



Aporte del Gas Natural a la Mejora de la Calidad de Aire, la Salud Pública y la Mitigación del Cambio Climático

Lima, 26 de febrero del 2024





Índice

Índice	1
I. Resumen Ejecutivo	2
II. Introducción	4
III. Metodología	5
3.1 Límites y alcance del estudio	8
3.2 Construcción de escenarios	8
3.3 Niveles de actividad	11
3.4 Cálculo de emisiones de GEI	12
3.5 Cálculo de emisiones de contaminantes	14
3.6 Cálculo de cambio de concentración atmosférica de contaminantes	16
3.7 Estimación del impacto en la salud	18
3.8 Valorización del impacto en salud	21
IV. Consideraciones del estudio	22
4.1 Consideraciones del sector industrial	22
4.2 Consideraciones del sector transporte	24
4.3 Consideraciones del sector residencial	26
4.4 Consideraciones del sector comercial	28
4.5 Consideraciones del sector electricidad	30
4.5.1 Escenario con Gas Natural	30
4.5.2 Escenario sin Gas Natural	32
V. Resultados	34
5.1 Aporte del Gas Natural en la Mitigación del Cambio Climático	34
5.2 Aporte de Gas Natural en la Calidad del Aire	40
5.3 Aporte del Gas Natural en la Salud Pública	43
VI. Conclusiones	46
VII. Referencias	47
Anexos	49
Anexo 1: Relación entre los gases de combustión y el cambio climático	49
Anexo 2: Proyección de generación eléctrica 2023-2030	51
Anexo 3: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2000-2019	55



I. Resumen Ejecutivo

El gas natural desempeña un papel fundamental en la mejora de la calidad del aire, la protección de la salud pública y la mitigación del cambio climático. Su contribución radica en ser una fuente de energía más limpia y eficiente en comparación con otros combustibles fósiles, lo que resulta en emisiones reducidas de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero. Este aporte beneficia a la calidad de aire, a la salud pública al reducir la exposición a contaminantes atmosféricos y en la reducción de costos por la reducción de casos de hospitalizaciones, morbilidad y mortalidad. Además, el uso de gas natural contribuye a la mitigación del cambio climático al ser una alternativa más sostenible y menos intensiva en carbono. En conjunto, el gas natural emerge como una opción crucial para abordar estos desafíos ambientales y promover un desarrollo más sostenible.

El presente estudio cuantificó las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos evitadas a partir del uso de gas natural. Además, fue estimado el beneficio económico de los ahorros en gastos en salud asociados al deterioro de la calidad del aire. El análisis fue realizado dentro de cinco sectores: generación de energía eléctrica, industrial (clientes regulados y no regulados), comercial, residencial y transporte.

Se plantearon dos escenarios plausibles: **(i) Escenario con gas natural y (ii) Escenario sin gas natural**; para imaginar cómo sería el suministro energético en una realidad sin gas natural. En otras palabras, en el escenario sin gas natural, se asumió que la cantidad total de energía generada por el gas natural sería equivalente a la producida mediante el uso de otras fuentes energéticas alternativas renovables y no renovables. Este ejercicio permite explorar las posibles alternativas energéticas que podrían haberse adoptado en ausencia de gas natural, manteniendo constante la cantidad de energía suministrada.

El presente estudio ha hallado evidencia del impacto positivo del uso del gas natural en términos de mitigación del cambio climático, calidad del aire y salud pública. Asimismo, se observó que los sectores que más aportaron a este beneficio fue el sector electricidad y el sector industrial, para el caso de las emisiones de GEI. En el caso de las emisiones de contaminantes, la cantidad evitada está ligada al volumen de gas natural que es consumido en cada sector y la fuente de energía alternativa al gas natural. Un resumen de los resultados por sector y por indicador se muestra en la Tabla 1 y Tabla 2.

Dentro del análisis, la utilización del Gas Natural en el periodo 2005-2030 contribuyó a evitar la emisión de **101.70 millones de toneladas de CO₂eq**, lo cual equivale al carbono contenido en **187,097.43 hectáreas de bosque de Selva Baja**. Respecto a las emisiones de contaminantes atmosféricos evitados debido al consumo de gas natural en reemplazo de otras fuentes de energía, el presente estudio calculó la reducción total de **1.57 millones de toneladas de óxidos de nitrógeno (NO_x)**, **1.24 millones de toneladas de dióxido de azufre (SO₂)** y **0.11 millones de toneladas de material particulado (PM_{2.5})**.


Tabla 1. Impacto positivo en la mitigación del cambio climático, la calidad del aire y la salud pública debido al uso del gas natural entre 2005 y 2030

Periodo 2005-2030							
Aporte	Unidades	Electricidad	Transporte	Industrial	Residencial	Comercios	Total
Emisiones de GEI evitadas	millones de tCO ₂ eq	72.16	4.35	23.61	1.12	0.46	101.70
Emisiones de contaminantes evitadas	NO _x (millones de toneladas)	0.79	0.03	0.64	0.08	0.03	1.57
	SO ₂ (millones de toneladas)	0.93	0.04	0.21	0.05	0.00	1.24
	PM2.5 (millones de toneladas)	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.11
Casos de mortalidad y morbilidad evitados	Muertes	2,311.01	743.61	223.62	19.46	5.58	3,303.27
	Hospitalizaciones	1,104.26	355.31	106.85	9.30	2.67	1,578.39
	Casos de asma	895,852.44	288,255.53	86,683.86	7,542.40	2,163.30	1,280,497.53
Ahorros en salud (Millones de soles)	Productividad	753.18	261.61	79.52	4.58	1.32	1,100.21
	Morbilidad	346.15	111.38	33.49	2.91	0.84	494.77

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Tabla 2. Impacto positivo en la mitigación del cambio climático, la calidad del aire y la salud pública debido al uso del gas natural entre 2005-2023 y 2024-2030.

Periodo 2005-2023							
Aporte	Unidades	Electricidad	Transporte	Industrial	Residencial	Comercios	Total
Emisiones de GEI evitadas	millones de tCO ₂ eq	29.46	2.37	14.38	0.45	0.20	46.86
Emisiones de contaminantes evitadas	NO _x (millones de toneladas)	0.36	0.02	0.39	0.03	0.01	0.81
	SO ₂ (millones de toneladas)	0.85	0.03	0.13	0.02	0.00	1.03
	PM2.5 (millones de toneladas)	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.09
Casos de mortalidad y morbilidad evitados	Muertes	2,014.46	476.77	136.25	9.88	2.46	2,639.82
	Hospitalizaciones	962.56	227.81	65.10	4.72	1.18	1,261.37
	Casos de asma	780,897.38	184,819.19	52,817.30	3,828.32	953.98	1,023,316.18
Ahorros en salud (Millones de soles)	Productividad	643.77	163.16	47.29	2.32	0.58	857.13
	Morbilidad	301.73	71.41	20.41	1.48	0.37	395.40
Periodo 2024-2030							
Aporte	Unidades	Electricidad	Transporte	Industrial	Residencial	Comercios	Total
Emisiones de GEI evitadas	millones de tCO ₂ eq	42.70	1.98	9.22	0.68	0.26	54.84



Emisiones de contaminantes evitadas	NO _x (millones de toneladas)	0.43	0.01	0.25	0.05	0.01	0.76
	SO ₂ (millones de toneladas)	0.08	0.02	0.08	0.03	0.00	0.21
	PM2.5 (millones de toneladas)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
Casos de mortalidad y morbilidad evitados	Muertes	296.54	266.83	87.36	9.58	3.12	663.44
	Hospitalizaciones	141.69	127.50	41.75	4.58	1.49	317.01
	Casos de asma	114,952.17	103,436.34	33,866.56	3,714.08	1,209.31	257,178.46
Ahorros en salud (Millones de soles)	Productividad	109.41	98.45	32.23	2.25	0.73	243.07
	Morbilidad	44.42	39.97	13.09	1.44	0.47	99.37

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

La metodología de escenarios nos permite construir alternativas al escenario real para evaluar qué hubiera pasado sin la disponibilidad de gas natural en el país. Aun así, la definición de escenarios sin gas natural es un desafío complejo y por eso, es válida la evaluación de más de un escenario posible.



II. Introducción

Pluspetrol, Transportadora de Gas del Perú (TGP) y Cálidda son protagonistas clave de la producción, transporte y distribución de gas natural en el Perú. Por un lado está Pluspetrol, empresa que trabaja en el consorcio de Camisea, el megacampo de gas más importante de Latinoamérica en donde Pluspetrol realiza el componente upstream, produciendo gas natural en los Bloques 88 y 56 (Pluspetrol, S.F). Por otro lado, TGP se encarga del transporte de gas natural (GN) y Líquido de Gas Natural (LGN) a través de un sistema de transporte de ductos con una extensión de 730 km que recorre desde Camisea, atraviesa la cordillera de los andes, y llega hasta la costa del Perú (Pisco y Lurín), superando así los grandes retos geográficos (TGP, S.F). Y finalmente está Cálidda, empresa perteneciente al Grupo Energía Bogotá, que además tiene la concesión para diseñar, construir y operar el sistema de distribución de gas natural de Lima y Callao. El gas natural es distribuido en Lima y Callao desde finales del año 2004 y desde entonces, se ha convertido en una de las fuentes de energía más importantes (Cálidda, S.F).

En resumen, la forma de operación de estas compañías es la siguiente:

1. El gas natural es extraído de yacimientos situados en Camisea (Cusco) por la empresa Pluspetrol.
2. La empresa Transportadora de Gas del Perú (TGP) transporta el Gas Natural a través de gasoductos que recorren la selva, sierra y costa del Perú.
3. El Gas Natural es recibido por Cálidda en la estación City Gate de Lurín, en el kilómetro 35 de la Panamericana Sur. Desde allí, se distribuye a los usuarios de Lima y Callao a través de un moderno sistema de ductos subterráneos.

La presencia de estas 3 empresas ha impulsado el cambio en la matriz energética del país, impulsando su desarrollo y crecimiento en los sectores doméstico, industrial y de transporte y desplazando a su vez la participación de fuentes energéticas con mayor generación de gases de efecto invernadero. Es por ello, que Pluspetrol, TGP y Cálidda entienden la necesidad de cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos evitados a partir del uso de gas natural y, uniendo esfuerzos con Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, se planteó el proyecto “Investigación de Beneficios del Gas Natural”.

En ese sentido los objetivos del proyecto son los siguientes:

Objetivo general

- Evaluar las externalidades positivas indirectas del uso de gas natural en la mejora de la calidad del aire, la salud pública relacionada a la contaminación del aire, ahorros económicos y la mitigación del Cambio Climático.

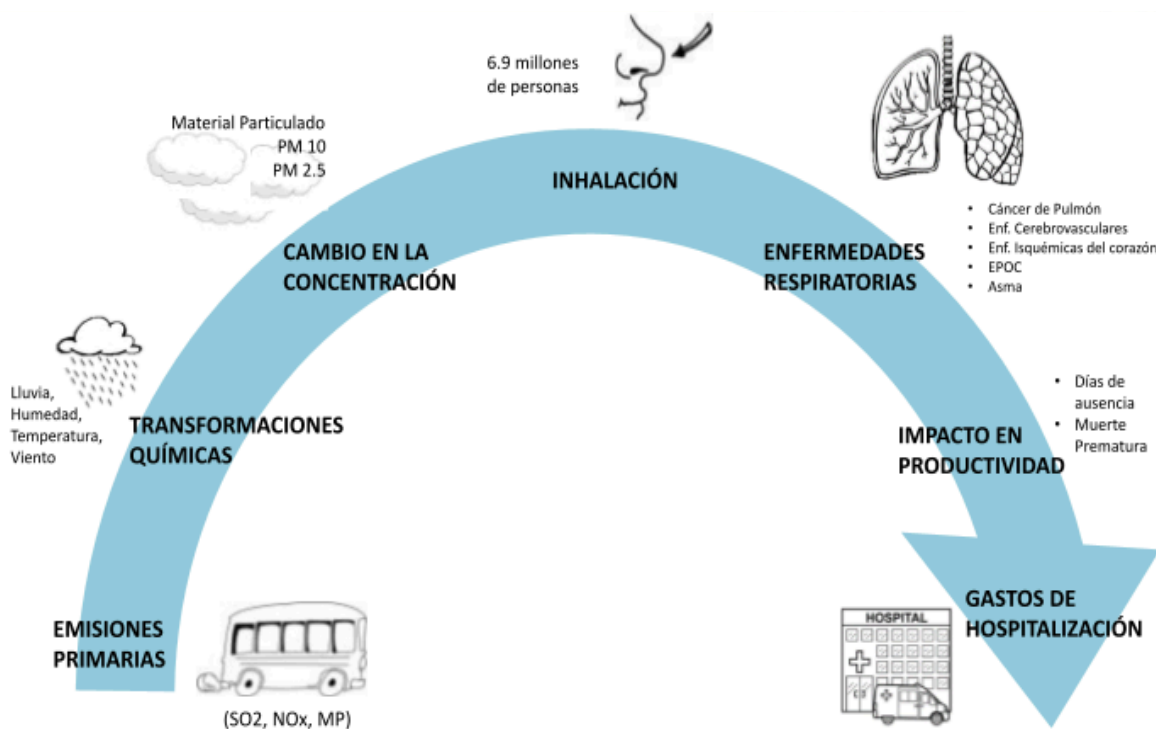
Objetivos específicos

- Construir el escenario sin gas natural en los sectores de generación eléctrica, transporte, industrias, comercial y residencial.
- Evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero de los escenarios construidos y compararlos con su equivalente en el escenario con gas natural.
- Evaluar las emisiones de contaminantes atmosféricos de los escenarios construidos y compararlos con su equivalente en el escenario con gas natural.
- Estimar el impacto en la salud y los ahorros económicos en salud debido a las emisiones de contaminantes evitadas en los escenarios construidos.

III. Metodología

Existe una relación estrecha entre la exposición a altas concentraciones de contaminantes atmosféricos y la incidencia de enfermedades respiratorias como se demuestra en la Figura 1. Los gases contaminantes como el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el dióxido de azufre (SO₂) no son gases de efecto invernadero directos, pero pueden influir indirectamente en el cambio climático a través de reacciones químicas y su impacto en la atmósfera, como se detalla en el Anexo 1.

Figura 1. Impactos en la salud y gastos de hospitalización de las emisiones de contaminantes



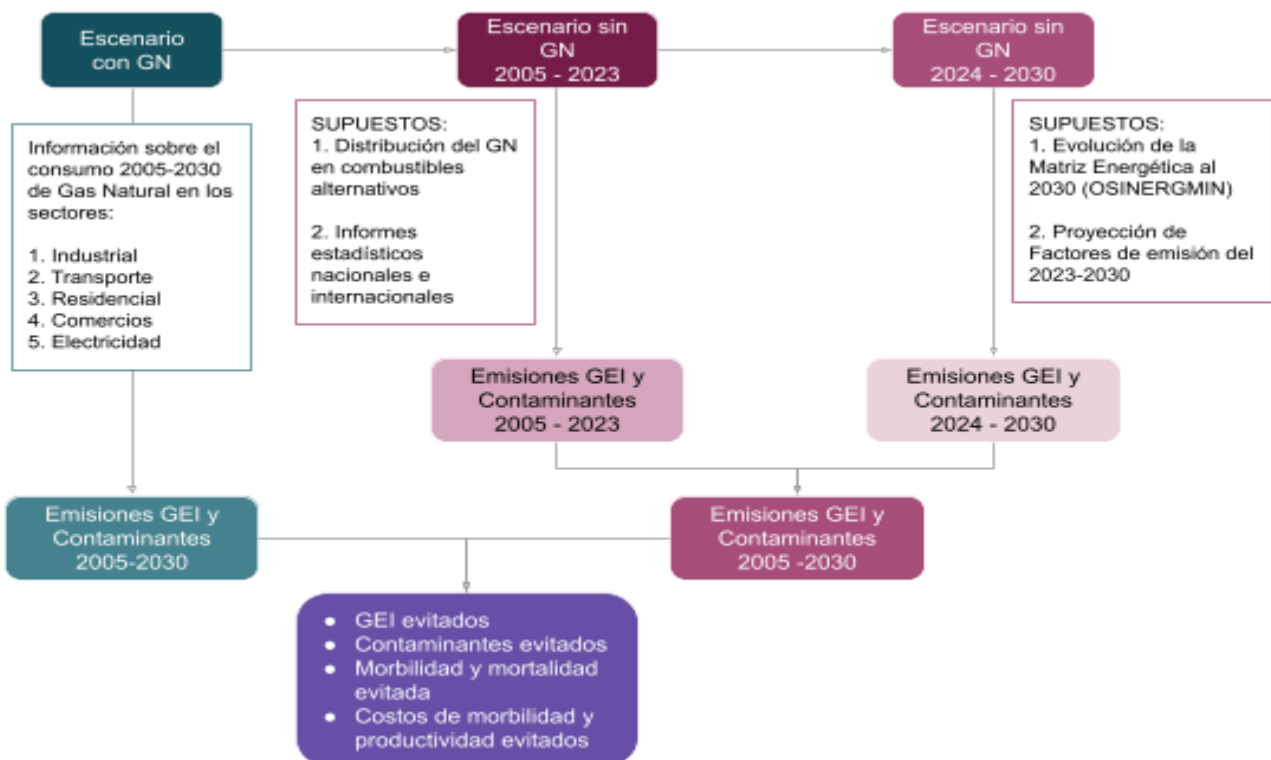
Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Para poder estimar los contaminantes y emisiones de GEI se utiliza una metodología de Evaluación Integrada de Modelos (IAM) la cual tiene como objetivo realizar una descripción cuantitativa de los procesos clave entre los sistemas humanos y terrestres, junto con sus interacciones y así proporcionar información relevante sobre el cambio ambiental global y los problemas de desarrollo sostenible (Harremoës & Turner, 2001). De esta manera, el análisis se divide en 5 etapas:

- I. Cálculo de los niveles de actividad para los escenarios a ser evaluados.
- II. Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos.
- III. Cálculo de los cambios en el entorno en términos de calidad de aire y cambio climático.
- IV. Cálculo de los efectos indirectos sobre la sociedad en términos de enfermedades respiratorias a causa del deterioro de la calidad del aire.
- V. Valorización económica de los gastos, ahorros en productividad y atención médica.

