

Metodologías para la estimación de emisiones y monitoreo de gases atmosféricos en el sector carbón



Metodologías para la estimación de emisiones y monitoreo de gases atmosféricos en el sector carbón

Corporación para el Desarrollo de Políticas Energéticas para las Transiciones Justas, POLEN Transiciones Justas

Bogotá – Colombia Julio 2024

www.polentj.org

Autora:

Blanco Karen

 <https://orcid.org/0009-0008-6881-9086>

Revisoras/es:

Pedraza Jenniffer (SEI)

 <https://orcid.org/0000-0001-5315-8651>

Madrid Orlando

 <https://orcid.org/0009-0009-8647-1076>

Vega Mateo

 <https://orcid.org/0000-0002-2823-8024>

Huertas Bolaños María Elena

 <https://orcid.org/0000-0001-7278-5562>

Diseño y diagramación:

Juan Sebastian Céspedes Carrillo

Con apoyo de:



Las opiniones o posiciones expresadas en este documento no comprometen ni necesariamente representan el pensamiento de la Fundación Heinrich Böll – Oficina Bogotá, Colombia.

Agradecimientos:

Agradecemos la disposición de diferentes entidades, como el Ministerio de Minas y Energía, el Servicio Geológico Colombiano, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Fundación Natura, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Universidad Nacional de Colombia, que permitieron resolver dudas y aportar información de gran utilidad para la consolidación de este documento.

Cítese como:

POLEN Transiciones Justas (2024). Metodologías para la estimación de emisiones y monitoreo de gases atmosféricos en el sector carbón.



Esta es una obra de acceso abierto distribuida bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/-deed.es>). Los usuarios pueden reproducir, distribuir, adaptar y desarrollar el contenido de la obra original, conforme a los términos de la licencia mencionada. POLEN Transiciones Justas debe ser claramente reconocido como titular de la obra original. Los usuarios no están autorizados a reproducir el logo de POLEN Transiciones Justas en sus obras.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	8
2. MARCO NORMATIVO	12
2.1. Instancias internacionales vinculantes	12
2.2. Desarrollo normativo nacional aplicable	13
2.1.1 Ley de Acción Climática (Ley 2169 de 2021)	14
2.1.2 Reporte obligatorio de emisiones de GEI (ROE)	14
2.1.3 Registro Nacional de Reducción de las Emisiones y Remoción de Gases de Efecto Invernadero (RENARE)	15
2.1.4 Responsabilidades del sector Minas y Energía dentro de la Ley de Acción Climática	15
2.1.5 Sentencia (2da instancia) ante Acción de Cumplimiento por obligaciones climáticas	16
2.1.6 Licenciamiento ambiental para la minería de carbón	18
2.1.7 Estrategia nacional para la mitigación de contaminantes climáticos de vida corta – ENCCVC 16	19
3. SECTOR DEL CARBÓN EN COLOMBIA	20
3.1. Emisiones del sector carbón en Colombia	22
3.1. Necesidad de contabilizar las emisiones de GEI del sector carbón	25
4. ESTIMACIÓN DE EMISIONES GEI DEL SECTOR CARBÓN EN COLOMBIA	26
4.1. Metodología para estimación de emisiones a nivel Nacional	28
4.1.1 Guías IPCC	28
4.1.2 Inventario Nacional de Emisiones (INGEI)	36
4.1.3 El inventario del sistema de monitoreo, reporte y verificación del sector minero energético (MRVme)	41
4.1.4 Estimación de emisiones de carbono negro en Colombia	43
4.2 Metodologías de inventarios corporativos	45
4.2.1 Norma ISO 14064-1:2018	45
4.2.2 Otras guías o protocolos	48
5. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN ESTIMACIÓN DE EMISIONES GEI	51
5.1. Revisión de documentos científicos y estudios puntuales de estimación de emisiones	52
5.2. Revisión de informes de inventarios nacionales GEI	60
5.3. Iniciativas internacionales	63
6. IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO	64
6.1 Oportunidades de mejora mencionadas en el ciclo BUR3	65
6.2 Recomendaciones por parte de este estudio	67
7. REFERENCIAS	72

