbón-1 Unidad 3	300	28.468	-100.697
Central termoeléctrica Carbón-1 Unidad 4	300	28.468	-100.697
Central termoeléctrica Carbón-2 Unidad 1	350	28.468	-100.697
Central termoeléctrica Carbón-2 Unidad 2	350	28.468	-100.697
Central termoeléctrica Carbón-2 Unidad 3	350	28.468	-100.697
Central termoeléctrica Carbón-2 Unidad 4	350	28.468	-100.697
Central eléctrica de Coahuila Unidad 1	700	28.468	-100.697
Central eléctrica de Coahuila Unidad 2	700	28.468	-100.697

Tabla 2. Ubicación de las minas de carbón incluidas en el estudio

Nombre	Longitud	Latitud
Eagle Pass	-100.459	28.813
MICARE-Norte	-100.684	28.497
MICARE-Sur	-100.691	28.468
MIMOSA-3	-101.415	27.908
MIMOSA-5	-101.293	27.898
MIMOSA-6	-101.369	27.896
MIMOSA-2	-101.362	27.923

Tabla 3. Factores de emisión ($\text{kg}/t_{\text{carbón}}$) y datos de entrada de cálculo

Central	SO ₂	NO _x	PM	CO ₂	Régimen térmico GJ/ MWh	MJ/ kg	kgCO ₂ / MJ	gCO ₂ / kWh	Factor de carga
Carbón-1	18.38	3.7	1.504	2016.7	12	19.5	103.4	1241.0	51.37%
Carbón-2 U1-2	19.95	3.6	1.692	2016.7	12	19.5	103.4	1241.0	57.69%
Carbón-2 U3-4	19.95	3.7	1.692	2016.7	12	19.5	103.4	1241.0	57.69%
Central eléctrica de Coahuila, nueva	3.88	2.78	0.34	2016.7	8.57	19.5	103.4	886.4	57.69%

El modelamiento de la dispersión atmosférica se llevó a cabo utilizando la versión 7 (junio de 2015) del sistema de modelación CALPUFF (Scire et al. 2000; Exponent 2015). Los datos meteorológicos y geofísicos para las simulaciones se generaron con el modelo TAPM, desarrollado por la agencia nacional de ciencia CSIRO de Australia. Se utilizó un conjunto de redes anidadas con un tamaño de red de 50x50 y resoluciones horizontales de 40 km, 10 km y 5 km y 12 niveles verticales, centrados en el cúmulo de centrales eléctricas. El modelo produjo datos meteorológicos tridimensionales y horarios que cubrían todo el año natural 2019.

El modelo CALPUFF utiliza el conjunto de datos meteorológicos para predecir el tráfico atmosférico, la dispersión, la transformación química y la deposición de los contaminantes, así como las concentraciones graduales en el suelo atribuidas a las fuentes de emisión estudiadas. El modelo realiza una simulación detallada del ascenso de la nube desde la chimenea de la central eléctrica, a través de la cual se descargan las emisiones; las características de las chimeneas modeladas se indican en la Tabla 4. La altura y el diámetro de las chimeneas se midieron a partir de imágenes de satélite de Google Earth. Dado que no se disponía de datos específicos, la velocidad de los gases de combustión se calculó siguiendo cálculos de ingeniería estándar y la temperatura se asumió a partir de los valores típicos dados en Pregger & Friedrich (2009). Se asumió que la central eléctrica de Coahuila propuesta tendría las mismas dimensiones de chimenea, pero una menor velocidad de salida debido a una mayor eficiencia térmica, y una menor temperatura de salida de 60 °C debido a la instalación de desulfuración de gases de combustión.

Tabla 4. Propiedades de las chimeneas de las centrales eléctricas de Coahuila

Central	Altura de chimenea, m	Diámetro de chimenea, m	Velocidad de salida, m/ S	Temperatura de salida, °C
Carbón-1	120	7.1	37.5	150
Carbón-2	120	7.1	37.5	150
Coahuila (nuevas unidades)	120	7.1	37.5	150

Para las emisiones de las calderas principales de las centrales eléctricas, se asumió que el 30% de las cenizas volantes emitidas eran $PM_{2.5}$ y el 37.5% PM_{10} , de acuerdo con la AP-42 de la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (U.S. EPA (1998) AP-42). La transformación química de especies de azufre y nitrógeno se modeló utilizando el módulo de química de ISORROPIA dentro de CALPUFF, y se requirieron parámetros de química atmosférica (niveles medios mensuales de ozono, amoníaco y H_2O_2) para el dominio de modelado que se importaron al modelo a partir de simulaciones de los valores de referencia utilizando el modelo atmosférico Geos-Chem (Kopplitz et al. 2017). Los resultados de CALPUFF se volvieron a procesar utilizando la herramienta POSTUTIL para repartir las diferentes especies de nitrógeno (NO , NO_2 , NO_3 y HNO_3) basándose en las concentraciones de amoníaco de referencia.

La evaluación del impacto en la salud y la valoración económica siguen la metodología del estudio del CREA “Cuantificación de los costes económicos de la contaminación atmosférica ocasionada por los combustibles fósiles” (*Quantifying the Economic Costs of Air Pollution from Fossil Fuels*) (Myllyvirta 2020). Se utilizaron como referencia datos específicos de cada país sobre la población, la estructura de edad de la población, las tasas de mortalidad por causas y grupos de edad, y la prevalencia e incidencia de diferentes enfermedades.

Los impactos en la salud resultantes del aumento de las concentraciones de $PM_{2.5}$ se valoraron mediante la evaluación de la exposición de la población resultante, basada en datos de población cuadrículados de alta resolución para 2020 del CIESIN (2017), ajustados para coincidir con los datos del censo oficial. Posteriormente, se empleó el modelo de riesgo desarrollado por Burnett et al. (2018) basado en un metaanálisis exhaustivo de los estudios disponibles sobre el riesgo de mortalidad a largo plazo por $PM_{2.5}$. Las muertes por exposición a largo plazo al NO_2 se cuantificaron siguiendo las recomendaciones del proyecto HRAPIE de la OMS (OMS 2013). Las muertes de niños pequeños por infecciones respiratorias inferiores vinculadas a la contaminación por $PM_{2.5}$ procedente de combustibles fósiles se evaluaron utilizando la función de riesgo de la Carga Mundial de Morbimortalidad para las enfermedades respiratorias inferiores (GBD 2017).