Como se menciona líneas arriba, una primera etapa es la de determinar los escenarios por los cuales se basarán los cálculos y valorización. En la Figura 2 se presenta el diagrama de la metodología utilizada para la construcción del escenario sin GN, el cual se obtiene con la información base de consumo de GN del periodo de 2005-2030 de TGP, Pluspetrol y Cálidda. En la construcción del escenario sin GN 2005-2023 se tomó como supuestos principal a la asignación de combustibles alternativos que reemplacen al GN. En el caso del escenario sin GN 2024-2030 se usó como supuesto a la Evolución de la Matriz Energética al 2030 elaborado por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN).

Figura 2. Metodología de evaluación de escenarios y emisiones



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

3.1 Límites y alcance del estudio

El presente estudio incluye un análisis sobre el gas natural consumido desde el año 2005 al año 2023 en las empresas TGP, Pluspetrol y Cálidda. Se tienen en consideración los siguientes sectores económicos y sus consumos de gas natural en reemplazo de otras fuentes de energía, los cuales son:

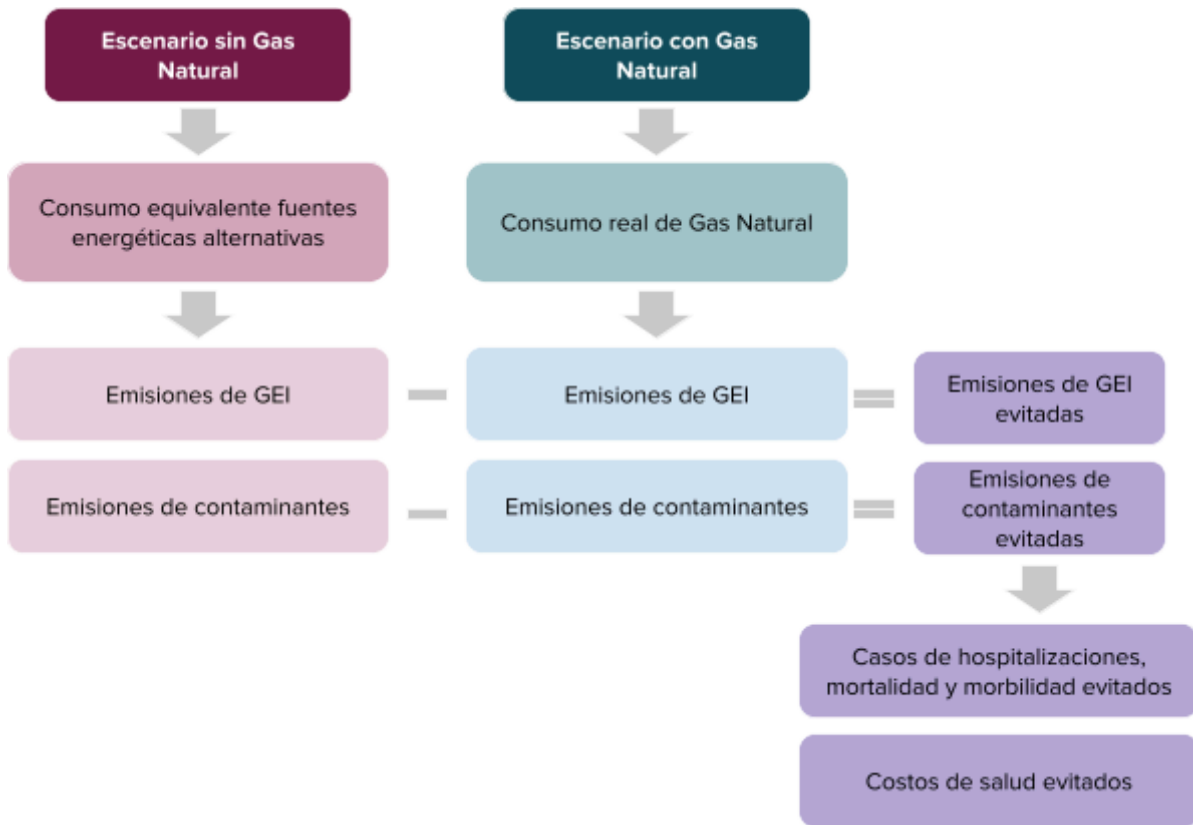
- » **Sector Industrial:** Incluye el suministro de gas natural en industrias o fábricas, organizaciones de alto consumo energético.
- » **Sector Comercial:** Referente a negocios como hoteles, restaurantes, panaderías, supermercados, universidades, hospitales y lavanderías.
- » **Sector de Transportes:** Referente al suministro de gas natural vehicular (GNV) a estaciones de servicio y grifos para su uso en vehículos de transporte pesado y ligero.
- » **Sector de Generación Eléctrica:** Incluye el suministro de gas natural a las centrales termoeléctricas conectadas al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).
- » **Sector Residencial:** Incluye el suministro de gas natural en hogares para uso doméstico.

3.2 Construcción de escenarios

La construcción de escenarios nos permite comparar el escenario actual con un escenario hipotético, de tal forma que permite evaluar la diferencia de los impactos ambientales y sociales entre ambos. En la presente consultoría, se plantearon dos escenarios para demostrar los beneficios del gas natural: **(i) Escenario sin Gas Natural** y **(ii) Escenario con Gas Natural**.

En la Figura 3, se observa que el escenario sin GN refleja las emisiones (GEI-contaminantes) por el consumo equivalente de otras fuentes energéticas como diesel, carbón, bunker, GLP, entre otros. Por otro lado, en el escenario con GN se expresan las emisiones asociadas al consumo real de Gas Natural de modo que se obtienen las emisiones de GEI y contaminantes evitados. Con el valor de los contaminantes evitados, específicamente del PM2.5, se obtienen los casos de salud y costos evitados.

Figura 3. Metodología de evaluación de escenarios y emisiones



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Existen diversos escenarios plausibles basados en la información disponible, lo cuales significan un resultado diferente para la evaluación de impactos en un periodo de tiempo. Especialmente, afrontamos este desafío en la evaluación del sector de generación eléctrica debido a que la distribución de las fuentes de energía son influenciadas por diferentes factores incluyendo aspectos políticos, legislativos y económicos. Además, la disponibilidad de determinadas formas de energía puede estar sujeta a fenómenos naturales o situaciones excepcionales a nivel nacional e internacional. Para afrontar este desafío y determinar cómo hubiera sido suministrada la misma cantidad de energía eléctrica en un escenario sin gas natural, fue construido un escenario hipotético llamado “Escenario Sin Gas Natural”, a partir de supuestos diferentes. Luego, se discutió con un panel de expertos en temas de energía y electricidad para: (i) Examinar tendencias actuales y futuras en la producción de energía al 2030 y (ii) Explorar las alternativas y estrategias para la construcción de un Escenario sin Gas Natural. Sin embargo, no existe una alternativa 100% certera de construir estos escenarios, sino que dependen de las asunciones técnicas de los especialistas que realizan el estudio y son validados por los actores del mercado.

Los escenarios evaluados en el presente informe son los siguientes:

Tabla 3. Resumen de escenarios en cada sector

Escenario	Descripción
Escenario con Gas Natural	<p>En el primer escenario, que involucra la presencia del gas natural en la matriz energética, se evalúan los siguientes criterios/consideraciones de su impacto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Considera el consumo real de Gas Natural en cada sector: Industrial, transporte, residencial, comercios. • En el caso del sector eléctrico, se toman en cuenta valores de demanda energética a nivel nacional. Se examina cómo el gas natural desempeña un papel en la generación de electricidad. • La proyección de la matriz energética para el período 2024-2030 se basa en las proyecciones proporcionadas por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). Esto implica considerar cómo se espera que evolucione la participación del gas natural en la matriz energética a lo largo del tiempo.
Escenario sin Gas Natural	<p>En el segundo escenario, que supone la ausencia del gas natural en la matriz energética, se evalúan los siguientes criterios/consideraciones de su impacto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dentro del sector Industrial, transporte, residencial, comercios contempla que de no existir el gas natural hubiera sido suministrada por fuentes convencionales tales como: Diesel, carbón, bunker, gasolina, entre otros. • En el sector energético, se consideran tanto fuentes de energía no convencionales, como la hidroenergía, y como fuentes convencionales, como el diesel, los residuales y el carbón. Se asume que el crecimiento de estas fuentes es proporcional al consumo equivalente de gas natural a lo largo de los años. • Además, en el caso de otras fuentes no convencionales, como las energías renovables (solar y eólica), así como el biogás y el bagazo, se mantienen con una demanda constante equivalente al escenario real, asumiendo que no reemplazan al gas natural a medida que avanzan los años.

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

En resumen, en el escenario sin GN se cuantifican las emisiones que hubieran sido generadas en un escenario con el mismo nivel de actividad pero que utiliza fuentes de energía diferentes a la del gas natural.

3.3 Niveles de actividad

En cada sector se consideró como nivel de actividad el volumen de gas natural consumido y su equivalente energético. La información de los volúmenes consumidos fue proporcionada por TGP, Pluspetrol y Cálidda, a excepción del sector de generación eléctrica 2005-2023, en el que la información proviene de las estadísticas anuales de electricidad publicadas por el Comité de Operación Económica del Sistema (COES), y se proyectaron los consumos 2024-2030 en base a las estimaciones de la Evolución de la Matriz Energética al 2030 (Osinermin, 2010). El detalle del consumo total de gas natural de cada sector en el periodo evaluado se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Consumo de gas natural por sector entre el año 2005 y 2030

Sector	Consumo de Gas Natural 2005-2030	Unidades
Generación Eléctrica	520,414.11	GWh
Industrial	49,238.58	MMC
Transporte	14,606.44	MMC
Residencial	3,745.23	MMC
Comercios	1,438.44	MMC

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación en base a información proporcionada por Cálidda y Pluspetrol, 2023.

Es dable indicar que el consumo energético, en cambio, hace referencia a la energía contenida en el gas natural utilizado o en la fuente de energía que hace sus veces. Para esto, la Tabla 5 muestra los poderes caloríficos utilizados en el presente estudio para transformar los volúmenes o la masa de combustible consumida en energía.

Tabla 5. Poder calorífico para cada uno de los combustibles evaluados en el estudio

Combustible	Diesel	Residual 6	R500	Gas Natural	Biogás	Bagazo	Carbón
Unidad	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³
2005	36.3	36.3	36.3	40.47	34.6	6.3	24.8
2006	36.3	36.3	36.3	40.46	34.6	6.3	24.8
2007	36.3	36.3	36.3	40.50	34.6	6.3	24.8
2008	36.3	36.3	36.3	40.51	34.6	6.3	24.8
2009	36.3	36.3	36.3	40.37	34.6	6.3	24.8
2010	36.3	36.3	36.3	40.21	34.6	6.3	24.8
2011	36.3	36.3	36.3	40.22	34.6	6.3	24.8
2012	36.3	36.3	36.3	40.20	40.5	6.3	24.8
2013	36.3	36.3	36.3	40.15	40.5	6.3	24.8
2014	36.3	36.3	36.3	40.04	40.5	6.3	24.8
2015	36.3	38.7	38.7	39.94	40.5	6.3	24.8
2016	36.3	38.7	38.7	39.92	40.5	6.3	24.8



Combustible	Diesel	Residual 6	R500	Gas Natural	Biogás	Bagazo	Carbón
Unidad	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³	TJ/10 ³ m ³
2017	36.3	38.7	38.7	39.86	40.5	6.3	24.8
2018	36.3	38.7	38.7	39.85	40.5	6.3	24.8
2019	36.3	38.7	38.7	39.88	40.5	6.3	24.8
2020	36.3	38.7	38.7	39.84	40.5	6.3	24.8
2021	36.3	38.7	38.7	39.89	40.5	6.3	24.8
2022	36.3	38.7	38.7	39.81	40.5	6.3	24.8
2023	36.3	38.7	38.7	38.49	40.5	6.3	24.8
2024	36.3	38.7	38.7	38.49	40.5	6.3	24.8
2025	36.3	38.7	38.7	38.49	40.5	6.3	24.8
2026	36.3	38.7	38.7	38.49	40.5	6.3	24.8
2027	36.3	38.7	38.7	38.49	40.5	6.3	24.8
2028	36.3	38.7	38.7	38.49	40.5	6.3	24.8
2029	36.3	38.7	38.7	38.49	40.5	6.3	24.8
2030	36.3	38.7	38.7	38.49	40.5	6.3	24.8

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

3.4 Cálculo de emisiones de GEI

El cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), ha sido desarrollado utilizando herramientas metodológicas reconocidas internacionalmente como el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (Mu, 2019) y las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2006). En coherencia con estas metodologías, el cálculo de emisiones de GEI incluye las emisiones de los gases listados en la Tabla 6 reconocidos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).

Tabla 6. Gases de Efecto Invernadero listados por el IPCC

Gases de Efecto Invernadero (GEI)	Descripción	Potencial de Calentamiento Global (GWP)
Dióxido de carbono (CO ₂)	Gas natural liberado como producto de la combustión de combustibles fósiles, algunos procesos industriales y cambios en el manejo de uso de suelo.	1
Metano (CH ₄)	Gas emitido en la minería de carbón, rellenos sanitarios, ganadería y extracción de gas y petróleo, y de cualquier fuente de descomposición anaeróbica de residuos orgánicos	30
Óxido Nitroso (N ₂ O)	Gas producido durante la elaboración de fertilizantes y la combustión de combustibles fósiles, y cuyo contribuyente más significativo es el sector transporte.	265
Hidrofluorocarbonos (HFC)	Se emiten en algunos procesos industriales y se los usa con frecuencia en refrigeración y equipos de aire acondicionado.	140 – 11,700
Perfluorocarbonados (PFC)	Desarrollados e introducidos como una alternativa para reemplazar a algunos gases que destruían la capa de ozono, estos gases son emitidos en una variedad de procesos industriales.	6,500 – 9,200
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	Aunque este gas es lanzado en muy pocos procesos industriales, es el más potente de los GEI. Es emitido durante la producción de magnesio y se aplica en algunos equipos eléctricos.	23,500
Trifluoruro de nitrógeno (NF ₃)	Gas de efecto invernadero utilizado en la fabricación de semiconductores, limpieza térmica o por plasma de reactores CVD. Además, es usado en un reactivo selectivo de grabado de capas silicio.	10,970

Fuente: Quinto Reporte del IPCC

Los GEI considerados dependen de las fuentes identificadas y los GEI que se producen a partir de las actividades consideradas dentro del estudio. Las emisiones estimadas en el presente estudio se basan en la Guía para Elaboración de Inventarios Nacionales de GEI del IPCC, versión 2006 (IPCC, 2006) y se calculan a través de la siguiente ecuación:

$$Emisiones_{GEI,i} = Nivel\ de\ Actividad_i \times Factor\ de\ Emisión_{GEI,i} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

- Emisiones_{GEI,i} son las emisiones de un determinado GEI debido al consumo del combustible i en CO₂eq.
- Nivel de actividad_i es la cantidad de combustible i quemado en unidades volumétricas o energéticas.
- Factor de Emisión_{GEI,i} es la masa de GEI emitido por unidad de combustible i consumido.
- GWP_{GEI} es el potencial de calentamiento global de determinado GEI, de acuerdo a la Tabla 6.