Índice de figuras

Figura 1. Flujograma de normas sobre cambio climático en Colombia	13
Figura 2. Distribución departamental de extracción de carbón para el año 2018	21
Figura 3. Uso interno de carbón año 2021	21
Figura 4. Esquema de generación de emisiones en la cadena productiva del carbón.	22
Figura 5. Emisiones históricas para las diferentes actividades de la cadena productiva del carbón en Colombia.	23
Figura 6. Comparación de emisiones de CO ₂ eq generadas en Colombia con otros países en donde: (A) Emisiones por generación de electricidad (Termoeléctricas) por miles de habitantes, (B) Industrias manufactureras y de construcción por miles de habitantes, (C) Emisiones de fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas por megatonelada de carbón extraído y (D) Emisiones fugitivas de minería de carbón por megatonelada de carbón extraído	25
Figura 7. Subcategorías del IPCC que cuantifican emisiones del sector carbón en la categoría 1A (en verde las categorías que consideran emisiones de las actividades del sector carbón)	29
Figura 8. Subcategorías del IPCC que cuantifican emisiones del sector carbón la categoría 1B	31
Figura 9. Diagrama de Sankey de emisiones CO ₂ eq (Gg) por actividades de la cadena productivas del carbón y categorías IPCC. (Transporte hace referencia a los procesos de transporte dentro de la mina)	39
Figura 10. Diagrama de Sankey de emisiones por gas de efecto invernadero por actividades de la cadena productivas del carbón. (Emisiones en Gg de CO ₂ eq)	40
Figura 11. Participación en emisiones de CO ₂ eq del sector carbón en las emisiones totales generadas en Colombia para el año 2018.	40
Figura 12. Participación en cadena en el sector de energía de las emisiones fugitivas del sector minería de carbón	41
Figura 13. Emisiones del sector de minería de extracción de carbón por departamento destacados	42
Figura 14. Participación en cadena - sector de energía - emisiones CN por quema de combustible del sector minería de carbón	45
Figura 15. Etapas de metodología ISO 14046-1	46
Figura 16. Contenido del informe	48
Figura 17. Ejemplo de estimación visualización de emisiones de metano generadas con información satelital	69

Índice de tablas

Tabla 1. Reportes de Colombia sobre inventarios de gases de efecto invernadero GEI	12
Tabla 2. Apartes normativos para cumplimiento por parte del MADS, según Sentencia	16
Tabla 3. Comparación de emisiones de CO ₂ eq entre diferentes países para las actividades de la cadena productiva del carbón	23
Tabla 4. Correspondencia de actividades de la cadena productiva de carbón y categorías IPCC	28
Tabla 5. Detalle de niveles metodológicos minería de carbón – combustión interna	29
Tabla 6. Detalle de niveles metodológicos minería de carbón – emisiones fugitivas	32
Tabla 7. Actores involucrados en la consolidación de inventarios de emisiones del sector de minería de carbón	36
Tabla 8. Información utilizada INGEI 1990-2018 para combustión interna	37
Tabla 9. Información utilizada INGEI 1990-2018 para emisiones fugitivas	38
Tabla 10. Emisiones por año y participación del sector de minería de extracción de carbón	43
Tabla 11. Detalle de niveles metodológicos para estimar carbono negro en minería de carbón – combustión interna	44
Tabla 12. Información utilizada para estimar carbono negro 2010-2018 para combustión interna	44
Tabla 13. Aspectos metodológicos y conclusiones del NIR para Sudáfrica, India, Australia y Chile.	61
Tabla 14. Oportunidades de mejora mencionados en el BUR3	65