Para todos los resultados de mortalidad, los datos necesarios específicos de cada país sobre las tasas de mortalidad de referencia y los años de vida perdidos se tomaron de los resultados del proyecto de la Carga Mundial de Morbimortalidad para 2017 (GBD 2017).

Los modelos de riesgo aplicados en la evaluación del impacto en la salud se derivan de todos los estudios disponibles en todo el mundo, ya que no hay estudios sobre los impactos crónicos a largo plazo de la contaminación del aire en México. Sin embargo, los modelos de riesgo se han aplicado a México en estudios revisados por pares (por ejemplo, Burnett et al. 2018; Achakulwisut et al. 2019; Anenberg et al. 2018; IHME 2020).

Dado que las relaciones concentración-respuesta utilizadas incluyen funciones no lineales y umbrales no dañinos, es preciso disponer de información sobre las concentraciones de contaminantes atmosféricos de referencia para la evaluación del impacto sobre la salud. Estos datos se obtuvieron de van Donkelaar et al. (2016) para las PM_{2.5} y de Larkin et al. (2017) para el NO₂.

Las proyecciones de los futuros impactos en la salud consideran el crecimiento poblacional proyectado a nivel nacional, y para los impactos en la mortalidad, los cambios proyectados a nivel de país en las tasas de mortalidad por edad, basados en la variante media del UNPD (2019). Es de destacar que el uso de tasas de mortalidad específicas por edad captura el impacto de las mejoras previstas en el estado de salud de la población y en los servicios sanitarios, lo que se traduce en una menor mortalidad infantil, mientras aumenta la susceptibilidad de la población adulta a las enfermedades no transmisibles asociadas a la contaminación atmosférica.

Se evaluaron los costes económicos de los daños sanitarios, recurriendo a los costes por caso o por año de enfermedad encontrados en la literatura y ajustándolos al PIB per cápita (PPA) a nivel de país (Tabla 5), con elasticidad unitaria. Esto se basa en el estudio exhaustivo de Viscusi & Masterman (2017) para la valoración de la mortalidad.

Los resultados de la deposición se diferenciaron por tipo de uso de suelo utilizando el mapa global de uso del suelo de la Agencia Espacial Europea para el año 2015 con una resolución de 300 m (ESA 2018). Los códigos 1030 de uso de la tierra se han asignado como tierras de cultivo; los códigos 50-100 se han asignado como bosques, y el código 170 como manglares.

Para proyectar los futuros impactos en la salud, los impactos de los resultados anuales se ajustaron según los cambios en la población, la mortalidad por todas las causas y la tasa de natalidad específicos de cada país y grupo de edad, basándose en los datos históricos y las proyecciones de las Perspectivas de la Población Mundial 2019 de la División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (UNPD) (variante media).

Tabla 5. *Parámetros de entrada y datos utilizados para estimar los costes económicos de los impactos en la salud convertidos a pesos mexicanos (MXN)*

Resultado	Media mundial PIB, USD	Valoración en México, 2011 USD	Valoración en México, 2019 USD	Valoración en México, 2019 MXN	Fuente
Partos prematuros	112,365	139,424	69,640	1,341,528	Trasande et al. 2016
Ausencia laboral (días de incapacidad)	90	111	55	1,074	EEA 2014
Años vividos con discapacidad	32,922	40,850	20,404	393,056	Birchby 2019
Muertes	2,909,928	3,610,689	1,803,489	34,741,704	Viscusi & Masterman 2017
Número de niños que padecen asma debido a la exposición a la contaminación (aumento de la prevalencia).	1,242	1,541	769	14,828	Brandt et al. 2012
Visitas a urgencias por asma	268	332	166	3,199	Brandt et al. 2012

Tabla 6. *Parámetros de entrada y datos utilizados en la estimación de los impactos en la salud*

Grupo etario	Efecto	Contaminante	Función concentración-respuesta	Cambio de conc.	Umbral sin riesgo	Referencia	Datos de incidencia
1-18	Nuevos casos de asma	NO ₂	1.26 (1.10-1.37)	10 ppb	2 ppb	Achakulwisut et al. 2019	Achakulwisut et al. 2019
0-17	Visitas a urgencias por asma	PM _{2.5}	1.025 (1.013-1.037)	10 ug/ m3	6 ug/ m3	Zheng et al. 2015	Anenberg et al. 2018
18-99	Visitas a urgencias por asma	PM _{2.5}	1.023 (1.015-1.031)	10 ug/ m3	6 ug/ m3	Zheng et al. 2015	Anenberg et al. 2018
Recién nacido	Parto prematuro	PM _{2.5}	1.15 (1.07- 1.16)	10 ug/ m3	8.8 ug/ m3	Trasande et al. 2016	Chawanpaiboon et al. 2019
25-99	Muertes por enfermedades no transmisibles e infecciones de las vías respiratorias inferiores	PM _{2.5}	no lineal		2.4 ug/ m3	Burnett et al. 2018	IHME 2020
0-4	Muertes por infecciones respiratorias inferiores	PM _{2.5}	no lineal		5.8 ug/ m3	IHME 2020	IHME 2020
25-99	Muertes por infecciones respiratorias inferiores	PM _{2.5}	no lineal		5.8 ug/ m3	IHME 2020	IHME 2020
25-99	Discapacidad causada por diabetes, accidentes cerebrovasculares y enfermedades respiratorias crónicas	PM _{2.5}	no lineal		2.4 ug/ m3	IHME 2020	IHME 2020
25-99	Muertes prematuras	NO ₂	1.04 (1.02-1.06)	10 ug/ m3	4.5 ug/ m3	Faustini et al. 2014	IHME 2020
25-99	Muertes prematuras	SO ₂	1.02 (1.014-1.026)	5 ppb	0.02 ppb	Krewski et al. 2009	IHME 2020

Los valores numéricos de la columna "Función concentración-respuesta" se refieren al riesgo relativo correspondiente al aumento de las concentraciones indicado en la columna "cambio de concentración". "No lineal" indica el uso de una función concentración-respuesta no lineal dada en la referencia. "Umbral sin riesgo" se refiere a una concentración por debajo de la cual no se cuantifican los efectos sobre la salud, generalmente porque los estudios en los que se basa la función no incluían poblaciones con niveles de exposición inferiores, no implica que haya evidencia de ausencia de riesgo, sólo la ausencia de datos.