La ecuación 1 se usa para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero para cada GEI producido en las actividades evaluadas. Las emisiones totales en cada sector y en cada escenario son calculadas utilizando la ecuación 2, la cual representa la sumatoria de todas las emisiones de GEI generadas por cada uno de los combustibles consumidos.

$$Emisiones\ GEI = \sum_{i=combustible} Emisiones_{GEI,i} \quad (Ecuación\ 2)$$

Los resultados de emisiones de GEI son expresado en masa de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) considerando para esta conversión el potencial de calentamiento global (GWP) realizada en la ecuación 1 y de acuerdo con lo detallado en la Tabla 6. Con respecto a los factores de emisión utilizados, estos son seleccionados de acuerdo con la mejor información disponible. Para este estudio fueron utilizados factores de emisión basados en el contenido energético de los combustibles de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla 7. Factores de emisión utilizados para fuentes de combustión

Combustible	Unidades	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gas Natural	kg/TJ	56,100	1	0.1
Diésel	kg/TJ	74,100	3	0.6
Petróleo residual	kg/TJ	77,400	3	0.6
Carbón	kg/TJ	94,600	1	1.5
Gasolina	kg/TJ	69,300	3	0.6
GLP	kg/TJ	63,100	1	0.1
Bagazo	kg/TJ	100,000	30	4

Fuente: IPCC, 2006.

3.5 Cálculo de emisiones de contaminantes

El consumo de combustibles fósiles libera contaminantes al ambiente. Los contaminantes evaluados en estudio son el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el material particulado (PM2.5). Para cada escenario, fueron calculadas las emisiones de contaminantes utilizando los volúmenes de combustibles consumidos y los factores de emisión correspondiente para cada contaminante. De esta manera, el cálculo para las estimaciones de las emisiones liberadas a la atmósfera se calcula según la ecuación 3.

$$Emisiones_i = \sum_a (Combustible_a \times Factor\ de\ Emisión_a) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

- Emisiones_i se refiere a las emisiones del contaminante evaluado i (SO₂, NO_x, PM2.5)
- Combustible_a es la energía contenida en el combustible a consumido en una actividad determinada (TJ)
- Factor de emisión_a se refiere a la masa de contaminante emitida a la atmósfera por cada unidad de energía consumida del combustible a (Kg/TJ)
- a; se refiere al tipo de combustible consumido (gasolina, diésel, GLP, gas natural, etc)

Los factores de emisión a utilizarse pueden variar dependiendo de las unidades en las que se miden el efecto o el detalle que se busca en el cálculo. Los factores de emisión utilizados en este estudio provienen de la Guía para el Inventario de Emisiones de Contaminantes del Aire de la Agencia Ambiental Europea (Trozzi et al., 2019) y se encuentran resumidos en la Tabla 8.

Tabla 8. Factores de emisión de contaminantes atmosféricos utilizados

Sector	Combustible	Unidades	NOx	PM2.5	SO ₂
Generación Eléctrica	Diesel 2	g/GJ	398	1.95	46.5
	Residual 6	g/GJ	142	193	495
	R500	g/GJ	142	193	495
	Gas Natural	g/GJ	89	0.89	0*
	Biogás	g/GJ	89	0.89	0.281
	Bagazo	g/GJ	81	133	10.8
	Carbón	g/GJ	209	3.4	820
Industrial y Comercial	GLP	g/ton	28571	225	0
	Diesel 2	g/GJ	65	0.808	46.1
	Bunker	g/GJ	142	9	485
	Gas Natural	g/GJ	63	0.89	0*
Sector Residencial	Gas Natural	g/GJ	60	2.2	0*
	GLP	g/ton	28751	225	14398
Sector Transporte	Automóvil a Gasolina	g/km	0.247	0.2	**
	Bus a Diesel	g/km	16.5	0.909	**
	Bus a Gas Natural	g/km	16.5	0.02	0*
	Automóvil a Gas Natural	g/km	0.056	0.0011	0*

*Se consideraron despreciables las emisiones de dióxido de azufre para las emisiones gas natural de acuerdo a la calidad del gas distribuido en el Perú.

** Para las emisiones de SO₂ en el transporte se realizó un cálculo basado en el contenido de azufre en el combustible. Fuente: (Trozzi et al., 2019)

Para el caso de las emisiones de dióxido de azufre en el sector de transportes, el factor de emisión se determina a partir del contenido de azufre que presenta cada combustible, de acuerdo a la ecuación 4.

$$Emisiones\ SO_{2_m} = 2 \times k_{s,m} \times FC_{(m)} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- Emisiones se refiere a las emisiones de SO₂ a partir del combustible m (g)
- K_{S,m} es el contenido promedio de azufre en el combustible m (g/g)
- FC se refiere al consumo de combustible m (g)

El contenido de azufre en los combustibles en el Perú está regulado y ha variado respecto al tiempo. En el Perú, el límite de azufre contenido en el diésel está legislado bajo la Norma Técnica Peruana 321.003.2005 y mediante el Cronograma de Reducción Progresiva del Contenido de Azufre en el Combustible Diésel N°2 aprobado por D.S. N° 025-2005-EM. Además, la Ley N° 28694 dispone que desde marzo 2006 no se podría comercializar diésel con más de 2,500ppm de azufre y a partir del año 2010 se prohibiría también la comercialización de diésel con más de 50 ppm de azufre (Osinerghmin et al., 2020). Antes del año 2006, el contenido de azufre en el diésel se establecía en 5,000 ppm (Repsol, 2007). Si bien la adopción de estas normas ha sido progresiva, para fines de este estudio serán consideradas con concentraciones que dicta la norma. Es decir, para los años antes del 2006 se asume un contenido de azufre de 5,00 ppm de azufre, 2,500 ppm para el combustible consumido entre el año 2006 y 2010, y 50 ppm para los años posteriores a este último.

En el caso de la gasolina, por muchos años el contenido de azufre se ha mantenido alrededor de las 2,000 ppm (Repsol, 2006). Sin embargo, el D.S. N° 009-2015-MINAM estableció que a partir del año 2017 los vehículos tecnología Euro IV que circulaban en la red vial debían adecuarse a los Límites Máximos Permisibles implicando la utilización de gasolina con un contenido de azufre también menor a 50 ppm.

3.6 Cálculo de cambio de concentración atmosférica de contaminantes

Para el cálculo de la estimación del cambio en la concentración, la aproximación matemática toma como insumo 4 valores: La fracción de inhalación (IF), las emisiones del contaminante emitidas (Q), la población expuesta (P) y el ratio de respiración (BR) según la ecuación 5. Estos valores se ajustan a partir del estudio realizado por Parry en el que incluye información referida a Perú (Parry, 2014). Para este estudio, se considera que los combustibles son quemados al nivel del suelo y esta categoría es la que se utiliza para la estimación de los impactos debido al consumo energético.

$$iF \equiv \frac{\sum_{i=1}^N P_i \times \Delta C_i \times BR}{Q} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$\Delta C_i = \frac{iF \times Q}{P_i \times BR} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

- iF es la fracción de inhalación de un contaminante primario en una localidad específica, se define como la contaminación inhalada por unidad de emisiones emitidas, usualmente en g-PM2.5 inhalado por tonelada de emisión primaria.
- P_i es la población que reside en la región indexada por i que es la distancia a la fuente de emisión.
- ΔC_i es el cambio en la concentración ambiental del contaminante atmosférico (PM2.5).
- BR es el ratio de respiración que es la velocidad con la que una determinada cantidad de contaminación es inhalada por una persona promedio en m³/día.
- Q es la velocidad de emisión del contaminante atmosférico en ton/día.

La fracción de inhalación (Tabla 9) es utilizada para estimar cuánta de la contaminación emitida por fuentes móviles y fuentes fijas es inhalada por la población expuesta. Específicamente, esta fracción indica los gramos de PM2.5 inhalados por tonelada primaria de PM2.5, SO₂ y NO_x (Parry, Heine, Lis, & Li, 2014).

Tabla 9. Factores de emisión de contaminantes atmosféricos utilizados

Contaminante	IF
SO ₂	1.17
NO _x	0.24
PM2.5	30.87

Fuente: Parry et al., 2014

Para el presente estudio, se considera a la población expuesta en 6.9 millones de personas, lo cual representa a la población en edad de trabajar del año 2005 para Lima Metropolitana y Callao (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015). La justificación para tomar este rango de la población es que, de acuerdo con la literatura especializada, el mayor daño a nivel de enfermedades respiratorias se daría en la población a partir de los 25 años de edad. Finalmente, siguiendo las estimaciones realizadas por Parry, el ratio de respiración toma un valor de 7,300 m³ al año (Parry et al., 2014) y el incremento de la concentración en la atmósfera del gas contaminante se obtiene a través de la Ecuación 6.

3.7 Estimación del impacto en la salud

Para determinar los impactos en la salud a partir de la quema de combustibles, se realizan los siguientes pasos: i) Se determina cuánta contaminación es inhalada por la población expuesta y ii) Se evalúa cómo esta exposición a la contaminación afecta los riesgos de mortalidad y morbilidad (Parry et al., 2014). Este estudio considera como principal causa del aumento del riesgo de mortalidad a causa de la contaminación atmosférica, la concentración de material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5) el cual es lo suficientemente pequeño para penetrar en el sistema respiratorio y el torrente sanguíneo. El PM2.5 es un contaminante primario y puede ser emitido como tal debido a la quema de combustibles fósiles, pero también es producido como contaminante secundario debido a las reacciones químicas en la atmósfera a partir de otros contaminantes primarios como lo son el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NOx) (Parry et al., 2014).

Para el cálculo del impacto a la salud se toma en cuenta el aumento de la morbilidad y mortalidad debido a la contaminación atmosférica. En esta etapa se evalúa como una exposición adicional a la contaminación incrementa el riesgo de mortalidad y morbilidad en una determinada localidad. Para eso, se establece una línea base de mortalidad para enfermedades potencialmente agravadas por la contaminación atmosférica. Después, se estima el riesgo marginal de mortalidad o morbilidad debido al aumento de la contaminación relativo a la mortalidad y morbilidad sin contaminación extra (Parry et al., 2014). La relación entre el incremento de la mortalidad o morbilidad y la concentración de contaminantes en la atmósfera se evidencia en las llamadas curvas dosis-respuesta. Las curvas dosis-respuesta son ecuaciones derivadas de estudios epidemiológicos que vinculan la variación de la incidencia de los efectos adversos en salud en una población, con un cambio en la concentración de un contaminante atmosférico experimentado por esa población, mediante el coeficiente β (Cárdaba Arranz et al., 2014). Los coeficientes β utilizados en el presente estudio se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Coeficientes β de las funciones dosis-respuesta según el tipo de impacto en la salud

Tipo de efecto	Enfermedades evaluadas	Estimador	Coeficiente (β)	Fuente
Mortalidad	Enfermedades Crónicas Obstructivas del Pulmón (EPOC)	Riesgo Relativo	0.005	(Parry et al., 2014)
	Cáncer de pulmón	Riesgo Relativo	0.0068	(Parry et al., 2014)
	Enfermedad Isquémica del corazón	Riesgo Relativo	0.008	(Parry et al., 2014)
	Enfermedad Cerebrovascular	Riesgo Relativo	0.0152	(Parry et al., 2014)
Morbilidad	Ataques de Asma	Casos nuevos	0.0584	(Ostro, Lipsett, Wiener, & Selner, 1991; Whittemore & Korn, 1980)


Tipo de efecto	Enfermedades evaluadas	Estimador	Coefficiente (β)	Fuente
Admisiones hospitalarias	Enfermedad Cardiovascular	Admisiones nuevas	0.0015	(Moolgavkar, 2000)
	Enfermedad Respiratoria Crónica	Admisiones nuevas	0.0024	(Moolgavkar, 2000)

Fuente: MINAM-Chile, 2013; Parry et al., 2014; Sánchez, Valdés, & Ostro, 1998.

En este estudio se consideraron los impactos de la exposición a corto y largo plazo al material particulado. A corto plazo, se identifica la mortalidad y admisión hospitalaria por enfermedades respiratorias y cardiovasculares y a largo plazo, se identifica mortalidad de infantes y adultos por enfermedades cardiovasculares y cardiopulmonares, y en adultos por cáncer al pulmón (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2011). El primer paso del cálculo es utilizar las funciones dosis-respuesta utilizadas en el estudio de Parry (Parry et al., 2014). Para ello se consideran las tasas de mortalidad de cuatro enfermedades: enfermedades crónicas obstructivas del pulmón, cáncer de pulmón, enfermedad isquémica del corazón y enfermedad cerebrovascular. Estas cuatro funciones, utilizan como estimador el riesgo relativo de morir prematuramente debido a cada tipo de enfermedad frente a un cambio de concentración de PM_{2.5}. En segundo lugar, se considera el impacto en morbilidad a través de la función dosis-respuesta de Ostro y Whittemore, el cual utiliza como estimador el número de casos nuevos de ataques de asma. Finalmente, se consideran dos funciones para la estimación de admisiones hospitalarias propuestas por Moolgavkar. Estas dos funciones estiman el número de admisiones nuevas para enfermedades cardiovasculares y enfermedades respiratorias crónicas. Complementariamente a los coeficientes β , en cada caso es necesario conocer el escenario base de número de muertes, número de casos registrados de enfermedad o números de hospitalizaciones, lo cuales son mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11. Número de casos base para las morbilidades estudiadas a nivel nacional

Enfermedades evaluadas	Año	Variable	Estimado	Fuente
Enfermedades Crónicas Obstructivas del Pulmón (EPOC)	2010	Número de muertes	667	Información Estadística Departamental (MINSAL, 2017)
Cáncer de pulmón	Promedio 2010-2012	Número de muertes	1,040	Registro de Cáncer para Lima Metropolitana 2010-2012. (Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, 2016)
Enfermedad isquémica del corazón	2010	Número de muertes	1,746	Información Estadística Departamental (MINSAL, 2017)



Enfermedades evaluadas	Año	Variable	Estimado	Fuente
Enfermedad cerebrovascular	2010	Número de muertes	1,621	Información Estadística Departamental (MINSA, 2017)
Ataques de asma	2010	Número de casos	324,493	Impacto económico en la salud por contaminación del aire en Lima Metropolitana (Miranda, 2006)
Enfermedad cardiovascular	2010	Número de admisiones	6,155	Información Estadística Departamental (MINSA, 2017)
Enfermedad respiratoria crónica	2010	Número de admisiones	5,886	Información Estadística Departamental (MINSA, 2017)

Fuente: Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas, 2016; MINSA, 2017; Miranda, 2006.

3.8 Valorización del impacto en salud

La valorización del impacto en la salud estima el costo asociado a los casos de mortalidad, morbilidad y admisiones hospitalarias. En el caso de la mortalidad, el costo asociado se estima en base a la productividad perdida. Para esto, se calcula primero el tiempo perdido en años para cada enfermedad. Los Años de Vida Perdidos (AVP) es el indicador estimado por el Ministerio de Salud que calcula el tiempo perdido por cada enfermedad. La Tabla 12 muestra los valores de AVP utilizados en este estudio.

Tabla 12. Años de Vida Perdidos según tipo de enfermedad

Enfermedades evaluadas	Años de Vida Perdidos	Fuente
Enfermedades Crónicas Obstructivas del Pulmón (EPOC)	16,389.00	MINSA Carga de Enfermedad en el Perú. Estimación de los Años de Vida Saludables Perdidos 2019
Cáncer de pulmón	25,000.00	MINSA Análisis de la situación del Cáncer en el Perú, 2018
Enfermedad Isquémica del corazón	150,550.00	MINSA Carga de Enfermedad en el Perú. Estimación de los Años de Vida Saludables Perdidos 2019
Infartos	124,622.00	MINSA Carga de Enfermedad en el Perú. Estimación de los Años de Vida Saludables Perdidos 2019

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

A partir de estos datos, se calcula el tiempo de vida perdido debido a muertes prematuras debido al incremento de la concentración de PM2.5 en la atmósfera. La valorización de este tiempo se realiza a través del ingreso promedio per cápita a nivel nacional, cuyos valores están registrados en la Tabla 13.