Siglas, acrónimos y abreviaturas

ANLA: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
ANM: Agencia Nacional Minera
BECO: Balance Energético Colombiano
BTR: Reportes Bienales de Transparencia (por sus siglas en inglés)
BUR: Reporte Bienal de Actualización de emisiones GEI (por las siglas del inglés)
CCVC: Contaminantes climáticos de vida corta
CICC: Comisión Intersectorial de Cambio Climático
CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
CH₄: Metano
CO₂: Dióxido de carbono
CO₂eq: Dióxido de carbono equivalente
GEI: Gases de efecto invernadero
INGEI: Inventarios Nacionales de GEI
IMEO: International Methane Emissions Observatory
MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MARS: Methane Alert and Response System
MME: Ministerio de Minas y Energía
M-RAP: Methane Roadmap Action Programme
MRV: Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación
NDC: Contribución Determinada a nivel Nacional sobre reducción de emisiones de GEI
NIR: Reporte Nacional de Inventario (sus siglas en inglés)
N₂O: Óxido nitroso
OVV: Organismo de verificación y validación
RENARE: Registro Nacional de Reducción de Emisiones de GEI
ROE: Registro Obligatorio de Emisiones
SCRR – GEI: Sistema de Contabilidad de Reducción y Remoción de las Emisiones de GEI
SIAC: Sistema de Información Ambiental de Colombia
SICOM: Sistema de información de la cadena de distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo del Ministerio de Minas y Energía
SIMCO: Sistema de Información Minero Colombiano
SISCLIMA: Sistema Nacional de Cambio Climático
SNICC: Sistema Nacional de información sobre Cambio Climático
UNU: United National University

1. **Introducción**

El incremento de la temperatura media de la atmósfera y la alteración de las variables climáticas en todo el planeta, amenazan con seguir acrecentando una serie de impactos negativos tanto al medio ambiente como a la misma vida humana. Al respecto, han sido documentados múltiples efectos, incluyendo algunos tangibles y evidentes en nuestra realidad territorial como los cambios en los patrones de precipitación, eventos climáticos extremos más frecuentes y graves (como sequías e inundaciones), alteraciones en los ecosistemas, pérdida de biodiversidad y amenazas para la seguridad alimentaria e hídrica; y otros efectos como el derretimiento de los casquetes polares y el aumento del nivel del mar, entre muchos otros, que si bien parecen “lejanos” sin duda terminarán impactando a todo nivel y en toda latitud. La causa detrás de esta grave amenaza para el ambiente y para la población mundial es la actividad humana, principalmente, la quema de combustibles fósiles que generan gases de efecto invernadero (GEI). Cuando se queman combustibles fósiles como el carbón, el petróleo (o sus derivados) y el gas natural para obtener energía para la generación eléctrica, la industria, la movilidad u otros, se libera dióxido de carbono (CO_2) y otros gases que fuerzan el efecto invernadero global y aumentan la retención de calor en la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global y al cambio climático.

Para abordar esta problemática, es fundamental reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que implica la transición energética justa hacia fuentes de energía renovables, así como la implementación de medidas de eficiencia energética y cambios en los patrones de consumo y producción. En concreto, se necesita abordar una transición energética que elimine de manera progresiva y justa la dependencia de combustibles fósiles. Aquí cobra especial relevancia la eliminación de la quema de carbón al ser el combustible con mayores emisiones de GEI, especialmente en el sector de generación eléctrica (categoría 1A1a según estructura del IPCC) cuyas emisiones de CO_2 equivalente (CO_2eq) representan el 45% en promedio, de la serie temporal 1990 a 2018 (IDEAM et al., 2021), dentro de las Industrias de la energía (categoría 1A1 según estructura del IPCC). De acuerdo con Welsby et al. (2021), el 90% del carbón se debe mantener bajo tierra para permanecer dentro del presupuesto de carbono para no exceder la temperatura de 1.5 °C. Las Naciones Unidas sugieren que para el 2040 los países deberían estar cerca a la eliminación total de la extracción de carbón (UNEP, 2023).