¿Qué se entiende por muertes y otros impactos en la salud "asociados a" la contaminación atmosférica?

Numerosos estudios de salud a largo plazo han demostrado que las personas viviendo en áreas con concentraciones promedio más altas de PM2.5 y NO2 tienen un mayor riesgo de muerte por enfermedades crónicas, incluidos accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, diabetes y enfermedad cardíaca isquémica. Los hallazgos de estos estudios han permitido a los científicos desarrollar funciones de concentración-respuesta que muestran cómo aumentan o disminuyen las muertes cuando cambian los niveles de contaminantes del aire. Al combinar estas funciones con los datos sobre la población y el número de muertes observadas, se puede calcular cuántas muertes se habrían evitado si se hubiera eliminado la fracción de contaminación atmosférica atribuida a las termoeléctricas y minas de carbón de Coahuila, o cuánto aumentarían las muertes si se añadieran nuevas fuentes de emisión.

Por mucho tiempo, los científicos sólo pudieron medir los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica que afectaba principalmente a las personas que ya estaban gravemente enfermas. No obstante, según las evidencias acumuladas en las dos últimas décadas, las muertes relacionadas con la contaminación atmosférica están principalmente relacionadas con la exposición crónica durante varios años. El número de años de vida perdidos asociados a cada muerte relacionada con la contaminación atmosférica en México es de 23 años aproximadamente.

Resultados

Emisiones

Los factores de emisión reportados por la CFE indican que las centrales eléctricas Carbón 1 y 2 tienen emisiones de contaminantes atmosféricos extremadamente altas por unidad de energía generada, emitiendo aproximadamente 20 veces más SO₂ y material particulado, seis veces más mercurio y tres veces más óxidos de nitrógeno que lo permitido en la Unión Europea, por ejemplo.

Si la nueva central eléctrica propuesta sigue la norma de emisiones vigente en México para las nuevas fuentes, se le permitiría emitir siete veces más SO₂, nueve veces más partículas, cinco veces más NO_x y 20 veces más mercurio de lo permitido para las nuevas centrales carboeléctricas en la UE (Tabla 8).

Además de las minas MIMOSA y MICARE en Coahuila, se incluyen las emisiones de polvo de la mina Eagle Pass justo al otro lado de la frontera en Texas.

Tabla 7. *Cálculo de las emisiones anuales de contaminantes atmosféricos de las centrales carboeléctricas de Coahuila.*

Central	SO ₂ , t/ a	NO _x , t/ a	Partículas, t/ a	Mercurio, kg/ a	CO ₂ , t/ a
Carbón-1	61,078	12,295	4,998	723	6,701,538
Carbón-2	86,859	15,892	7,367	947	8,780,256
Central eléctrica de Coahuila, nueva	12,070	8,661	1,047	511	6,271,612

Tabla 8. Concentraciones estimadas de contaminantes en los gases de combustión, comparadas con las normas de la Unión Europea para las centrales carboeléctricas² (unidad: mg/ Nm³ al 5% de exceso de oxígeno, excepto el mercurio en µg/ m³)

	SO ₂	NO _x	PM	Hg
Carbón-1	2,730	549	223	32.3
Carbón-2	2,963	535	251	32.3
Normas la UE para centrales existentes	139	187	11	5.3
Central eléctrica de Coahuila, nueva	576	414	50	24.4
Normas la UE para centrales existentes	80	91	5	1.1

Tabla 9. Fuentes de carbón por empresa minera y emisiones estimadas de la minería de carbón (t/a).

Mina	Fuentes de carbón, Mt/ a	PM ₁₀	PM _{2.5}	Referencia
MICARE	7	294	35	AHMSA 2019a
Eagle Pass	2.8	117.6	14	GEM 2020
MIMOSA	4	168	20	AHMSA 2019b

² Documento de referencia sobre las mejores tecnologías disponibles para las grandes centrales de combustión (JRC 2017). El documento establece límites jurídicamente vinculantes aplicables a las nuevas centrales a partir de 2017 y a las centrales en funcionamiento a partir de 2023.

Calidad del aire y salud

Los impactos en la calidad del aire de las emisiones de las centrales se modelaron utilizando el modelo de dispersión de CALPUFF (Scire et al. 2000), el cual emplea datos detallados por hora sobre el viento y otras condiciones atmosféricas para seguir el transporte, transformación química y deposiciones de contaminantes; se utiliza ampliamente para evaluar los impactos a corto y largo plazo de las emisiones procedentes de fuentes puntuales industriales y fuentes de área. El modelo predice los aumentos de las concentraciones de contaminantes por hora, diarias y anuales provocados por las emisiones de la fuente estudiada.

Las emisiones de las centrales eléctricas contribuyen a las concentraciones ambientales de $PM_{2.5}$, NO_2 y SO_2 , provocando un aumento del riesgo de enfermedades y síntomas agudos y crónicos.

Se calculó el impacto sanitario anual estimado asociado a las emisiones de las centrales existentes en Coahuila y de las minas proveedoras de carbón. Además, para estudiar el efecto de la central propuesta, se combinaron los impactos sanitarios anuales estimados para las centrales existentes, las minas y la nueva central (Tabla 10). La nueva central incrementaría los impactos anuales sobre la salud, aumentando el total de muertes prematuras de un estimado de 430 a 480 por año, nuevos casos de asma en niños debido a la alta exposición de NO_2 de 60 a 80 casos por año, y los años vividos con una discapacidad de 1,900 a más de 2,000.