Tabla 13. Ingresos promedio per cápita

Año	Ingreso mensual (Nuevos soles)
2005	765.00
2006	765.00
2007	765.00
2008	783.00
2009	825.00
2010	856.00
2011	1,060.00
2012	1,117.00
2013	1,126.00
2014	1,137.00

Año	Ingreso mensual (Nuevos soles)
2015	1,140.00
2016	1,176.00
2017	1,159.00
2018	1,185.00
2019	1,200.00
2020	951.00
2021	1,074.00
2022	1,089.00
2023	1,172.34
2024	1,262.37
2025	1,355.43
2026	1,453.07
2027	1,560.61
2028	1,674.58
2029	1,796.48
2030	1,926.68

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, en base a INEI Nacional-Base 2022

En el caso de la variación de la morbilidad, se estima un costo aproximado por caso de US\$99 a partir del estudio de Miranda (2006). Finalmente, para estimar el costo de las admisiones hospitalarias, se toma el valor de S/. 3,446 por caso de hospitalización (Ministerio del Ambiente, 2014).

IV. Consideraciones del estudio

4.1 Consideraciones del sector industrial

Para la construcción de escenarios en el sector industrial, se recopiló la información sobre los volúmenes de gas natural vendidos en este sector y el tipo de industria. Además, la mayoría de los clientes en el sector industrial, habían realizado un cambio de sus tecnologías a gas natural y en menor porcentaje, habían solicitado instalaciones nuevas de suministro de combustible. Así, el escenario sin gas natural fue construido considerando el combustible reemplazado en base a informaciones brindadas por Cálidda de acuerdo a las fichas de instalación de cada cliente.

Tabla 14. Nivel de actividad en el sector industrial

Año	Consumo de gas natural (Millones de m3)
2005	154.29
2006	235.99
2007	649.35
2008	825.48

Año	Consumo de gas natural (Millones de m ³)
2009	784.65
2010	1,001.70
2011	1,195.31
2012	1,368.53
2013	1,696.33
2014	1,886.53
2015	1,761.11
2016	1,847.87
2017	2,110.75
2018	2,287.87
2019	2,370.96
2020	1,888.27
2021	2,559.27
2022	2,608.69
2023	2,421.86
2024	2,590.82
2025	2,722.72
2026	2,771.48
2027	2,815.39
2028	2,856.71
2029	2,895.21
2030	2,931.43
Total	49,238.58

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Para la construcción del escenario sin gas natural se asumió que toda la energía contenida en el gas (m³) consumido en el escenario con gas natural, presentada en la Tabla 14 hubiera sido suministrada por los combustibles que reemplazó el gas natural de acuerdo a cada tipo de industria. La Tabla 15 muestra la distribución de los combustibles reemplazados por el gas natural en el sector industrial de acuerdo al segmento. En ese sentido, en el escenario sin gas, la energía total suministrada en el escenario real (en TJ) es distribuida entre los diferentes combustibles (en TJ) que abastecen un determinado segmento de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 15.

Tabla 15. Distribución de combustibles reemplazados por gas natural en el sector de acuerdo al segmento industrial

Segmentos	GLP	Diesel	Bunker
Refinería	0.00%	100.00%	0.00%
Alimentos	84.21%	15.79%	0.00%
Cauchos	0.00%	0.00%	100.00%
Construcción	31.58%	68.42%	0.00%
Fabricacion Piezas	47.37%	0.00%	52.63%
GNC	50.00%	0.00%	50.00%
Lavandería	100.00%	0.00%	0.00%
Metal - Mecanica	84.21%	15.79%	0.00%
Papel y Cartón	78.95%	21.05%	0.00%
Pesquera	15.79%	84.21%	0.00%
Plástico	68.42%	31.58%	0.00%
Químicos	84.21%	15.79%	0.00%
Textil	36.84%	0.00%	63.16%
Vidrios	50.00%	50.00%	0.00%

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación en base a información proporcionada por Cálidda (2022).

4.2 Consideraciones del sector transporte

Para el caso del sector de transportes, fue considerado el consumo de combustible de gas natural vehicular (GNV) entre los años 2005-2030. Los datos del volumen de gas natural consumido (Tabla 16) fueron proporcionados por Cálidda y Pluspetrol. Asimismo, en base a la información proveída por Cálidda, fue determinado que el 82% del GNV consumido se realizó en automóviles (gasolina) y 18% restante, en buses (diesel).

Tabla 16. Nivel de actividad en el sector transporte

Año	Camisea
	GNV consumido (millones de m3)
2005	0.03
2006	7.16
2007	47.78
2008	138.32
2009	233.51
2010	311.42
2011	376.48
2012	462.71
2013	587.76
2014	658.90
2015	708.76
2016	728.81
2017	723.10
2018	735.96
2019	750.53
2020	503.84
2021	597.42
2022	755.31
2023	762.50
2024	710.69
2025	751.19
2026	777.27
2027	793.82
2028	810.26
2029	827.73
2030	845.20
Total	14,606.44

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Para la construcción de los escenarios sin gas natural, se consideró que todos los automóviles a GNV hubieran funcionado a gasolina y que todos los buses a GNV hubieran funcionado a Diésel, de acuerdo a estudios previos realizados por INFOGAS (2019). Para esto, se calculó la distancia recorrida por automóviles y buses de acuerdo al consumo y rendimiento del gas natural (Tabla 17). Luego, se consideró que la distancia recorrida en ambos escenarios es la misma y se calcularon los volúmenes de combustible reemplazado que hubieran sido consumidos de otras fuentes diferentes al gas natural.

Finalmente, se transformaron los volúmenes de combustible en energía de acuerdo a su poder calorífico y fueron determinadas las emisiones para cada escenario.

Tabla 17. Rendimiento de cada combustible en el sector transporte

Combustible	Rendimiento	Unidad
Gasolina	10	km/L
Diesel	5	km/L
GLP	9	km/L
GNV	9.2	km/m ³

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación en base a IPCC, 2006.

4.3 Consideraciones del sector residencial

El gas natural se utiliza en el sector residencial como fuente de energía en la cocina, el calentamiento de agua en termas y para el funcionamiento de secadoras. Se consideró el volumen total comercializado de gas natural para el sector residencial y este se dividió en porcentajes para termas (9.7%), secadoras (0.1%) y cocinas (90.2%), los porcentajes son asignados en base a datos históricos brindados por las consultorías anteriores de Cálidda obteniéndose una distribución promedio por cada equipo (Ver Tabla 18).

Tabla 18. Nivel de actividad en el sector residencial

Año	Camisea		
	Consumo de Gas Natural en termas (millones de m3)	Consumo de Gas Natural en secadoras (millones de m3)	Consumo de Gas Natural en cocinas (millones de m3)
2005	0.00	0.00	0.00
2006	0.00	0.00	0.00
2007	0.14	0.00	1.31
2008	0.21	0.00	1.98
2009	0.32	0.00	2.93
2010	0.52	0.00	4.82
2011	0.88	0.01	8.17
2012	1.51	0.01	14.03
2013	2.47	0.02	22.93
2014	3.93	0.03	36.47
2015	5.66	0.04	52.42
2016	7.11	0.05	65.88
2017	8.93	0.06	82.81
2018	11.99	0.08	111.12
2019	14.51	0.09	134.48

Año	Camisea		
	Consumo de Gas Natural en termas (millones de m3)	Consumo de Gas Natural en secadoras (millones de m3)	Consumo de Gas Natural en cocinas (millones de m3)
2020	18.53	0.12	171.80
2021	19.33	0.13	179.18
2022	22.23	0.14	206.03
2023	24.39	0.16	226.10
2024	29.32	0.19	271.74
2025	30.45	0.20	282.25
2026	31.64	0.20	293.25
2027	32.08	0.21	297.36
2028	32.39	0.21	300.18
2029	32.78	0.21	303.87
2030	33.15	0.21	307.28
Total	364.49	2.36	3,378.39

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Para la construcción de los escenarios sin gas natural, se asume que el total de las cocinas hubieran funcionado a GLP, el 80% de las termas hubieran funcionado a electricidad y el 20% a GLP asimismo el 100% de las secadoras hubieran funcionado a electricidad. Para el cálculo de las emisiones debido al consumo de energía eléctrica de la red en un escenario sin gas natural, se construyó un factor de emisión en coherencia con el sector de generación eléctrica calculado en la sección 4.5. Así, los factores de emisión tanto para gases de efecto invernadero como para contaminantes utilizados para el consumo de energía eléctrica de la red el escenario sin gas natural son resumidos en la Tabla 19.

Tabla 19. Factores de emisión utilizados para el consumo de energía eléctrica de la red en el escenario sin GN del sector residencial

Año	FE de contaminantes (g/GW.h)			FE de GEI (kg/GW.h)		
	NO _x	PM2.5	SO ₂	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
2005	4.78E+05	2.71E+05	1.47E+06	212,530.65	5.73	2.38
2006	4.36E+05	1.98E+05	1.33E+06	204,637.34	4.66	2.23
2007	6.29E+05	2.50E+05	1.93E+06	321,506.93	6.28	3.29
2008	8.53E+05	4.10E+05	2.05E+06	430,705.06	9.79	3.51
2009	7.00E+05	3.08E+05	1.97E+06	378,645.31	7.47	3.35
2010	8.20E+05	3.31E+05	2.23E+06	476,361.57	9.54	4.02
2011	1.09E+06	1.86E+05	2.09E+06	558,428.06	10.71	4.52
2012	1.25E+06	1.96E+05	2.17E+06	654,555.42	13.33	5.01
2013	1.08E+06	2.49E+05	2.58E+06	705,830.76	13.12	5.41
2014	1.13E+06	4.00E+05	2.06E+06	714,368.03	14.69	4.31
2015	1.08E+06	2.55E+05	1.76E+06	673,686.64	12.11	3.95
2016	1.15E+06	3.66E+05	2.18E+06	839,837.77	13.49	4.47

Año	FE de contaminantes (g/GW.h)			FE de GEI (kg/GW.h)		
	NO _x	PM2.5	SO ₂	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
2005	4.78E+05	2.71E+05	1.47E+06	212,530.65	5.73	2.38
2017	1.25E+06	9.52E+04	1.52E+06	734,524.27	11.25	4.04
2018	1.60E+06	1.90E+05	1.22E+06	874,051.43	15.34	3.91
2019	1.34E+06	2.13E+05	1.26E+06	821,694.55	14.70	3.73
2020	1.11E+06	1.21E+05	9.79E+05	678,584.12	13.97	3.55
2021	1.19E+06	1.53E+05	1.82E+06	863,795.56	13.60	4.62
2022	1.57E+06	4.48E+04	9.22E+05	883,969.15	15.73	3.95
2023	2.02E+06	4.95E+04	3.25E+05	1,008,765.52	18.94	3.56
2024	1.06E+06	8.81E+05	2.29E+06	1,205,365.83	19.88	3.76
2025	1.50E+06	2.88E+05	8.65E+05	1,024,471.95	17.14	3.22
2026	1.41E+06	5.77E+05	1.58E+06	1,237,497.20	18.93	3.61
2027	7.48E+03	2.79E+03	2.40E+02	26,093.90	2.58	0.34
2028	7.26E+03	2.70E+03	2.33E+02	26,093.90	2.50	0.33
2029	2.39E+03	8.91E+02	7.67E+01	10,141.78	0.82	0.11
2030	2.39E+03	8.91E+02	7.67E+01	10,140.49	0.82	0.11

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

4.4 Consideraciones del sector comercial

El sector comercial comprende la actividad de negocios como restaurantes, lavanderías, panaderías, hoteles, hospitales, entre otros. En este sector, se recolectó la información respecto al consumo total de gas natural y se calculó un aproximado de la participación de cada uno de estos segmentos. El nivel de actividad de este sector se muestra en la Tabla 20 detallando el volumen total de gas natural consumido y la energía contenida en él.

Tabla 20. Nivel de actividad en el sector comercial

Año	Camisea
	Consumo de Gas Natural (millones de m3)
2005	0.00
2006	0.00
2007	1.22
2008	3.53
2009	5.38
2010	7.80
2011	10.60
2012	14.77
2013	17.62
2014	22.54
2015	27.46
2016	32.49

Año	Camisea
	Consumo de Gas Natural (millones de m3)
2017	72.72
2018	43.21
2019	54.29
2020	62.20
2021	96.72
2022	83.70
2023	86.64
2024	79.05
2025	79.71
2026	80.90
2027	133.28
2028	138.62
2029	142.93
2030	146.79

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

El consumo total de gas natural registrado fue dividido en diferentes subgrupos incluyendo restaurantes, panaderías, hoteles, hospitales y otros, de acuerdo con los registros de los clientes regulados de TGP, Pluspetrol y Cálidda. En un escenario sin gas natural se consideró los combustibles reemplazados por éste en cada uno de estos subgrupos, en la proporción que se encuentra detallado en la Tabla 21.

Tabla 21. Combustibles reemplazados por el gas natural en el sector comercial

Subgrupo	Diésel	GLP
Restaurantes	0.00%	100.00%
Panaderías	35.00%	65.00%
Hoteles	5.00%	95.00%
Hospitales	70.00%	30.00%
Otros	5.00%	95.00%

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación en base a información proporcionada por Cálidda (2022), 2024.

Así, se consideró que en todos los escenarios, se suministraba la misma cantidad de energía (en TJ) a los comercios y que, en el caso del escenario real, este proviene en su totalidad del gas natural y en el caso los escenarios sin gas natural, proviene de las fuentes reemplazadas según la distribución en la Tabla 21 de acuerdo al subsector. Los porcentajes mostrados en esta tabla fueron obtenidos de la información proporcionada por Cálidda, considerando las tecnologías utilizadas y las actividades de cada subgrupo. Por ejemplo, se considera que para el caso de restaurantes el 100% de la energía del gas natural sería utilizado en

cocinas, por lo que, en un escenario sin gas natural, esta demanda de energía hubiera sido suministrada 100% por GLP.

4.5 Consideraciones del sector electricidad

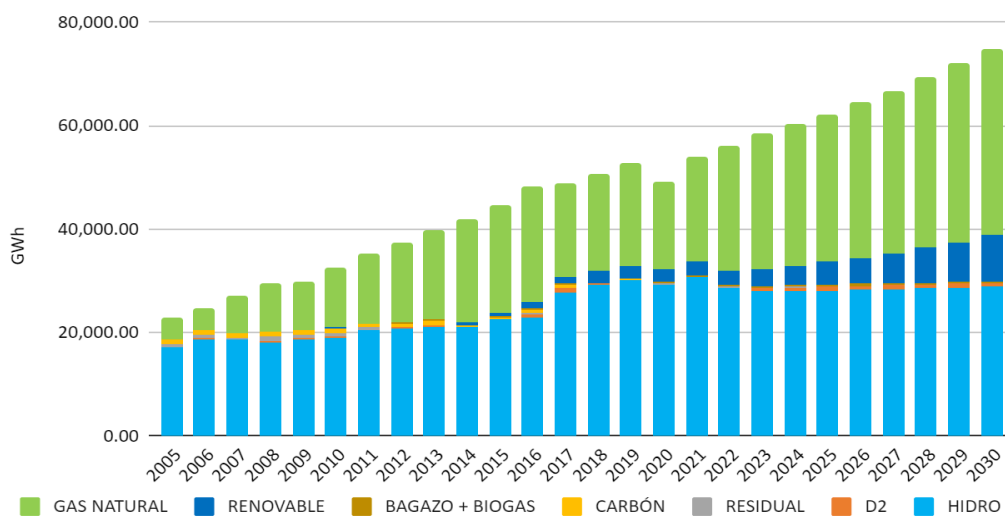
El sector electricidad comprende los datos de producción de energía a nivel nacional 2005-2023, respecto a la producción de energía en el periodo 2023-2030 se realizó una proyección en base a las estimaciones de la Matriz Energética Nacional al 2030 desarrollada por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Ver Anexo 1). En segundo lugar se procedió a construir los escenarios: i) Escenario con Gas Natural y ii) Escenario sin Gas Natural a fin de estimar las emisiones evitadas.

La construcción de estos escenarios se basó en el supuesto de que la energía total producida es siempre la misma, de forma que la misma energía eléctrica (GWh) sea suministrada en todos los escenarios. Además, en base al combustible consumido y la energía producida a partir de cada combustible, se calculó a través de la data histórica, el rendimiento promedio, en GWh por unidad de volumen o masa de combustible, para cada año y para cada combustible. Este rendimiento, es decir la cantidad media de combustible consumido para la generación de 1 GWh, se mantiene igual en todos los escenarios. De esa forma, se estimó la distribución de la energía producida distribuyendo el total entre las distintas fuentes de energía a excepción del gas natural y a partir de eso, fue determinada la cantidad de combustible que hubiera sido consumida en cada escenario.

4.5.1 Escenario con Gas Natural

El Escenario con Gas Natural refleja el escenario real de la producción de energía en el Perú, la información fue recolectada de los informes anuales del Comité de Operación Económica del Sistema (COES SINAC). La Figura 4 y Tabla 22 muestran la cantidad de combustible consumido en las centrales de generación eléctrica entre los años 2005 y 2030.