La problemática del carbón no solo pasa por su contribución significativa al cambio climático, sino también, debido a su combustión, son emitidos contaminantes atmosféricos nocivos, como el dióxido de azufre (SO_2), los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2), el material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) y el carbono negro, este último también actúa como forzador climático al tener gran potencial de absorber la radiación solar; estos contaminantes recurrentemente están asociados con afectaciones a la salud como problemas respiratorios y cardiovasculares, así como enfermedades pulmonares en la población (Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2020). Ahondando en los impactos ambientales de la cadena del carbón, se identifican entre otros, la ocupación del territorio (generación de movimientos en masa, activación de procesos erosivos, conflictos por cambios de uso del suelo, modificación del paisaje), afectación de la calidad del agua y del aire, la afectación de la biodiversidad y los ecosistemas, además de los impactos sociales. Cuando estos impactos no se gestionan adecuadamente, tienden a convertirse en pasivos ambientales, que a través del tiempo generan un deterioro progresivo y representan un riesgo en la calidad de vida de las personas y en el medio ambiente.

En este sentido, mantener el carbón bajo tierra es una estrategia necesaria para reducir tanto los impactos climáticos como los impactos en la salud humana y la biodiversidad, mientras se promueve el despliegue de alternativas energéticas renovables. Colombia necesita de una definición regulatoria clara, en el marco de la transición energética justa, que vinculen la eliminación progresiva del carbón (en toda la cadena de valor desde la extracción hasta su uso), en la cual sean vinculados los pasivos sociales y ambientales y los impactos a perpetuidad, al igual que un marco de responsabilidad para su correspondiente gestión, manejo y control (POLEN Transiciones Justas, 2023).

Colombia viene apostando a la transición energética y la descarbonización a través de la vinculación con diversas alianzas y compromisos internacionales, lo cual permite contar con metas de reducción de GEI, la atracción de recursos de financiación, al igual que acompañamiento técnico e intercambio de experiencias con otros países. De acuerdo con la Contribución Determinada a nivel Nacional sobre reducción de emisiones de GEI (NDC) actualizada en 2020, Colombia reducirá sus emisiones de GEI en un 51% respecto a la proyección de emisiones en 2030 en el escenario de referencia (Gobierno de Colombia, 2020), adicionalmente, el Estado se ha vinculado a: i) la Alianza para el Retiro Progresivo del Carbón, (PPCA por las siglas del inglés *Powering Past Coal Alliance*), en agosto de 2023, en donde declara abandonar progresivamente el uso del carbón en la generación eléctrica sin abatimiento (generación que no cuenten con sistemas de captura y almacenamiento del CO₂ emitido); ii) en el marco de la COP28, Colombia anunció el apoyo oficial al Tratado de No Proliferación de Combustibles Fósiles, convirtiéndose así, en el primer país latinoamericano que lidera esta propuesta y avanzar en la cooperación internacional para salir de la dependencia de las fósiles; iii) en noviembre de 2021, en COP26 en Glasgow, Colombia entro a ser parte de los 150 países que apoyan las metas del Compromiso Global de Metano (Global Methane Pledge) para reducir el 30% de las emisiones de metano al 2030, con respecto al 2020, que es la forma más rápida y costo-efectiva de ayudar a frenar el calentamiento global en el corto plazo; iv) En agosto de 2023, el Ministerio de Minas y Energía oficializó la vinculación de Colombia a la "Alianza Más Allá del Petróleo y el Gas" (BOGA por sus siglas en inglés) en la categoría de amigo de BOGA, la cual es una alianza de actores internacionales que trabaja por el avance de la transición energética a través de fuentes renovables y la reducción gradual de la dependencia de los hidrocarburos. Esta plataforma es co-presidida por los gobiernos de Dinamarca y Costa Rica y brinda la oportunidad de acceder a importantes recursos técnicos y financieros para la Transición Energética Justa.