Tabla 10. *Impacto anual estimado en la salud asociado a las emisiones de centrales eléctricas existentes y minas en Coahuila, y de las centrales existentes y nuevas combinadas*

Resultado	Contaminante	Carbón 1 y 2, casos	Intervalo de confianza (95%)	Centrales existentes y nuevas, casos	Intervalo de confianza (95%)
muertes	Total	431	(244 - 612)	477	(270 - 679)
<i>de las cuales debido a:</i>					
<i>enfermedad pulmonar obstructiva crónica</i>	PM _{2.5}	45	(17 - 76)	49	(19 - 83)
<i>diabetes</i>	PM _{2.5}	53	(16 - 71)	58	(18 - 78)
<i>cardiopatía isquémica</i>	PM _{2.5}	156	(124 - 187)	170	(135 - 204)
<i>infecciones respiratorias inferiores, adultos y niños</i>	PM _{2.5}	47	(19 - 78)	51	(21 - 85)
<i>cáncer de pulmón</i>	PM _{2.5}	45	(24 - 67)	49	(26 - 73)
<i>accidente cerebrovascular</i>	PM _{2.5}	27	(11 - 45)	29	(12 - 49)
<i>todas las causas</i>	NO ₂ , SO ₂	59	(34 - 86)	71	(40 - 104)
Visitas a urgencias por asma, adultos	PM _{2.5}	128	(84 - 172)	140	(92 - 188)
Visitas a urgencias por asma, niños	PM _{2.5}	127	(66 - 187)	140	(73 - 205)
nuevos casos de asma en niños	NO ₂	62	(15 - 131)	83	(20 - 176)
partos prematuros	PM _{2.5}	77	(37 - 82)	84	(41 - 90)
ausencia laboral (días de incapacidad)	PM _{2.5}	154,828	(131,726 - 177,770)	169,363	(144,091 - 194,460)
<i>años vividos con discapacidad:</i>					
<i>enfermedad pulmonar obstructiva crónica</i>	PM _{2.5}	378	(142 - 675)	412	(155 - 736)
<i>diabetes</i>	PM _{2.5}	1,356	(328 - 2,243)	1,488	(363 - 2,454)
<i>accidente cerebrovascular</i>	PM _{2.5}	163	(54 - 327)	178	(59 - 357)

Se calculó el impacto sanitario acumulado de las minas y las centrales eléctricas para una vida operativa de 50 años. Para estudiar el aumento del impacto sobre la salud derivado de la central propuesta, los impactos acumulativos se calcularon por separado para las centrales existentes Carbón 1 y 2 y las minas que proporcionan el carbón, antes de añadir el impacto acumulativo de la nueva central.

Atendiendo a los resultados de la modelización, el total de muertes acumuladas previstas asociadas al Carbón 1 y 2 asciende a 5,900 aproximadamente (Tabla 11). Añadiendo la nueva central al análisis, esta cifra se elevaría a 9,400. El total de muertes es el resultado de muchas causas distintas, siendo las diversas enfermedades no transmisibles y las infecciones de las vías respiratorias inferiores como resultado de una exposición demasiado elevada a las PM_{2.5} el factor principal que contribuye a las muertes.

Otros impactos acumulativos significativos para la salud son los 3 millones de días de ausencia laboral asociados a las emisiones de las centrales eléctricas existentes y nuevas combinadas, frente a los 2 millones de días de ausencia de las centrales existentes Carbón 1 y 2.

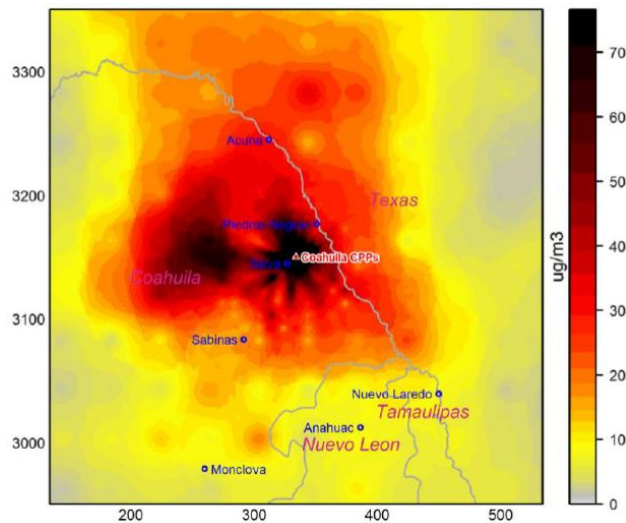
Los nuevos casos de asma en niños se duplicarían al considerar la nueva central de Coahuila, de un estimado de 800 casos nuevos de asma atribuidos a las centrales Carbón 1 y 2, hasta un total de más de 2,200 casos nuevos incluyendo la nueva central.

Tabla 11. *Impactos acumulativos previstos en la salud asociados a las emisiones de las centrales eléctricas existentes en Coahuila, las minas y la nueva central durante 50 años de operación.*

Resultado	Contaminante	Carbón 1 y 2, casos	Intervalo de confianza (95%)	Centrales existentes y nuevas, casos	Intervalo de confianza (95%)
muerteres	Todos	5,914	(3,339 - 8,413)	9,436	(5,267 - 13,517)
de las cuales debido a:					
<i>EPOC</i>	PM _{2.5}	609	(229 - 1,041)	909	(342 - 1,557)
<i>diabetes</i>	PM _{2.5}	739	(216 - 998)	1,171	(354 - 1,574)
<i>cardiopatía isquémica</i>	PM _{2.5}	2,138	(1,689 - 2,561)	3,211	(2,533 - 3,853)
<i>infecciones respiratorias inferiores, adultos y niños</i>	PM _{2.5}	640	(262 - 1,076)	961	(393 - 1,619)
<i>cáncer de pulmón</i>	PM _{2.5}	606	(326 - 912)	887	(477 - 1,337)
<i>accidente cerebrovascular</i>	PM _{2.5}	365	(147 - 619)	550	(221 - 934)
<i>todas las causas</i>	NO ₂ , SO ₂	818	(470 - 1,205)	1,747	(947 - 2,644)
Visitas a urgencias por asma, adultos y niños	PM _{2.5}	3,427	(2,017 - 4,822)	5,087	(2,990 - 7,162)
nuevos casos de asma en niños	NO ₂	823	(194 - 1,746)	2,217	(521 - 4,728)
partos prematuros	PM _{2.5}	911	(442 - 967)	1,241	(601 - 1,318)
ausencia laboral (días de incapacidad)	PM _{2.5}	2,051,158	(1,745,106 - 2,355,102)	3,004,457	(2,556,087 - 3,449,767)
años vividos con discapacidad:					
<i>EPOC</i>	PM _{2.5}	5,119	(1,921 - 9,145)	7,507	(2,813 - 13,432)
<i>diabetes</i>	PM _{2.5}	18,657	(4,499 - 30,872)	28,749	(7,110 - 47,035)
<i>accidente cerebrovascular</i>	PM _{2.5}	2,217	(740 - 4,450)	3,283	(1,096 - 6,588)

Las emisiones actuales de contaminantes provenientes de las centrales carboeléctricas exponen a un estimado de 530,000 personas a concentraciones de SO₂ en un promedio de 24 horas que exceden las directrices de la OMS de 20 µg/ m³ (Figura 1) y a otras 230,000 a excedencias de concentración de PM_{2.5} en un promedio de 24 horas (Figura 3). Las emisiones de contaminantes provenientes de las centrales existentes y nuevas expondrían a un estimado de 550,000 personas a excedencias de concentración de SO₂ en un promedio de 24 horas (Figura 1), al igual que un estimado de 270,000 personas a excedencias de concentración de PM_{2.5} en un promedio de 24 horas (Figura 3).