Figura 4. Producción de energía eléctrica por tipo de fuente en el escenario con gas natural



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Tabla 22. Nivel de actividad en el sector de generación de electricidad

Combustible	Hidro	Diesel	Residual	Carbón	Biogás y Bagazo	Renovable	Gas Natural
Unidad	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
2005	17,100.40	69.35	718.40	830.88	0.00	0.00	4,071.78
2006	18,693.42	133.59	780.15	881.56	0.00	0.00	4,308.72
2007	18,587.87	94.38	409.83	839.45	0.00	0.00	7,323.40
2008	18,010.12	369.98	951.29	910.41	0.00	0.00	9,319.86
2009	18,751.74	141.53	716.91	929.99	0.00	2.98	9,267.07
2010	18,963.21	246.07	626.21	1,066.84	0.00	77.82	11,446.67
2011	20,404.10	183.80	347.70	732.40	87.30	0.00	13,462.20
2012	20,848.60	229.20	124.90	555.50	162.80	59.70	15,340.50
2013	21,128.60	119.80	134.50	836.60	225.80	196.90	17,027.30
2014	21,002.90	55.10	32.60	163.20	176.40	455.60	19,910.00
2015	22,456.20	170.80	43.30	248.10	127.30	821.70	20,672.70
2016	23,009.60	462.00	194.20	772.90	137.70	1,295.90	22,454.10
2017	27,741.40	745.50	128.50	673.70	123.60	1,353.40	18,227.10
2018	29,357.90	75.20	28.10	43.10	144.40	2,238.80	18,929.20
2019	30,168.43	26.71	47.32	36.15	254.94	2,407.89	19,950.70
2020	29,317.56	43.78	8.66	13.02	304.44	2,581.06	16,918.12
2021	30,664.75	21.94	7.89	28.35	355.69	2,602.54	20,309.50
2022	28,486.17	278.29	10.01	89.69	354.01	2,751.29	24,114.60
2023	27,865.09	759.11	23.36	0.00	344.52	3,310.88	26,089.94
2024	28,010.47	749.76	21.21	0.00	343.60	3,807.51	27,342.26
2025	28,156.61	740.54	19.26	0.00	342.68	4,378.63	28,654.69
2026	28,303.52	731.42	17.49	0.00	341.77	5,035.43	30,030.11
2027	28,451.19	722.42	15.88	0.00	340.86	5,790.74	31,471.56
2028	28,599.63	713.53	14.42	0.00	339.95	6,659.36	32,982.19
2029	28,748.84	704.75	13.09	0.00	339.04	7,658.26	34,565.34
2030	28,898.84	696.07	11.89	0.00	338.14	8,807.00	36,224.48

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

En el transcurso del año 2022, se evidencia una disminución en la producción de energía hidroeléctrica, atribuible a las sequías experimentadas durante el último trimestre del mismo año. Este escenario condujo a la utilización de fuentes térmicas como el diésel, carbón y residuales. Paralelamente, se observa un aumento significativo en la generación de energía mediante el uso de gas natural. Esta dinámica impacta directamente en la elaboración de escenarios hipotéticos donde no se emplea gas natural, intensificando la incertidumbre asociada. Determinar la distribución de las fuentes de energía que conforman el mix eléctrico en un escenario sin gas natural se convierte en un desafío de considerable complejidad, por lo cual no se puede afirmar con certeza cómo se habrían desarrollado las circunstancias si el gas natural no hubiera estado presente en el panorama energético peruano, especialmente en lo que respecta a la generación de electricidad.

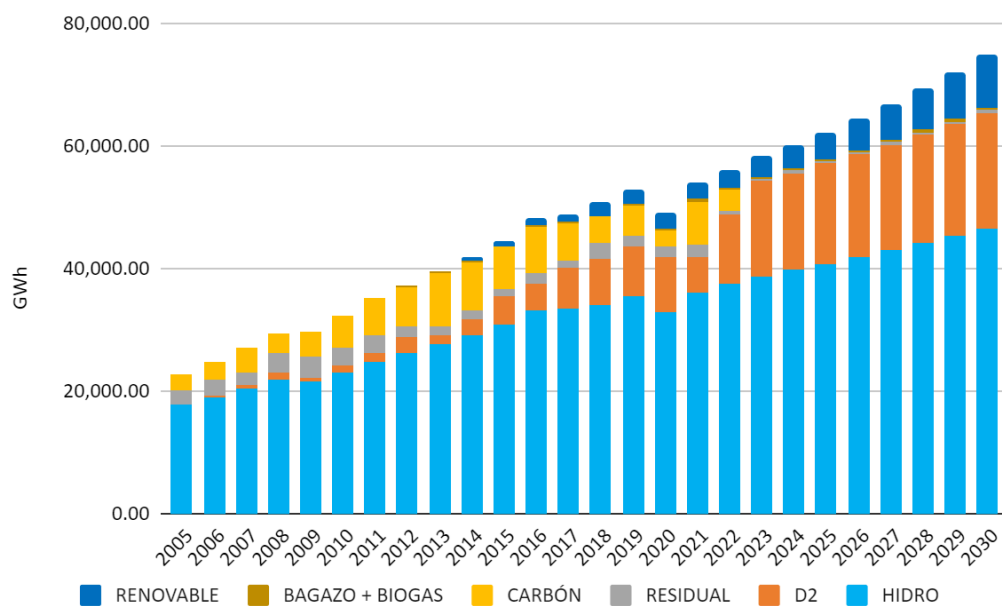
4.5.2 Escenario sin Gas Natural

De la reunión previas con expertos en el sector eléctrico se llegó a la conclusión de que un Escenario sin GN, que considere que el gas natural reemplazo tanto energía hidroeléctrica como termoeléctrica, debía estar basado en supuestos al determinar la distribución de la energía eléctrica producida, incluyendo:

- La energía total producida proviene de fuentes hídricas y térmicas.
- La producción de energía termoeléctrica y energía hídrica crecen tendencial y linealmente sin superar la distribución de 30% y 70% de la energía no renovable, respectivamente.
- La distribución de la energía térmica producida para cada año conserva la proporción de los combustibles tradicionales que en el escenario real.
- La producción de energía de fuentes renovables (biogás, bagazo, solar y eólica) se mantiene igual en el escenario con gas natural y sin gas natural.

A partir de estos supuestos, se construyó el Escenario sin Gas Natural (Figura 5) y se determinó la energía producida a partir de cada fuente (Tabla 23).

Figura 5. Producción de energía eléctrica por tipo de fuente en el Escenario sin Gas Natural



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Tabla 23. Energía producida por tipo de fuente en el Escenario sin Gas Natural (GWh)

Combustible	Hidro	Diesel	Residual	Carbón	Biogás y Bagazo	Renovable
Unidad	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
2005	17,768.32	215.18	2,229.15	2,578.16	0.00	0.00
2006	18,958.35	434.50	2,537.40	2,867.20	0.00	0.00
2007	20,457.61	477.47	2,073.25	4,246.61	0.00	0.00
2008	21,808.11	1,285.43	3,305.09	3,163.04	0.00	0.00
2009	21,632.85	646.91	3,276.80	4,250.69	0.00	2.98
2010	23,117.60	1,171.43	2,981.15	5,078.81	0.00	77.82
2011	24,801.98	1,501.96	2,841.30	5,984.96	87.30	0.00
2012	26,241.47	2,735.79	1,490.84	6,630.59	162.80	59.70
2013	27,798.65	1,257.21	1,411.47	8,779.47	225.80	196.90
2014	29,113.91	2,646.27	1,565.67	7,837.95	176.40	455.60
2015	30,788.76	4,730.94	1,199.35	6,872.05	127.30	821.70
2016	33,121.31	4,452.05	1,871.40	7,448.03	137.70	1,295.90
2017	33,550.41	6,727.08	1,159.53	6,079.18	123.60	1,353.40
2018	34,211.07	7,305.51	2,729.85	4,187.07	144.40	2,238.80
2019	35,553.62	8,099.52	1,761.08	4,815.09	254.94	2,407.89
2020	32,822.06	9,014.94	1,782.73	2,681.42	304.44	2,581.06
2021	36,190.18	5,597.09	2,012.28	7,232.89	355.69	2,602.54
2022	37,559.69	11,351.89	408.39	3,658.78	354.01	2,751.29
2023	38,791.60	15,469.90	476.00	0.00	344.52	3,310.88
2024	39,767.19	15,906.56	449.95	0.00	343.60	3,807.51
2025	40,785.88	16,359.78	425.44	0.00	342.68	4,378.63
2026	41,849.67	16,830.50	402.37	0.00	341.77	5,035.43
2027	42,960.69	17,319.69	380.67	0.00	340.86	5,790.74
2028	44,121.17	17,828.36	360.24	0.00	339.95	6,659.36
2029	45,333.43	18,357.59	341.01	0.00	339.04	7,658.26
2030	46,599.92	18,908.45	322.90	0.00	338.14	8,807.00

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

En lo que respecta al año 2030, en el escenario sin GN la producción de energía de gas natural es reemplazada por fuentes térmicas e hidroeléctricas, siguiendo las tendencias de los años previos a la introducción del gas natural, no se evidencia un aumento tan significativo de fuentes térmicas (diesel, residual y carbón).

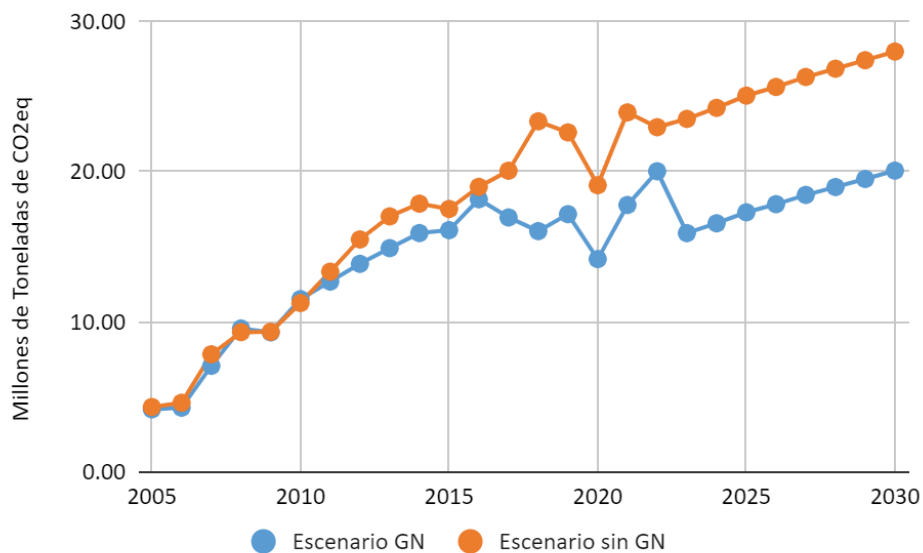
V. Resultados

5.1 Aporte del Gas Natural en la Mitigación del Cambio Climático

En esta sección se describen las brechas en las emisiones de GEI de los escenarios con Gas Natural y sin Gas Natural. De esta manera, fueron cuantificadas las emisiones evitadas de gases de efecto invernadero debido al consumo de gas natural en sustituto de otras fuentes de energía.

La Figura 6 muestra el total de emisiones de gases de efecto invernadero, en CO₂eq, de los escenarios con gas natural y sin gas natural. El total de emisiones de GEI evitadas entre el periodo 2005 – 2030 de acuerdo con el escenario con Gas Natural y sin Gas Natural fue de **101.70** millones de toneladas de CO₂eq. Las emisiones totales evitadas equivalen al carbono contenido en **187,097.43** de hectáreas de bosque de selva baja, 76.15 millones de árboles con más de 10 cm DAP (diámetro altura de pecho).

Figura 6. Emisiones de CO₂eq por escenario.



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Desagregando, se presentan las emisiones de dióxido de carbono (Figura 7), metano (Figura 8) y óxido nítrico (Figura 9) para los escenarios evaluados. En el caso del dióxido de carbono y el óxido nítrico, las emisiones en los escenarios sin gas natural fueron casi siempre mayores que las del escenario con gas natural. En el caso del metano, las emisiones del escenario con gas natural fueron mayores que en la del escenario sin gas natural, lo cual es atribuible principalmente a que el Factor de Emisión de CH₄ es mayor en el gas natural a comparación de las fuentes térmicas convencionales (diesel, gasolina, búnker, entre otros).

No obstante, incluso si las emisiones de metano son mayores en el escenario con gas natural, el resultado final es positivo. Tener un balance positivo indica que el uso de gas natural contribuye a la lucha contra el

cambio climático y de hecho reduce las emisiones de gases de efecto invernadero en sus usuarios. En total, la Tabla 24 detalla las emisiones de CO₂eq evitadas y el porcentaje de reducción y la Tabla 25 muestra el resumen de las emisiones evitadas para el CO₂, CH₄ y N₂O en miles de toneladas.

Tabla 24. Emisiones de CO₂eq evitadas en los periodos 2005-2023 y 2024-2030.

Millones de toneladas			
Escenario	Total 2005-2023	Total 2024-2030	Total
Escenario con GN	255.65	128.72	384.37
Escenario sin GN	302.51	183.56	486.07
Emisiones evitadas	46.86	54.84	101.70
Porcentaje de reducción	15.49%	29.87%	20.92%

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

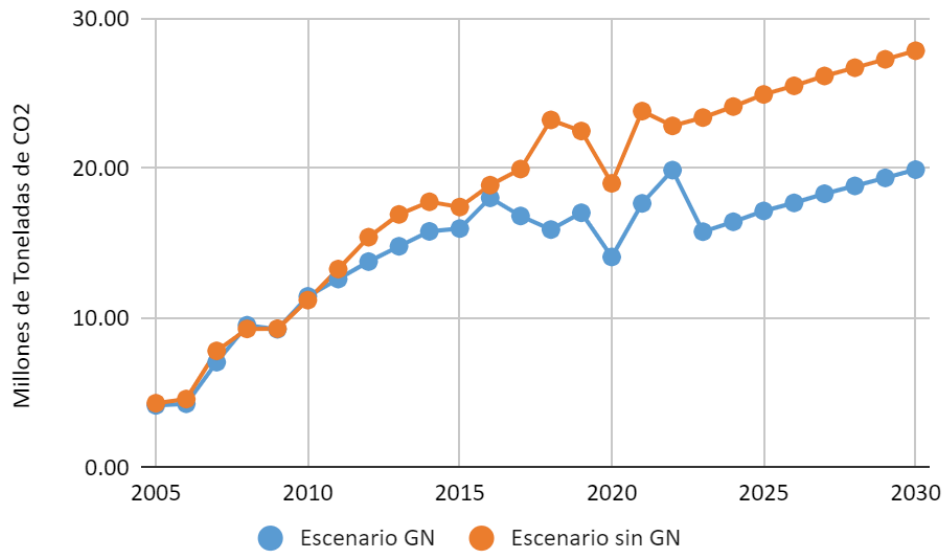
Tabla 25. Emisiones de GEI evitadas acumuladas por sector en el periodo 2005-2030.

CO ₂ (Millones de t)	2005-2023	2024-2030	Total
Escenario GN	253.94	128	381.68
Escenario sin GN	300.97	183	483.64
Emisiones evitadas CO ₂	47.03	54.93	101.97
CH ₄ (Millones de t)	2005-2023	2024-2030	Total
Escenario GN	0.040	0.024	0.063
Escenario sin GN	0.010	0.008	0.018
Emisiones evitadas CH ₄	-0.030	-0.015	-0.045
N ₂ O (Millones de t)	2005-2023	2024-2030	Total
Escenario GN	0.002	0.001	0.003
Escenario sin GN	0.005	0.002	0.007
Emisiones evitadas N ₂ O	0.003	0.001	0.004

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

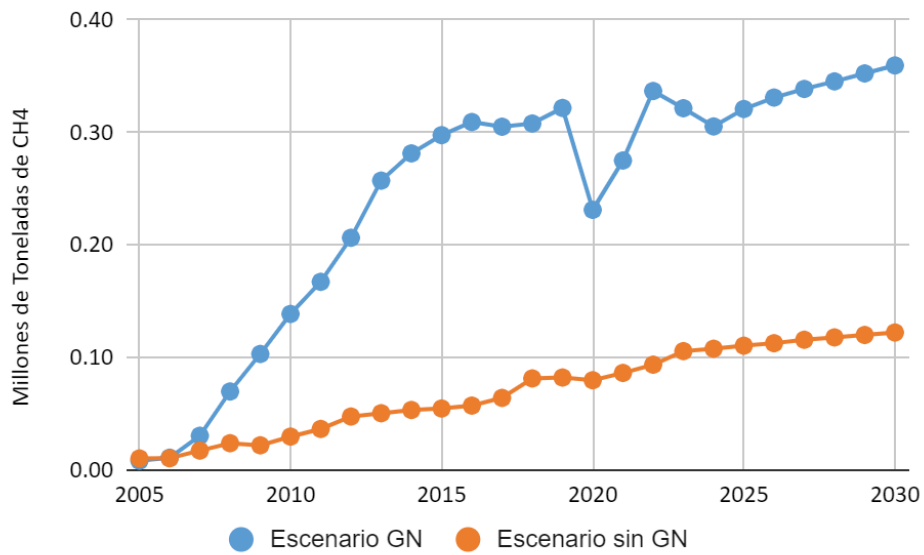
De la tabla se estima que se dejan de emitir un total de 101.97 millones de toneladas de CO₂, -0.045 millones de toneladas de CH₄ y 0.004 millones de toneladas de N₂O.