Como paso fundamental para dar cumplimiento a los compromisos del Acuerdo de París y derivado del contexto descrito, se identifica la clara necesidad de establecer una adecuada contabilización de emisiones de GEI del sector carbón, lo cual implica definir y adoptar una metodología para la elaboración de inventarios a nivel nacional y a su vez metodología para la elaboración de inventarios a nivel corporativo. Esto también para dar alcance a los lineamientos de la acción de cumplimiento (Sentencia 25000-23-41-000-2023-00614-01) que surge como recurso ante la ausencia de medidas orientadas al sector carbón en particular; además, la adopción de metodologías estándar para estimación de GEI, aspecto fundamental para la estructuración definitiva, puesta en marcha y éxito del Reporte Obligatorio de Emisiones (ROE).

Este documento busca constituir una serie de recomendaciones para fortalecer la estimación de emisiones GEI para el sector del carbón en Colombia, además de aportar información técnica valiosa en el marco del cumplimiento de la Sentencia arriba citada, en la que ordena al MADS y otros, adoptar, en el plazo de un año, medidas concretas de mitigación y adaptación a la crisis climática para cumplir así parte de los compromisos climáticos del país, particularmente para el sector carbón. En este sentido se presentará un recuento de diferentes aspectos asociados al sector carbón, incluyendo el marco normativo nacional aplicable, las generalidades del sector en el país, las metodologías de estimación de emisiones de GEI implementadas a nivel Nacional y empresarial, así como un repaso por experiencias internacionales sobre avances métodos de estimación de emisiones. De igual forma, este reporte integra las apreciaciones, necesidades y comentarios de diferentes actores del sector con los que se tuvo la oportunidad en reuniones específicas como son: el Ministerio de Minas y Energía (MME), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Universidad Nacional de Colombia, Servicio Geológico Colombiano (SGC), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), International Methane Emissions Observatory (IMEO), entre otros.

_____ 2.

Marco normativo

2.1 Instancias internacionales vinculantes

En la Conferencia de las Partes sobre cambio climático, llevada a cabo en Reino Unido en 2021 (COP 26), los países participantes, entre estos Colombia, ratificaron la gran relevancia de limitar el aumento de la temperatura media de la Tierra en 1.5 grados centígrados y de reducir para 2030, casi a la mitad, las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI). Actuando de manera consecuente, Colombia actualizó sus compromisos nacionales de mediano plazo para la reducción de emisiones GEI estableciendo en el documento de la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC por sus siglas en inglés), la meta al año 2030 de reducir el 51% de las emisiones GEI que incluyen CO₂, NO₂ y CH₄, siendo este último emitido de forma relevante por el sector carbón. De igual forma también se estableció el objetivo de reducir las emisiones de carbono negro del 40% respecto al nivel de 2014 (Gobierno de Colombia, 2020). Complementariamente promulgó como objetivo de su Estrategia Climática de Largo Plazo E2050, la carbono neutralidad del país para mediados de siglo (2050).

Naturalmente, para lograr realizar seguimiento efectivo al avance en cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia, para el país es prioritario contar con información periódica y transparente sobre la estimación de sus emisiones GEI, que sea accesible con facilidad y que sirva de base para la toma de decisiones a todo nivel con suficiente fundamento técnico.

Desde la ratificación por parte de Colombia en el año 1994, de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), se iniciaron los procesos nacionales para reporte de la acción climática desarrollada, teniendo como primer logro la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático en el año 2001, con una segunda comunicación para el año 2010 y una tercera para el año 2016. Complementariamente, el país ha venido desarrollando sus Informes Bienales de Actualización (IBA o BUR por sus siglas en inglés), entregando a la CMNUCC en 2015 su primer BUR, el cual reportaba inventario de emisiones GEI (INGEI) del país para los años 2010 a 2014, el segundo BUR reportó resultados del INGEI para los años 2013 y 2014 y el tercer BUR reportó resultados del INGEI para los años 2015 a 2018 además de una actualización del INGEI, de los años 1990 a 2014 y también incluye por primera vez los resultados del Inventario de Carbono Negro de los años 2010 a 2018 (Tabla 1) como lo muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Reportes de Colombia sobre inventarios de gases de efecto invernadero GEI