Concentración máxima de SO₂ en 24 horas de las centrales carboeléctricas existentes



Concentración máxima de SO₂ en 24 horas de las centrales carboeléctricas existentes y nuevas

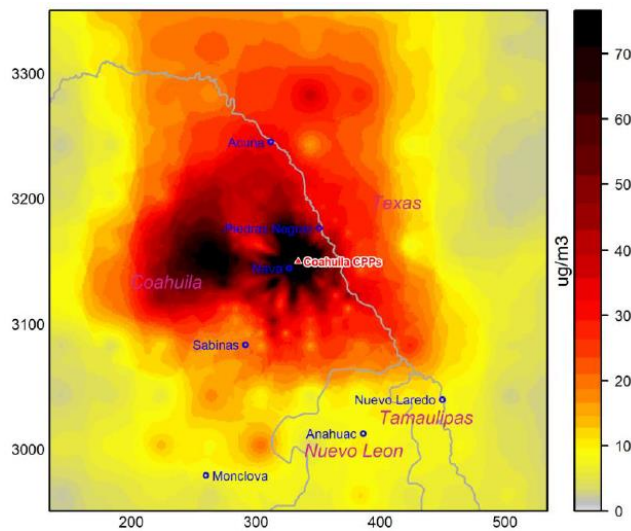
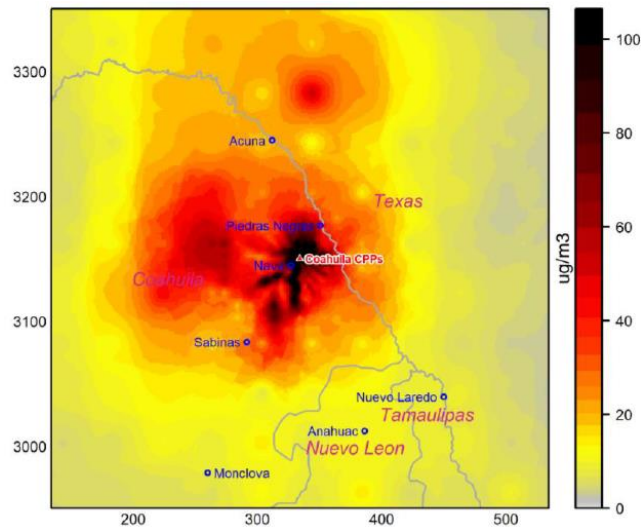


Figura 1. Resultados de la modelación por CALPUFF para las contribuciones de las centrales eléctricas existentes y nuevas de Coahuila a niveles de SO₂ en el ambiente

Concentración máxima de NO₂ en una hora de las centrales carboeléctricas existentes



Concentración máxima de NO₂ en una hora de las centrales carboeléctricas existentes y nuevas

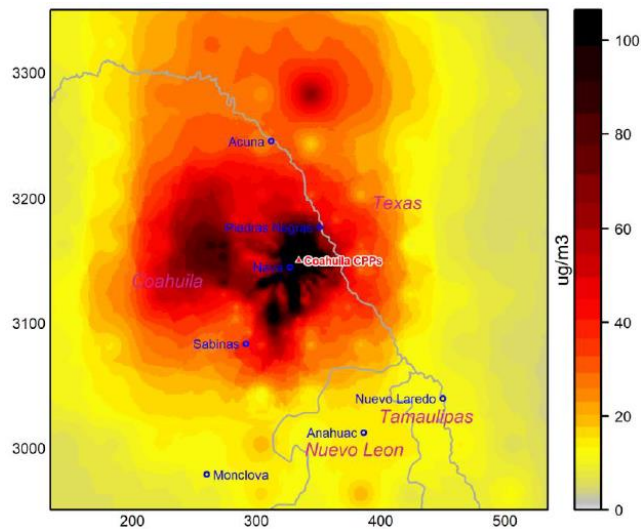
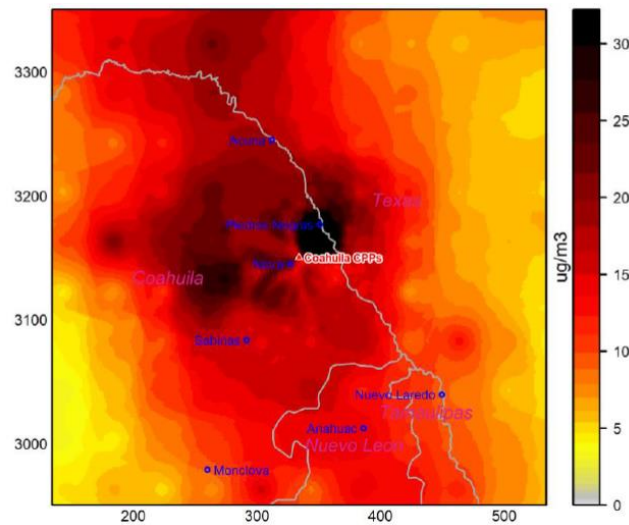


Figura 2. Resultados de la modelación por CALPUFF para las contribuciones de las centrales eléctricas existentes y nuevas de Coahuila a niveles de NO₂ en el ambiente

Concentración máxima de PM_{2.5} en 24 horas de las centrales carboeléctricas existentes



Concentración máxima de PM_{2.5} en 24 horas de las centrales carboeléctricas existentes y nuevas