Figura 7. Emisiones de CO₂ por escenario



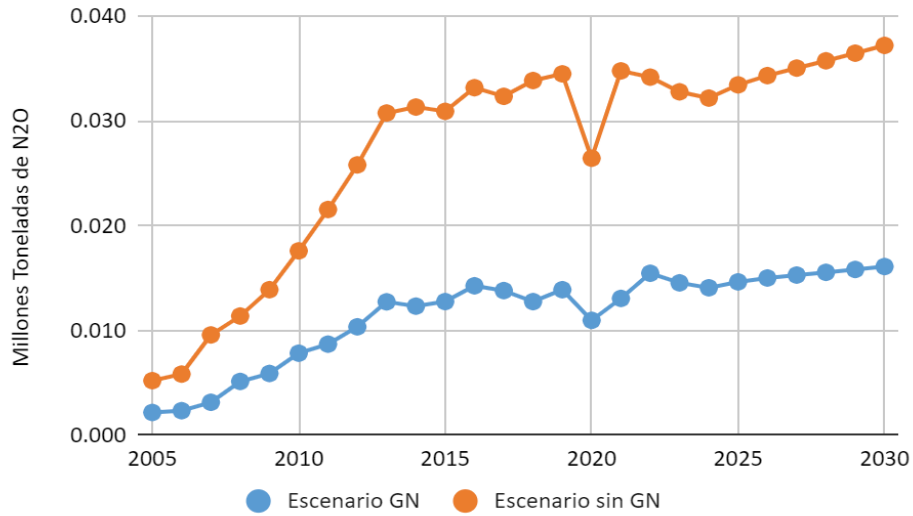
Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Figura 8. Emisiones de CH₄ por escenario



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

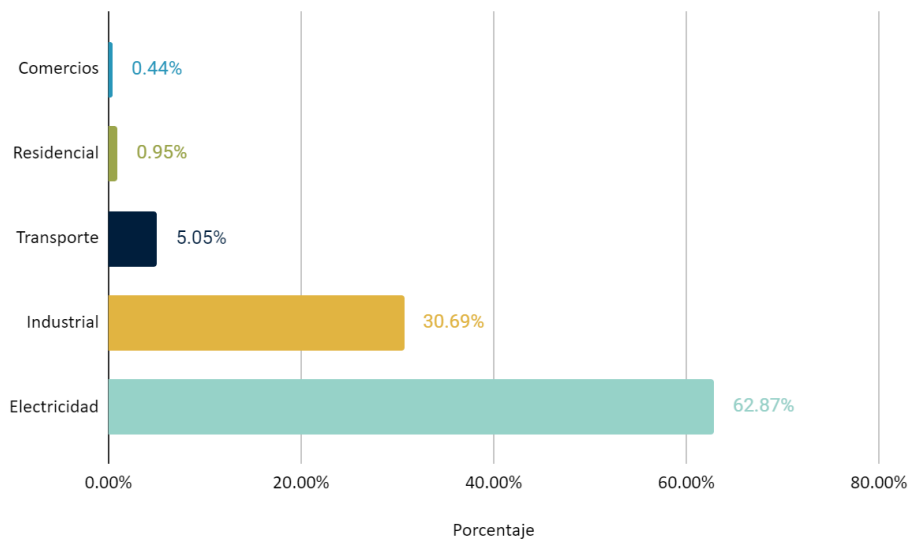
Figura 9. Emisiones de N₂O por escenario



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

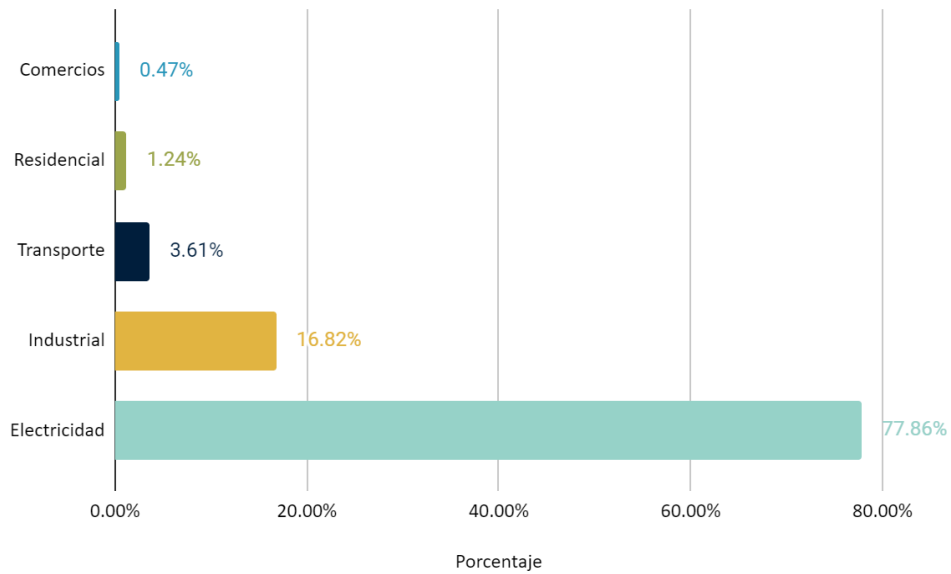
Fueron evaluados también las emisiones de GEI en los escenarios con gas natural y sin gas natural de los sectores de generación de electricidad, transporte, residencial, comercial e industrial. La Figura 10 y 11 muestra la distribución por sector de las emisiones evitadas calculadas para cada escenario. De los sectores evaluados, el principal contribuyente en la reducción de emisiones de GEI es el sector electricidad. Sin embargo, es este sector el que presenta mayor variabilidad entre un escenario y otro. Esto se debe a la distribución de las fuentes de energía y los escenarios plausibles de generación eléctrica.

Figura 10. Emisiones de GEI evitadas por sector 2005-2023.



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Figura 11. Emisiones de GEI evitadas por sector 2024-2030.



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Además, el cálculo es sensible a la introducción de errores debido a los supuestos asumidos durante la construcción de escenarios. Por ejemplo, la contribución a la energía total producida de los combustibles fósiles convencionales (diésel, residual y carbón) siempre ha sido menor a 10% e incluso menor al 5% desde el año 2011. Al utilizar la misma distribución de esta pequeña fracción para el total de la energía producida a partir de fuentes térmicas, la distorsión introducida puede significar variaciones grandes a partir de pequeñas variaciones en el escenario real.

Los demás sectores analizados en este estudio presentan siempre valores positivos y valores similares en ambos escenarios evaluados, ya que siempre reemplazan combustibles fósiles convencionales de mayor emisión por nivel de actividad que el gas natural y se conoce, en la mayoría de los casos, cual fue exactamente el combustible reemplazado en el diseño de escenarios sin gas natural. Después del sector industrial, el sector transporte es el segundo mayor contribuyente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, seguido del sector transporte, industrial, residencial y comercial. Las emisiones de gases de efecto invernadero acumuladas por cada sector se detallan en la Tabla 26. El sector que evitó la mayor cantidad de emisiones de GEI fue el sector electricidad con 72.16 millones de toneladas de CO₂eq evitadas. El sector comercial fue el que menos emisiones evitadas tuvo con solo 0.46 millones de toneladas de CO₂eq evitadas.

Tabla 26. Emisiones de GEI evitadas acumuladas por sector (tCO₂eq)

Emisiones de GEI evitadas acumuladas por sector (Millones de tCO ₂ eq)			
Sectores	Total 2005-2023	Total 2024-2030	Total
Transporte	2.37	1.98	4.35
Comercios	0.20	0.26	0.46
Industrial	14.38	9.22	23.61
Residencial	0.45	0.68	1.12
Electricidad	29.46	42.70	72.16

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Asimismo, en el Anexo 3 se compararon las emisiones de GEI evitadas en el escenario con las emisiones nacionales de Energía realizadas por el más reciente Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2019. De modo que se estima que el beneficio del uso del Gas Natural representa alrededor de un 9% de emisiones reducidas a nivel nacional (bajo el escenario hipotético).

5.2 Aporte de Gas Natural en la Calidad del Aire

En esta sección se evalúan las emisiones de contaminantes atmosféricos evitados debido al consumo de gas natural en reemplazo de otras fuentes de energía. La Tabla 27 muestra en resumen las emisiones de contaminantes evitadas durante el periodo 2005 – 2030 debido al uso de gas natural para los escenarios con GN y sin GN. La Figura 12, Figura 13 y Figura 14 muestran las emisiones de contaminantes para cada escenario en el periodo evaluado. El uso de gas natural evitó la emisión de 1.57 millones de toneladas de óxidos de nitrógeno, 1.24 millones de toneladas de dióxido de azufre y 0.11 millones de toneladas de PM2.5 en el periodo evaluado. Esto quiere decir que el uso del gas natural ha contribuido desde el año 2005 con la calidad del aire impidiendo la emisión de contaminantes atmosféricos debido al consumo de combustibles convencionales.

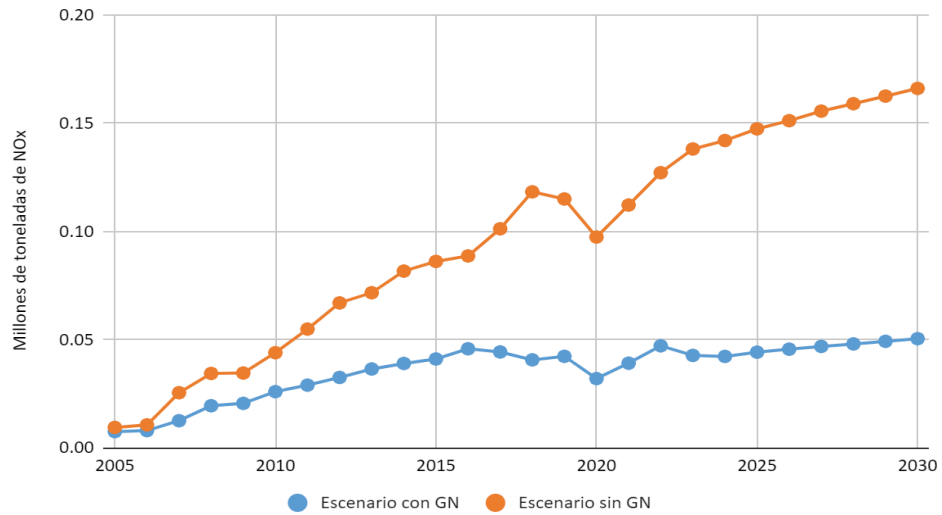
Tabla 27. Emisiones de contaminantes evitadas acumuladas por escenario (t)

Contaminante	Millones de toneladas		
	2005-2023	2024-2030	Total
NO_x (millones de t)			
Escenario GN	0.61	0.33	0.93
Escenario sin GN	1.42	1.08	2.50
Emisiones evitadas NO _x	0.81	0.76	1.57
Porcentaje de reducción	57.30%	69.89%	62.76%
SO₂ (millones de t)			
Escenario GN	0.10	0.00	0.11
Escenario sin GN	1.13	0.21	1.34
Emisiones evitadas SO ₂	1.03	0.21	1.24
Porcentaje de reducción	90.87%	98.13%	92.02%
PM2.5 (millones de t)			
Escenario GN	0.02	0.01	0.03

Contaminante	Millones de toneladas		
Escenario sin GN	0.11	0.03	0.14
Emisiones evitadas PM2.5	0.09	0.02	0.11
Porcentaje de reducción	80.86%	73.98%	79.38%

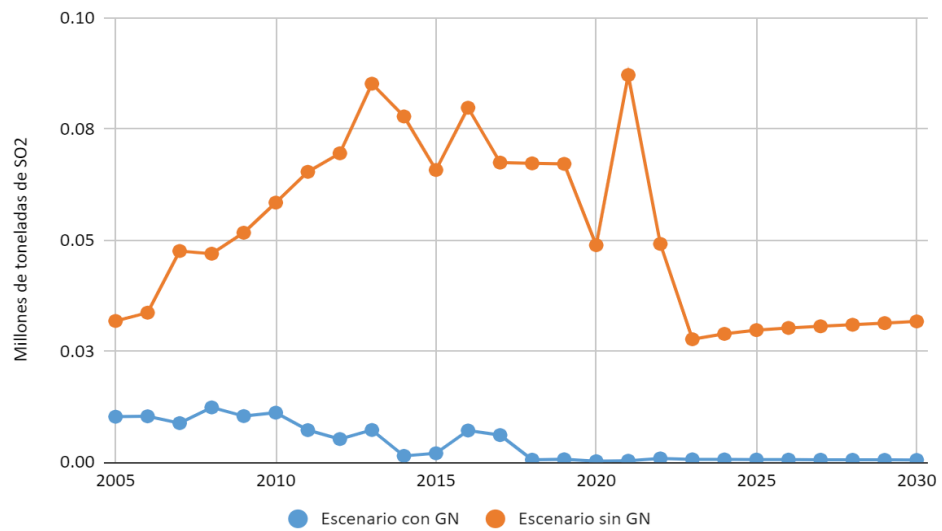
Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Figura 12. Emisiones de NO_x por escenario



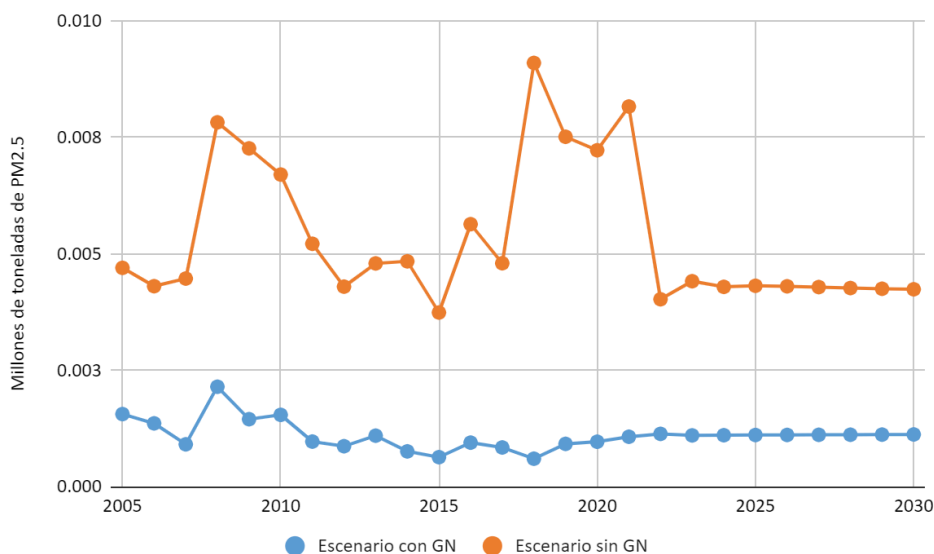
Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Figura 13. Emisiones de SO₂ por escenario.