Reporte	Año de envío a la CMNUCC	Años del INGEI presentado
Primera Comunicación Nacional	2001	1990 y 1994
Segunda Comunicación Nacional	2010	2000 y 2004
Primer Informe Bienal de actualización (BUR1)	2015	2010 y 2012 y actualización de 1990, 1994, 2000 y 2004
Tercera Comunicación Nacional	2017	Inventarios anuales para la serie de tiempo de 1990 a 2012, incluyendo actualización de los 6 inventarios presentados previamente.
Segundo Informe Bienal de Actualización (BUR2)	2019	INGEI de los años 2013 y 2014 y una actualización de la serie 1990 a 2012 presentado en la Tercera Comunicación Nacional (TCN).
Tercer Informe Bienal de Actualización (BUR3)	2021	INGEI de los años 2015 a 2018 y una actualización de la serie 1990 a 2014 presentada en BUR2 e inventario BC de los años 2010 a 2018

Fuente: Este estudio a partir de IDEAM 2022

Por otra parte, en el marco de los convenios alcanzados en el Acuerdo de París, los países adscritos, como Colombia, han adquirido nuevos compromisos de reporte y serán incluidos los Informes Bienales de Transparencia (BTR, por sus siglas en inglés), donde se destaca la obligación de: presentar el INGEI completo; reportar el proceso de preparación del inventario con prácticas de aseguramiento y control de calidad (QA y QC como sigla del vocablo en inglés) y los procesos de aprobación del inventario; la identificación de categorías principales, usar niveles metodológicos superiores donde sea posible, y presentar incertidumbre; incluir el reporte de HFCs, PFCs, SF6 y NF3 y aquellos incluidos en NDC o reportados previamente; además también se presenta detalle de los avances en mitigación de emisiones GEI conforme a compromisos promulgados. Actualmente, el país se encuentra elaborando el BUR número 4, al igual que el primer informe bienal de transparencia (BTR, por sus siglas en inglés), cuya primera entrega se dará a más tardar a finales del mes de diciembre de 2024 según lo informado por el IDEAM.

2.2. Desarrollo normativo nacional aplicable

Colombia dispone de un amplio marco normativo para el cambio climático (Figura 1), el cual parte de la ratificación de la adopción de la CMNUCC y del Protocolo de Kioto mediante la Ley 164 de 1994 y la Ley 629 de 2000 respectivamente.

Seguidamente el país aborda el enfoque de comercio de servicios de mitigación de gases de efecto invernadero con la respectiva reglamentación de proyectos para tal efecto y de manera paralela se define la estructura institucional a cargo del seguimiento y gestión del cambio climático. Posteriormente, con el Decreto 298 de 2016 se creó el Sistema Nacional de Cambio Climático, conocido como SISCLIMA. Más tarde, en 2018, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) desarrolló la Política Nacional de Cambio Climático, la cual establece como línea estratégica la generación de información sobre cambio climático y propone crear el Sistema Nacional de información sobre Cambio Climático (SNICC) para que este acoja los estándares de información que defina el Comité de Información de la Comisión Intersectorial de Cambio Climático (CICC).

Con la aprobación de la Ley 1931 de 2018 también llamada ley de Cambio Climático, el MADS publicó la Resolución 1447 de 2018, donde se reglamenta y caracteriza el Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) de las acciones de mitigación a nivel nacional. El sistema MRV, a su vez, contiene los sistemas de Contabilidad de Reducción y Remoción de las Emisiones de GEI (SCRR – GEI), el Registro Nacional de Reducción de Emisiones de GEI (RENARE) y el Registro Obligatorio de Emisiones (ROE). Adicionalmente, el MADS en conjunto con otras instituciones, presentaron la formulación conceptual del sistema MRV de Colombia, identificando los objetivos de un sistema MRV en Colombia, sus componentes, y el manejo de la información necesario para la elaboración de los reportes. En el siguiente diagrama se realiza recuento de toda la normativa colombiana asociada al cambio climático.