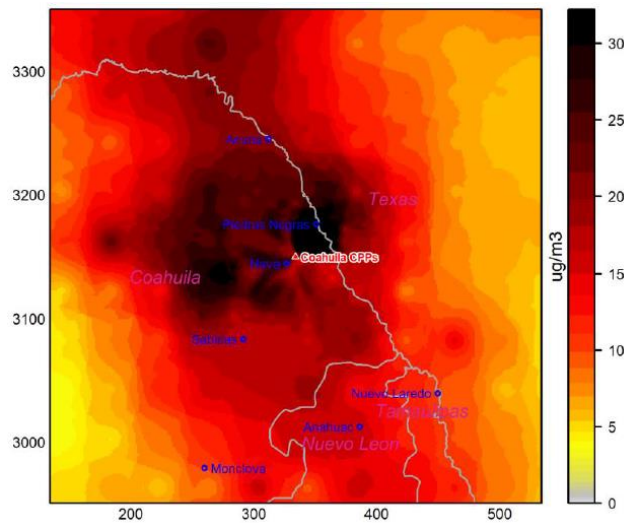
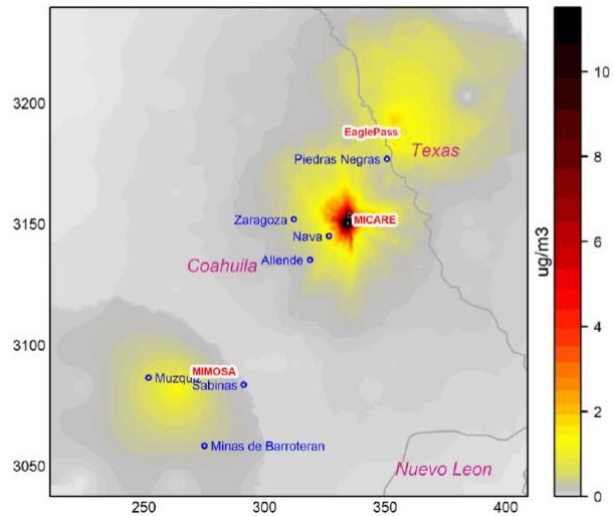


Figura 3. Resultados de la modelación por CALPUFF para las contribuciones de las centrales eléctricas de Coahuila de PM_{2.5} en el ambiente

Concentración máxima de PM_{2.5} en 24 horas de las minas de carbón



Concentración máxima de PM_{2.5} en 24 horas de las minas de carbón con la nueva central en operación

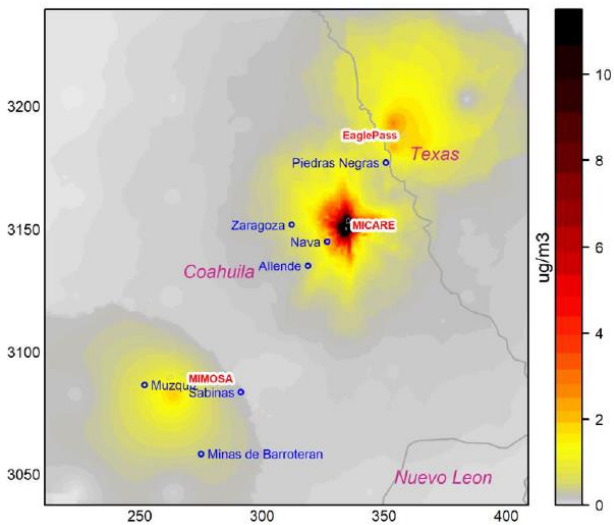


Figura 4. Resultados de la modelación por CALPUFF para las contribuciones de las minas de carbón de Coahuila de PM_{2.5} en el ambiente

Deposición tóxica

Las centrales carboeléctricas emiten otros materiales tóxicos como el mercurio y las cenizas volantes, además de NO₂, SO₂ y PM_{2.5}. Estos materiales tóxicos se depositan en las zonas circundantes afectando no sólo a la salud humana sino también al medio ambiente.

Las centrales eléctricas Carbón 1 y 2 y las minas que las abastecen de carbón emiten unos 1,700 kg de mercurio y 12,000 toneladas de partículas que contienen metales pesados (polvo de carbón y cenizas volantes) al año.

Se calcula que aproximadamente 900 kg al año del mercurio emitido por las centrales existentes se vierten en los ecosistemas terrestres y de agua dulce de la región. Tasas de deposición de mercurio tan bajas como 125 mg/ ha/ año pueden propiciar la acumulación de niveles inseguros de mercurio en los peces (Swain et al. 1992). Se calcula que las centrales existentes producen una deposición de mercurio por encima de los 125 mg/ ha/ año en un área de 7,500 km² al norte y noreste de las centrales, con una población de casi 500,000 personas (Figura 5).

Con la nueva central en funcionamiento, las centrales eléctricas y las minas que suministran carbón a la planta existente y también a la nueva, emitirían anualmente unos 2,200 kg de mercurio. La deposición de mercurio proveniente de las centrales combinadas tendría un efecto gravemente perjudicial en las zonas naturales circundantes como pastizales y matorrales. Además, se calcula que las centrales y minas existentes y nuevas emitirán 14,000 toneladas de cenizas volantes. La deposición estimada de las centrales existentes y nuevas alcanza niveles de mercurio potencialmente peligrosos en un área estimada de 12,000 km² afectando a 520,000 personas (Figura 6).

Mientras que la absorción real de mercurio y la biomagnificación dependen en gran medida de la química, la hidrología y la biología locales, las tasas de deposición de mercurio previstas son motivo de gran preocupación y se necesita urgentemente una evaluación de los impactos y de las medidas para reducir las emisiones de mercurio.

Deposición total anual de mercurio procedente de las centrales carboeléctricas existentes.

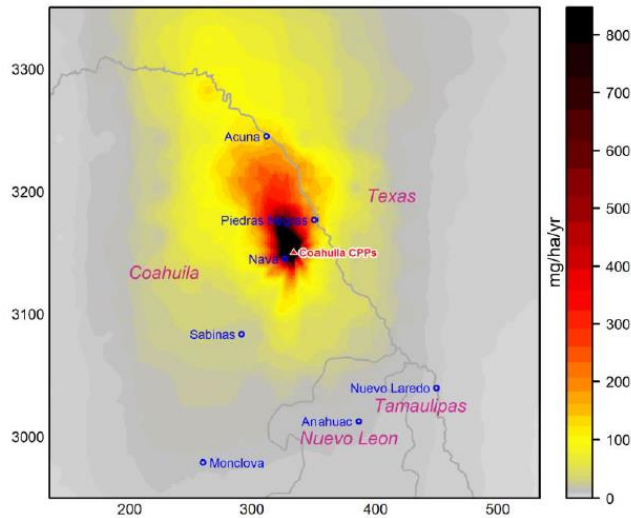


Figura 5. Resultados de la modelación por CALPUFF para la deposición anual de mercurio de las centrales eléctricas existentes en Coahuila.