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

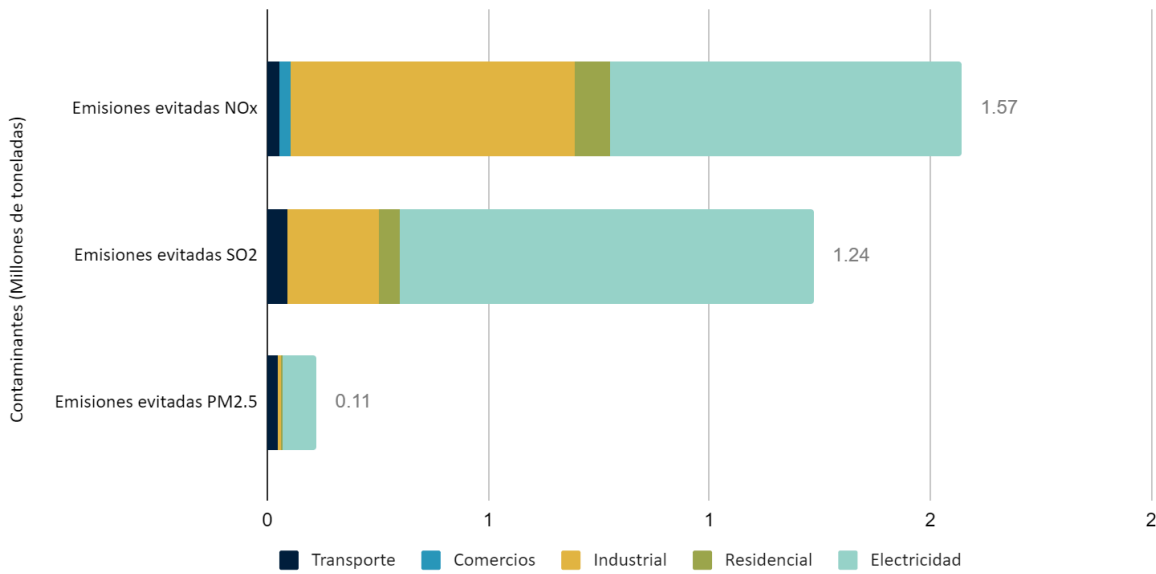
Figura 14. Emisiones de PM2.5 por escenario



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

La Figura 15 muestra las emisiones de contaminantes evitadas desagregadas por sector. Se observa que el mayor aporte a la reducción de las emisiones de NO_x es la electricidad, seguido del sector industrial y en menor proporción los otros sectores evaluados. En el caso de las emisiones de dióxido de azufre, se observó que los sectores que contribuyeron más a la reducción son el sector electricidad e industrial. El gas natural al ser un combustible con bajo contenido de azufre (Osinergrmin et al., 2020), su introducción se traduce en la reducción drástica del dióxido de azufre emitido a la atmósfera. Esta reducción se evidencia con mayor claridad en los sectores en los que el gas natural reemplaza combustibles con alto contenido de azufre como el diésel o el petróleo residual. Por último, la reducción de emisiones de PM_{2.5} se observó con mayor intensidad en los sectores electricidad y transporte.

Figura 15. Emisiones de contaminantes evitadas acumuladas por el uso de gas natural



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

5.3 Aporte del Gas Natural en la Salud Pública

A partir del cálculo de las emisiones contaminantes evitadas, se estimó el impacto del gas natural en la salud pública. Específicamente, fueron calculados los casos evitados de mortalidad y morbilidad. La Tabla 28 muestra los beneficios a la salud pública del uso del gas natural en el periodo 2005-2030, el uso del gas natural y su consecuente contribución a la calidad atmosférica evitaron 3,303.26 muertes prematuras debido a enfermedades obstructivas crónicas, cáncer al pulmón, enfermedades isquémicas del corazón y enfermedades cerebrovasculares. Además, se evitaron 1,578.38 hospitalizaciones debido a enfermedades cardiovasculares y enfermedades respiratorias crónicas así como 1,280,494.64 casos de asma en la población expuesta.

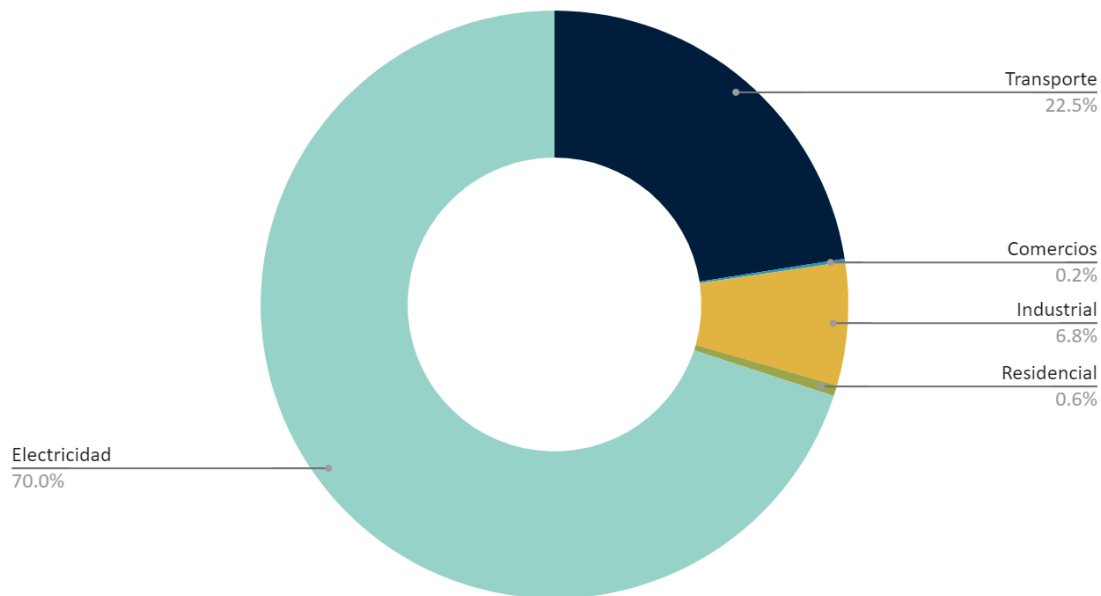
Tabla 28. Beneficios del Gas Natural en Salud 2005-2023 y 2024.2030.

N° de casos evitados	2005-2023	2024-2030	Total 2005-2030
Muertes Prematuras Evitadas	2,639.82	663.44	3,303.26
Hospitalizaciones Evitadas	1,261.37	317.01	1,578.38
Casos de Asma Evitados	1,023,316.18	257,178.46	1,280,494.64

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Asimismo, la Figura 16 muestra la distribución de los casos de mortalidad y morbilidad evitados. Para todos, el sector electricidad es el de mayor impacto, seguido por el sector transporte, el sector industrial y en menor proporción las de los sectores residencial y comercial.

Figura 16. Distribución de beneficios de Gas Natural en salud por sector



Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Se valorizó el impacto a la salud evitado para evaluar los ahorros en gastos de salud debido al uso de gas natural en cada uno de los sectores. Para mayor información sobre la metodología, consultar la sección 3.8. La Tabla 29 y Tabla 30 expresan el resumen de la valorización económica de este impacto, determinado en Nuevos Soles ahorrados. La utilización de gas natural permitió el ahorro de S/1,100.21 millones de nuevos soles en el impacto a la productividad (productividad perdida por muerte prematura) en 2005-2030 y los gastos por sufrir una enfermedad (morbilidad) para los años 2005-2030 lograron un ahorro de S/.494.77 millones de nuevos soles respectivamente.

Tabla 29. Impacto económico en gastos en salud 2005-2023 (Millones de nuevos soles ahorrados)

2005-2023						
Ahorro en millones de soles	Transporte	Comercios	Industrial	Residencial	Electricidad	Total
Productividad	163.16	0.58	47.29	2.32	643.77	857.13
Gastos hospitalarios	71.41	0.37	20.41	1.48	301.73	395.40

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Tabla 30. Impacto económico en gastos en salud 2023-2030 (Millones de nuevos soles ahorrados)

2024-2030						
Ahorro en millones de soles	Transporte	Comercios	Industrial	Residencial	Electricidad	Total
Productividad	98.45	0.73	32.23	2.25	109.41	243.07
Gastos hospitalarios	39.97	0.47	13.09	1.44	44.42	99.37

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Los ahorros totales debido a la productividad perdida y el ahorro en gastos hospitalarios son detallados en la Tabla 31. De los ahorros en salud, el sector electricidad fue el de mayor contribución, seguido del sector transporte. Esto demuestra que la inversión en el uso de gas natural como fuente de energía resulta en importantes beneficios para la salud de las personas y por lo tanto, conlleva ahorros económicos para la salud pública.

Tabla 31. Ahorros en salud por el uso de gas natural

Ahorro en millones de soles	2005-2023	2024-2030	Total 2005-2030
Productividad	857.13	243.07	1,100.21
Gastos hospitalarios	395.40	99.37	494.77

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.



VI. Conclusiones

- El gas natural se presenta como un actor clave en la promoción de un entorno más saludable y sostenible. Su condición de fuente de energía más limpia y eficiente no solo reduce las emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero, mejorando así la calidad del aire y contribuyendo a la mitigación del cambio climático, sino que también tiene un impacto directo en la protección de la salud pública al minimizar la exposición a sustancias perjudiciales y por ende en los costos de salud pública. En este contexto, el gas natural no solo cumple con las demandas energéticas, sino que emerge como una herramienta crucial para abordar los desafíos ambientales contemporáneos y avanzar hacia un desarrollo sostenible.
- Fueron evaluados dos escenarios: Un Escenario con Gas Natural en el que refleja el consumo real del gas natural para cada sector evaluado y un Escenario sin Gas Natural en el que el consumo de gas es reemplazado por fuentes energéticas térmicas como fuentes renovables (fuentes hídricas en el sector electricidad).
- El uso de gas natural entre el año 2005-2023 evitó la emisión de **46.86** millones de toneladas de CO₂eq y en 2024-2030 evitará la emisión de **54.84** millones de toneladas de CO₂eq, ambos valores equivalen al carbono contenido en **187,097.43** hectáreas de Selva Baja, respectivamente
- La utilización de gas natural entre 2005 y 2030 contribuirá a la calidad del aire y la salud de las personas evitando la emisión de **1.57 millones de toneladas de NO_x**, **1.24 millones de toneladas de SO₂** y **0.11 millones de toneladas de PM_{2.5}**, contaminantes directamente ligados a la salud de las personas. Esto generará ahorros en pérdidas por mortalidad de un total de **S/. 1,100.21 millones** y **S/. 494.77 millones** de nuevos soles en gastos de morbilidad debido al uso de gas natural entre los años 2005 y 2030.
- El estudio demuestra que hubo una reducción de emisiones de GEI y contaminantes en todos los sectores evaluados. En el caso de emisiones de GEI, los sectores de electricidad e industrial fueron los que más contribuyeron a la reducción de emisiones. Para el caso de salud y costos, los sectores de mayor contribución fueron los sectores transporte y electricidad.

VII. Referencias

- Cárdbaba Arranz, M., Muñoz Moreno, M. F., Armentia Medina, A., Alonso Capitán, M., Carreras Vaquer, F., & Almaraz Gómez, A. (2014). Health impact assessment of air pollution in Valladolid, Spain. *BMJ Open*, 4(10), 1–12. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-005999>
- Diario Gestión. (2020). Acuerdo entre el MINSA y la Asociación de Clínicas Particulares del Perú. Recuperado de <https://gestion.pe/peru/sis-clinicas-privadas-sis-establece-precio-paquete-por-dia-a-clinicas-privadas-por-la-atencion-a-pacientes-con-covid-19-noticia/?ref=signwall>
- Harremoës, P., & Turner, R. (2001). Methods for integrated assessment. *Regional Environmental Change*, 2(2), 57–65. <https://doi.org/10.1007/s101130100027>
- INFOGAS. (2019). Estadísticas. Recuperado de <http://infogas.com.pe/estadisticas/>
- Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas. (2016). Registro de Cáncer de Lima Metropolitana. Incidencia y Mortalidad 2010-2012 (Volumen V). Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/3774.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. (2021). Informe Técnico: Evolución de la Pobreza Monetaria 2010-2020. 47–61. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/media/Men>
- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy. En 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy (Vol. 2). https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2006.00937_1.x
- MINAM-Chile. (2013). Guía metodológica para la elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire.
- MINAM. (2014). Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú. Recuperado de http://www.bosques.gob.pe/archivo/libro_carbono.pdf
- MINAM, M. del A. (2019). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del año 2014 y actualización de las estimaciones de los años 2000, 2005, 2010 y 2012. 317. Recuperado de <http://infocarbono.minam.gob.pe/anniosinventarios-nacionales-gei/ingei-2014/>
- MINEM. (2006). Plan Referencial de Electricidad 2006-2015.
- MINSA. (2014). Carga de Enfermedad en el Perú. Estimación de los años de vida saludable perdidos 2012. Lima.
- MINSA. (2017). Estadísticas de Salud. Recuperado de <http://www.minsa.gob.pe/reunis/index.asp?op=5>
- Miranda, J. J. (2006). Impacto económico en la salud por contaminación del aire en Lima Metropolitana. Instituto de Estudios Peruanos. Lima, Perú, 1–38

Natalie Rona

Creación y Desarrollo

nrona@libelula.com.pe

Ivan Rodriguez

Creación y Desarrollo

irodriguez@libelula.com.pe

Flor Quispe

Creación y Desarrollo

fquispe@libelula.com.pe

Víctor Sánchez

Sub-Gerente de Sostenibilidad Empresarial

vsanchez@libelula.com.pe

www.libelula.com.pe

Súmate a la comunidad:

Facebook: [/LibelulaComunidad](https://www.facebook.com/LibelulaComunidad)

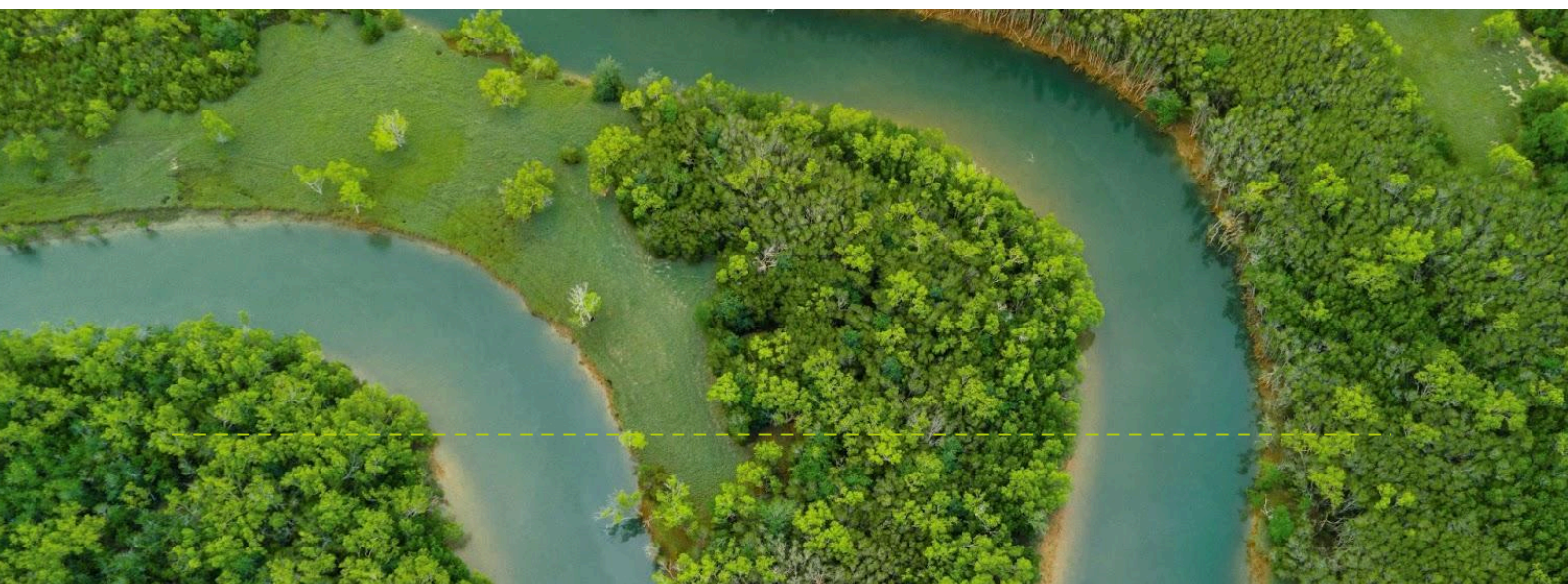
X: [/LibelulaPeru](https://twitter.com/LibelulaPeru)

LinkedIn: [/libelula](https://www.linkedin.com/company/libelula)

Instagram: [/libelulacomunidad](https://www.instagram.com/libelulacomunidad)

Boletín: [Suscríbete](#)

Conoce
nuestros
servicios:



Anexos

Anexo 1: Relación entre los gases de combustión y el cambio climático

Tabla A1-1. Relación entre los gases de combustión y las emisiones de gases de efecto invernadero