Deposición total anual de mercurio procedente de las centrales carboeléctricas existentes y nuevas.

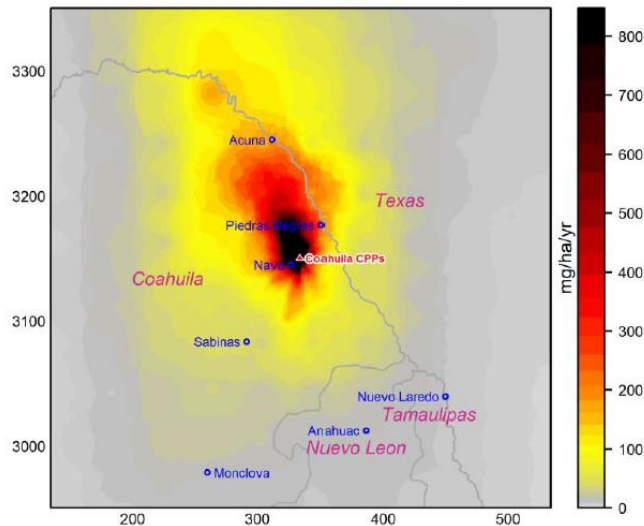


Figura 6. Resultados de la modelación por CALPUFF para la deposición anual de mercurio de las centrales eléctricas existentes y nuevas en Coahuila.

Recomendaciones

- Es preciso elaborar y aplicar normas de emisión estrictas para controlar las emisiones contaminantes de PM, SO₂, NO₂ y Hg de las centrales carboeléctricas en funcionamiento, similares a las de otros países, como las vigentes en la UE y China.
- Es esencial evaluar y considerar plenamente el coste de la contaminación atmosférica y otros impactos externos a la hora de tomar decisiones sobre la futura generación de energía. Satisfacer el crecimiento de la demanda de electricidad mediante el desarrollo de energías renovables reduciría en gran medida estos costes.
- La expansión prevista de capacidad carboeléctrica empeoraría la ya mermada calidad del aire de México, a la vez que se comprometería más capital en la generación de energía con altas emisiones. De cara a la reducción de estos impactos negativos sobre la salud pública y la economía, el país deberá prepararse para satisfacer las futuras necesidades de energía empleando fuentes de energía limpias y adoptar un plan de salida del carbón para poder satisfacer la demanda de electricidad de forma más económica.



Acerca de CREA

El Centro de Investigación sobre Energía y Aire Limpio (CREA) es una organización de investigación independiente enfocada en mostrar las tendencias, causas e impactos en la salud, así como las soluciones a la contaminación del aire. CREA utiliza datos científicos, investigación y evidencia para apoyar los esfuerzos de gobiernos, empresas y organizaciones de campaña de todo el mundo en sus esfuerzos para avanzar hacia una energía limpia y aire limpio, creyendo que la investigación y la comunicación efectivas son la clave para el éxito de las políticas, las decisiones de inversión y los esfuerzos de defensa. CREA se fundó en diciembre de 2019 en Helsinki y cuenta con colaboradores en varios países asiáticos y europeos.

Bibliografía

- Achakulwisut, P., Brauer, M., Hystad, P. & Anenberg, S.C. 2019. Global, national, and urban burdens of paediatric asthma incidence attributable to ambient NO₂ pollution: estimates from global datasets. *Lancet* 3(4):E166-E178.
- Acosta-Ruiz, G. & Powers, B. 2003. Preliminary Atmospheric Emissions Inventory of Mercury for Mexico. Paper presented at the 12th Annual U.S. EPA International Emissions Inventory Conference, 1–3 May, Denver, Colorado.
- AHMSA 2019a. Micare. Altos Hornos de México. <https://www.ahmsa.com/en/about-ahmsa/subsidiaries/minosa/micare.html>
- AHMSA 2019b. Mimosa. Altos Hornos de México. <https://www.ahmsa.com/en/about-ahmsa/subsidiaries/minosa/mimosa.html>
- Anenberg, S.C., Henze, D.K., Tinney, V., Kinney, P.L., Raich, W., Fann, N., Malley, C.S., Roman, H., Lamsal, L., Duncan, B., Martin, R.V., Donkelaar, van A., Brauer, M., Doherty, R., Jonson, J.E., Davila, Y., Sudo, K. & Kuylensstierna, J.C.I. 2018. Estimates of the Global Burden of Ambient PM_{2.5}, Ozone, and NO₂ on Asthma Incidence and Emergency Room Visits. *Environmental Health Perspectives* 126:10. <https://doi.org/10.1289/EHP3766Bi>
- Birchby, D., Stedman, J., Whiting, S. & Vedrenne, M. 2019. Air Quality damage cost update 2019. Report for Defra. AQ0650. Ricardo Energy & Environment, United Kingdom. https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1902271109_Damage_cost_update_2018_FINAL_Issue_2_publication.pdf
- Brandt, S.J., Perez, L., Künzli, N., Lurmann, F. & McConnell, R. 2012. Costs of childhood asthma due to traffic-related pollution in two California communities. *European Respiratory Journal*, Aug. 2012, 40(2): 363-370. <https://doi.org/10.1183/09031936.00157811>
- Burnett, R. et al. 2018. Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(38):9592-9597. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>
- Center for International Earth Science Information Network (CIESIN). 2017. Columbia University. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density, Revision 10. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4DZ068D>
- CFE 2016. GUÍA CFE SPA00-55. Comisión Federal de Electricidad. <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/v/SPA00-55.pdf>
- Chawanpaiboon, S., Vogel, J.P., Moller, A.B., Lumbiganon, P., Petzold, M., Hogan, D., Landoulsi, S., Jampathong, N., Kongwattanakul, K., Laopaiboon, M., Lewis, C., Rattanakanokchai, S., Teng, D.N., Thinkhamrop, J., Watananirun, K., Zhang, J., Zhou, W. & Gülmezoglu, A.M. 2019. Global, regional, and national estimates of levels of preterm birth in 2014: a systematic review and modelling analysis. *Lancet Glob Health* 7(1):e37-e46. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30451-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30451-0)
- Donkelaar, van A., Martin, R.V., Brauer, M., Hsu, N.C., Kahn, R. A., Levy, R.C., Lyapustin, A., Sayer, A.M., & Winker, D. M. 2016. Global Estimates of Fine Particulate Matter using a Combined Geophysical-Statistical Method with Information from Satellites, Models, and Monitors, *Environ. Sci. Technol.* 50(7): 3762-3772. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05833>
- EMEP/EEA 2016. Air pollutant emission inventory guidebook 2016. CLRTAP & European Environment Agency.
- European Environment Agency (EEA) 2008. Air pollution from electricity-generating large combustion plants. An assessment of the theoretical emission reduction of SO₂ and NO_x through implementation of BAT as set in the BREFs. EEA Technical report No 4/2008.