Contaminantes	Factores asociados
Monóxido de carbono (CO)	<p>El CO es un subproducto de la combustión incompleta de combustibles fósiles, incluido el diesel. Si bien el CO no contribuye directamente al calentamiento global, su presencia en la atmósfera puede aumentar la formación de otros gases como el dióxido de carbono (CO₂), ozono troposférico (O₃) y metano (CH₄), que sí son gases de efecto invernadero.</p> <p>I. La formación de dióxido de carbono a partir de monóxido de carbono se puede representar mediante la siguiente ecuación química:</p> $2 \text{ CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ CO}_2$ <p>Esta ecuación indica la oxidación de la molécula de monóxido, es decir que dos moléculas de monóxido de carbono (CO) y una molécula de oxígeno (O₂) reaccionan para producir dos moléculas de dióxido de carbono (CO₂). Esta reacción puede ocurrir naturalmente en la atmósfera o como resultado de procesos industriales como la combustión de combustibles fósiles (EPA, s.f.).</p> <p>II. La formación de ozono a partir de monóxido de carbono se puede representar mediante la siguiente ecuación química:</p> $2 \text{ CO} + \text{O}_2 + \text{luz ultravioleta} \rightarrow 2 \text{ CO}_2 + \text{O}_3$ <p>Esta ecuación indica que dos moléculas de monóxido de carbono (CO) y una molécula de oxígeno (O₂), junto con la energía de la luz ultravioleta, reaccionan para producir dos moléculas de dióxido de carbono CO₂ y una molécula de ozono O₃ (IDEAM, s.f.).</p> <p>III. La formación de metano a partir de monóxido de carbono se puede representar mediante la siguiente ecuación química:</p> $\text{CO} + 3 \text{ H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ <p>Esta ecuación indica que una molécula de monóxido de carbono (CO) y tres moléculas de hidrógeno (H₂) reaccionan para producir una molécula de metano (CH₄) y una molécula de agua (H₂O). Esta reacción puede tener lugar en procesos naturales, como la fermentación anaeróbica en los pantanos, así como en una variedad de procesos industriales (Southern California Gas Company, s.f.).</p>

Contaminantes	Factores asociados
<p>Óxidos de nitrógeno (NO_x)</p>	<p>El ozono troposférico, un contaminante secundario, constituye el componente principal de los oxidantes fotoquímicos y desempeña un papel destacado en la composición del smog urbano. Su origen se encuentra en la emisión de dióxido de nitrógeno (NO₂) y hidrocarburos, identificados como los "precursores" clave en la formación del ozono. Estos compuestos reaccionan bajo la influencia de la luz solar y el calor, dando lugar al proceso de generación de ozono en la atmósfera.</p> $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2 \quad (1)$ <p>Durante las horas de luz diurnas, el NO₂ sufre un proceso de reconversión a NO, como resultado de la fotólisis, permitiéndose en igual manera la generación de O₃, tal y como se observa en las ecuaciones 2 y 3 (Galán y Fernández, 2006):</p> $\text{NO}_2 + \text{radiación} \rightarrow \text{NO} + \text{O}^* \quad (2)$ $\text{O}^* + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 \quad (3)$ <p>donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - O* oxígeno atómico - M corresponde con una tercera molécula (nitrógeno molecular, N₂, oxígeno molecular, O₂)
<p>Dióxido de azufre (SO₂)</p>	<p>Es un gas generado por la quema de combustibles fósiles que contienen azufre, como el diésel y el carbón. El SO₂ no es un gas de efecto invernadero, pero puede contribuir al enfriamiento atmosférico a corto plazo al reflejar la radiación solar de vuelta al espacio. Además, las emisiones de dióxido de azufre también pueden tener efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, como la lluvia ácida y la formación de partículas finas.</p>

Fuente: Libélula Comunicación Ambiente y Desarrollo en base a IPCC (2007), 2023.

Anexo 2: Proyección de generación eléctrica 2023-2030

La generación de energía en el Perú es un mercado dinámico que se suministra de diferentes fuentes de energía. En el mercado eléctrico peruano, la generación es libre y se basa en la competencia. Las decisiones de expansión de la generación son tomadas por los agentes involucrados buscando mejorar la eficiencia económica de dicho mercado (MINEM, 2006). En ese sentido, en la Tabla A2-1 se observa la información bibliográfica revisada para la proyección de la generación eléctrica de los siguientes años.

Tabla A2-1. Fuentes de información revisadas para la proyección de la producción de energía

N°	Título	Entidad	Año	Comentarios
1	Estudio de Demanda de Gas Natural en el Perú al 2040	Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía	2023	Se cuenta con la capacidad instalada del parque de generación proyectado hasta el 2040 (MW), sin embargo, la participación de Diesel, Residual y Carbón es negativa para los años 2023 (solo Carbón), 2030 y 2032 (Residual y Diesel). Asimismo no se cuenta con la distribución para Diesel, Residual y Carbón en los años 2023-2030.
2	Informe de Diagnóstico de las condiciones operativas del SEIN Periodo 2025 - 2034	Comité de Operación Económica del Sistema (COES)	2023	El despacho anual de generación del SEIN 2025-2028 de Diesel, Residual y Carbón será nula.
3	Plan Operativo de Largo Plazo del SEIN (POLP) Periodo 2023 - 2025	Comité de Operación Económica del Sistema (COES)	2021	El despacho anual de generación del SEIN 2023-2025 de Diesel y Residual será de menor participación que otras fuentes y para Carbón será nula.
4	Proyecciones de la Matriz Energética al Largo Plazo	CEPLAN	2011	Expresa la demanda de <u>energía final</u> por tipo de escenario (I, II y III). Al tratarse de energía final considera a la electricidad como un subitem y no tiene los valores desagregados por tipo de fuente energética, lo cual complica el análisis de proyección.
5	ESTUDIO PROSPECTIVO DEL GAS NATURAL. PERÚ, 2030	OSINERGMIN	2010	Considera la Evolución de la Matriz Energética al 2030 a nivel nacional en base a una encuesta Delphi desarrollada en 2007 por la universidad ESAN.
6	CONSULTORÍA PARA DETERMINAR LA COMPLEJIDAD	Universidad ESAN	2007	Desarrolla una encuesta Delphi con 279 participantes para elaborar la Evolución de la

N°	Título	Entidad	Año	Comentarios
	Y PROSPECTIVA DEL GAS NATURAL ESTUDIO DE ESCENARIOS	OSINERGMIN		matriz energética en MBTU al 2030. Estos valores son cercanos al comportamiento real y por ende son considerados en la proyección de la matriz energética.

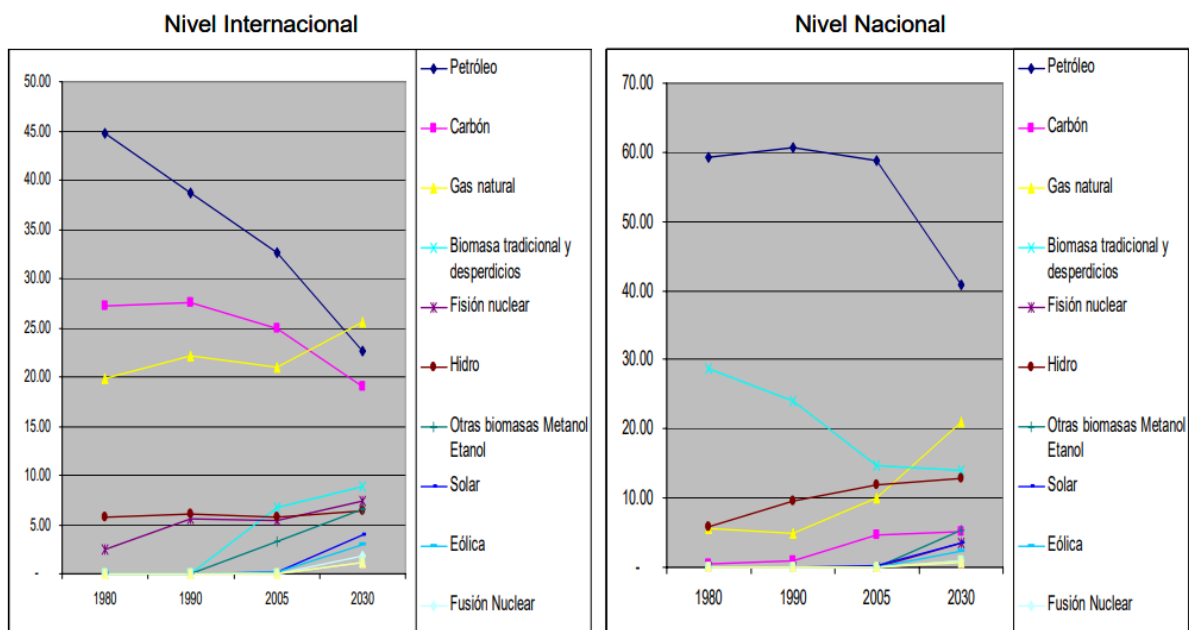
Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Otras fuentes revisadas:

- Perú: proyecciones macroeconómicas al 2030 - CEPLAN, 2019
- Evolución de la Pobreza Monetaria 2011-2022: Informe Técnico - INEI, 2023
- Evolución del Gasto e Ingreso - INEI 2007
- Carga de enfermedad en el Perú: Estimación de los años de vida saludables perdidos, 2019 - MINSA, 2023
- Análisis de la situación del Cáncer en el Perú, 2018 - MINSA, 2022

De la información revisada, se tomaron los datos de la Evolución de la Matriz Energética al 2030 obtenida a través de una encuesta DELPHI a 279 participantes en la cual se obtiene la proyección de los diferentes tipos de fuentes energéticas (Ver Figura A2-1).

Figura A2-1. Evolución de la matriz energética en MBT



Fuente: Salvador, 2010.

Del gráfico anterior, se obtiene el crecimiento anual promedio de la hidroenergía, diesel, biomasa tradicional y desperdicios, energía solar, eólica y gas natural como se aprecia en la Tabla A2-2. Respecto al porcentaje de crecimiento del Carbón y Residual se procedió a estimar el crecimiento en base a datos históricos de los últimos 10 años (Ver Tabla A2-3).

Tabla A2-2. Crecimiento anual promedio por tipo de fuente energética

Evolución de la matriz energética en MBTU	1980	1990	2005	2030	Crecimiento anual promedio
Hidro	6	9	11.50	13.00	0.52%
Diesel	59	60.5	58.5	40.5	-1.23%
Biomasa tradicional y desperdicios	28.5	24	15	14	-0.27%
Solar	0	0	1	3.5	10.00%
Eólica	0	0	0.5	3	20.00%
Gas Natural	6	4.75	10	22	4.80%

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

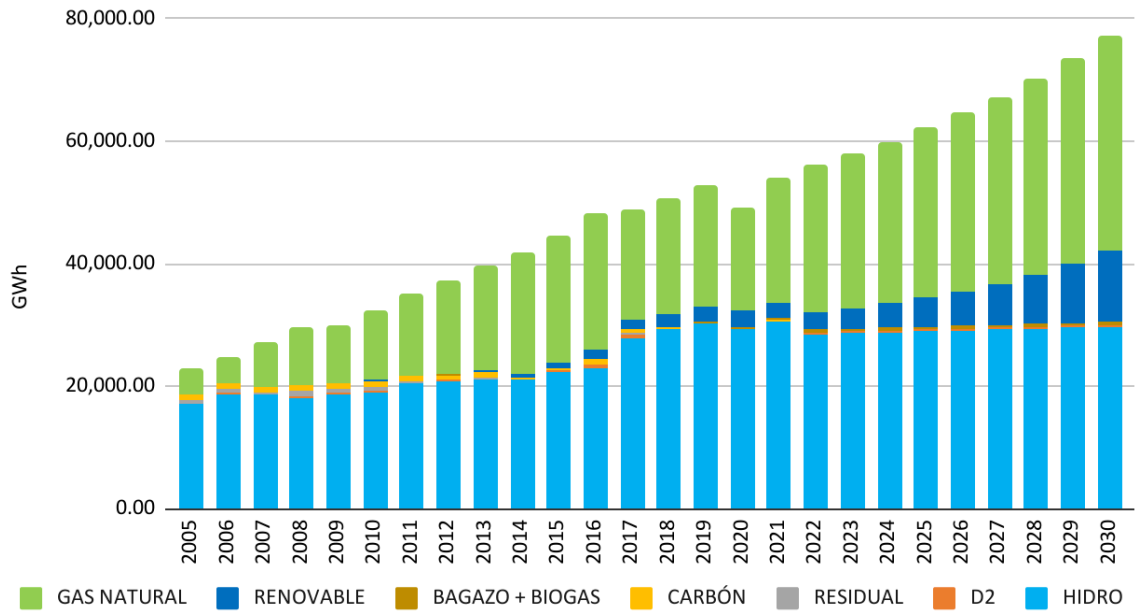
Tabla A2-3. Crecimiento anual promedio por tipo de fuente residencial y carbón

Evolución de la matriz energética en GWh	2012	2022	Crecimiento anual promedio
Residual	124.90	10.01	-9.20%
Carbón	555.50	89.69	-8.39%

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

De manera general, con los datos de la Evolución de la matriz energética en MBT al 2030 se obtuvo el Crecimiento anual promedio por tipo de fuente energética para elaborar la Matriz energética proyectada 2023 - 2030 (Ver Figura A2-2).

Figura A2-2. Producción de energía en el periodo 2005-2030 (GWh)



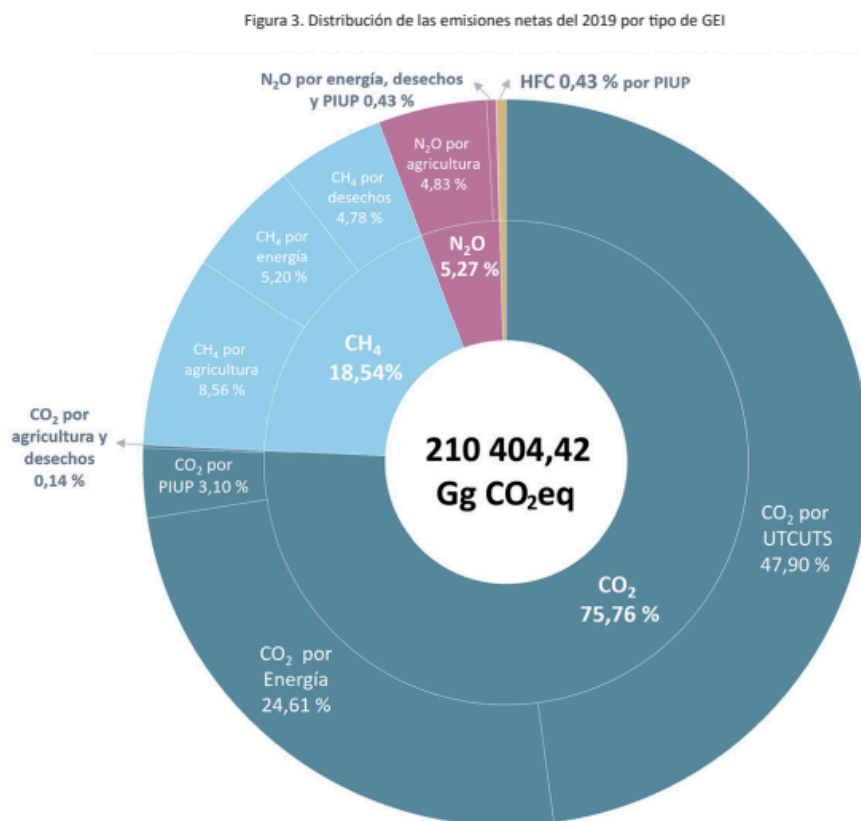
Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.

Anexo 3: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2000-2019

De acuerdo con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, en el año 2019 el país registró emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI) que alcanzaron un total de 210,404.42 gigagramos de dióxido de carbono equivalente (Gg CO₂ eq). Estas emisiones se reparten en 5 sectores principales como: Energía, Procesos Industriales y Uso de Productos (PIUP), Agricultura, Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (UTCUTS) y Desechos.

Dentro del total de emisiones, observamos que el sector Energía es el segundo sector que aporta más emisiones de GEI con 63,238.17 Gg CO₂eq (63,238,170.00 toneladas) que representa el 30.06 % de las emisiones netas del país (Ver Figura A3-1).

Figura A3-1. Producción de energía en el periodo 2005-2030 (GWh)



Fuente: INGEI, 2023.

Al comparar el valor de las emisiones nacionales de energía con las emisiones evitadas de los escenarios armados se tiene una posible reducción del 8.70% del año 2019 respectivamente (Ver Tabla A3-1). Considerando que son valores hipotéticos con los supuestos empleados en el armado de escenarios.

Tabla A3-1. Comparación de emisiones evitadas con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero

Escenarios	2019	CO2 por energía a nivel nacional 2019 (tCO2eq)	% de reducción
Emisiones totales - con GN	17,173,251.36	63,238,170.00	8.61%
Emisiones totales - sin GN	22,617,053.65		
Diferencia	5,443,802.29		

Fuente: Libélula Gestión en Cambio Climático y Comunicación, 2024.