- European Environment Agency (EEA) 2014. Costs of air pollution from European industrial facilities 2008–2012 — an updated assessment. EEA Technical report No 20/2014. <https://www.eea.europa.eu/publications/costs-of-air-pollution-2008-2012>
- European Space Agency (ESA) 2018. Land Cover Maps – v2.0.7. <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php>
- Exponent 2015. CALPUFF Modeling System. <http://www.src.com/>
- Faustini, A., Rapp, R. & Forastiere, F. 2014. Nitrogen dioxide and mortality: review and meta-analysis of long-term studies. *Eur Respir J.* 2014 Sep;44(3):744-53. doi: 10.1183/09031936.00114713. Epub 2014 Feb 20. PMID: 24558178.
- Global Energy Monitor (GEM) 2020. Eagle Pass Mine. Global Energy Monitor Wiki. July 9 2020. https://www.gem.wiki/Eagle_Pass_Mine
- Global Energy Monitor (GEM) 2021. Global Coal Plant Tracker. <https://globalenergymonitor.org/projects/global-coal-plant-tracker/>
- Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Results. Seattle, United States: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), 2018. <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>.
- Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) 2020. Global Burden of Disease Study 2019 (GBD 2019) Results. Seattle, United States. <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>.
- IQAir 2020. 2020 World Air Quality Report. <https://www.iqair.com/world-air-quality-report>
- European IPPC Bureau, Joint Research Centre, European Commission (JRC) 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). EUR 28836 EN. <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/large-combustion-plants-0>
- Hurley, F., Hunt, A., Cowie, H., Holland, M., Miller, B., Pye, S. & Watkiss, P. 2005. Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE: Volume 2: Health Impact Assessment. AEA Technology Environment, UK. https://ec.europa.eu/environment/archives/cafepdf/cba_methodology_vol2.pdf
- Koplit, S., Jacob, D.J., Sulprizio, M.P., Myllyvirta, L. & Reid, C. 2017. Burden of Disease from Rising Coal-Fired Power Plant Emissions in Southeast Asia. *Environmental Science & Technology*. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.6b03731>.
- Krewski, D., Jerrett, M., Burnett, R.T., Ma, R., Hughes, E., Shi, Y., Turner, M.C., Pope, C.A. 3rd, Thurston, G., Calle, E.E., Thun, M.J., Beckerman, B., DeLuca, P., Finkelstein, N., Ito, K., Moore, D.K., Newbold, K.B., Ramsay, T., Ross, Z., Shin, H. & Tempalski, B. 2009. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality. *Research Report Health Effects Institute* 140: 5–136.
- Larkin, A., Geddes, J.A., Martin, R.V., Xiao, Q., Liu, Y., Marshall, J.D., Brauer, M. & Hystad, P. 2017. Global Land Use Regression Model for Nitrogen Dioxide Air Pollution. *Environmental Science & Technology* 51(12):6957-6964. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b01148>.
- Myllyvirta, L. 2020. Quantifying the Economic Costs of Air Pollution from Fossil Fuels. Centre for Research on Energy and Clean Air. <https://energyandcleanair.org/publications/costs-of-air-pollution-from-fossil-fuels/>
- OECD 2018. GDP long-term forecast (indicator). <https://data.oecd.org/gdp/gdp-long-term-forecast.htm>
- Pregger, T. & Friedrich, R. 2009. Effective pollutant emission heights for atmospheric transport modelling based on real-world information. *Environmental Pollution* 157(2):552-560. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.09.027>

- Secretaría de Energía (SENER) 2018a. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018–2032 (PRODESEN). <https://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2018/PRODESEN18.pdf>
- Secretaría de Energía (SENER) 2018b. Generación. <http://base.energia.gob.mx/prodesen/PRODESEN2018/BDGPIIRCE.xlsx>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) [Ministry of the Environment and Natural Resources] 2011. NORMA Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-2011, Contaminación atmosférica-Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición. <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4632/semarnat/semarnat.htm>
- SoGA 2020. State of Global Air 2020. Country profile - Mexico. <https://www.stateofglobalair.org/resources>
- Scire J.S., D.G. Strimaitis, R.J. Yamartino 2000. User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model. http://www.src.com/calpuff/download/calpuff_usersguide.pdf
- Swain, E.B., Engstrom, D.R., Brigham, M.E., Henning, T.A. & Brezonik, P.L. 1992. Increasing Rates of Atmospheric Mercury Deposition in Midcontinental North America. *Science* 257:784-787.
- Trasande, L., Malecha, P. & Attina, T.M. 2016. Particulate Matter Exposure and Preterm Birth: Estimates of U.S. Attributable Burden and Economic Costs. *Environmental Health Perspectives* 124:12. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510810>.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UNPD) 2019. World Population Prospects 2019, Online Edition. Rev. 1.
- United Nations Environment Programme (UNEP) 2017. Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases. UN Environment Chemicals Branch, Geneva, Switzerland.
- U.S. EIA 2020. Mexico: Executive Summary. <https://www.eia.gov/international/analysis/country/MEX>
- U.S. EPA 1998. AP-42: Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Ed. 2, Fifth Edition, Volume I. <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>.
- Viscusi, W. K. & Masterman, C. J. 2017. Income Elasticities and Global Values of a Statistical Life. *Journal of Benefit-Cost Analysis* 8(2): 226-250. doi:10.1017/bca.2017.12
- World Bank (undated): World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org/>
- World Health Organization (WHO) 2013. Health risks of air pollution in Europe-HRAPIE project. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf?ua
- ≡.
- Zheng, X., Ding, H., Jiang, L., Chen, S., Zheng, J., Qiu, M., Zhou, X., Chen, Q. & Guan, W. 2015. Association between air pollutants and asthma emergency room visits and hospital admissions in time series studies: a systematic review and meta-analysis. *PloSOne* 10(9):e0138146, PMID:26382947, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138146>.