Figura 1. Flujograma de normas sobre cambio climático en Colombia
Fuente: Este estudio

2.1.1 Ley de Acción Climática (Ley 2169 de 2021)

Como el más reciente eslabón de la cadena normativa sobre cambio climático en el país debe resaltarse lo establecido en la Ley 2169 de 2021, la cual tiene por objeto establecer metas y medidas mínimas para alcanzar la carbono neutralidad, la resiliencia climática y el desarrollo bajo en carbono en el país en el corto, mediano y largo plazo, en el marco de los compromisos internacionales asumidos por el país sobre la materia. Esta Ley prevé metas y medidas de la siguiente forma:

Metas para:

- i. Mitigación de emisiones GEI
- ii. Adaptación al cambio climático
- iii. Medios de implementación

Medidas para:

- i. Logro de metas de mitigación
- ii. promoción y desarrollo de los mercados de carbono

Es importante entender que establecer metas y medidas no necesariamente genera cumplimiento, por lo que es un acierto que la Ley de acción climática, en su artículo 23 ordene la creación del Plan de implementación y seguimiento para el desarrollo bajo en carbono, la carbono neutralidad y la resiliencia climática del país, como instrumento para realizar seguimiento y cumplir el total de las metas y medidas establecidas en la Contribución Nacional ante la CMNUCC (NDC). Además, esta ley dicta disposiciones adicionales que contribuyen a operativizar temas específicos con alto potencial de reducción (o absorción) de emisiones tales como la conservación de áreas, control de deforestación y el transporte, entre otras disposiciones de apoyo.

Complementariamente, las medidas para la promoción y desarrollo de los mercados de carbono son las llamadas a dinamizar y regular el desarrollo de acciones con fines comerciales, tendientes a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en el país. Dentro de estas medidas son fundamentales el RENARE y el ROE, como se detalla a continuación.

2.1.2 Reporte obligatorio de emisiones de GEI (ROE).

Es una herramienta para el seguimiento y evaluación de instrumentos de política en cambio climático, la cual busca recopilar información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de manera homogénea, estructurada y organizada, promoviendo la transparencia en cuanto a emisiones GEI en el país. Operará mediante una plataforma y será parte del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), conforme al artículo 16 de la ley de acción climática. Las personas jurídicas, públicas, privadas o mixtas, teniendo en cuenta los criterios que defina el MADS, considerando, entre otros, el nivel de emisiones de GEI y el tamaño de las empresas, deberán reportar de forma obligatoria sus emisiones directas e indirectas de GEI y la información y documentación para la elaboración de inventarios de GEI. Así mismo, el MADS determinará las metodologías para el cálculo de las emisiones directas e indirectas que deberán ser reportadas, así como los métodos, instrumentos, procesos y periodicidad del reporte de las emisiones de GEI y la información y documentación para la elaboración de inventarios de GEI. La información que se incluya en el ROE permitirá la generación de informes de acuerdo con la reglamentación que se expida para tal efecto.

Actualmente el MADS en fase de alistamiento trabaja en la estructuración técnica para la reglamentación general del ROE, previo al desarrollo y pruebas para la entrada en operación de la plataforma ROE lo cual deberá realizarse de manera gradual, no sin antes abordar la socialización de procedimientos a diferentes tipos de actores.

2.1.3 Registro Nacional de Reducción de las Emisiones y Remoción de Gases de Efecto Invernadero (RENARE)

Creado originalmente mediante el artículo 175 de la Ley 1753 de 2015, modificado por el artículo 17 de la Ley 2169 de 2021, es un instrumento para la gestión de las iniciativas de mitigación de GEI a nivel nacional, que pretenden optar a pagos por resultados o compensaciones, que contribuyen al cumplimiento de las metas nacionales de cambio climático establecidas bajo la CMNUCC.

El RENARE es administrado bajo una plataforma que lleva el mismo nombre, y que integra cuatro fases de registro (factibilidad, formulación, implementación y cierre) a través de las cuales se hace seguimiento a los diferentes tipos de iniciativas de reducción y remoción de emisiones de GEI inscritas (NAMAs, MDL, MDL-PoAs, Proyectos y Programas de Desarrollo Bajo en Carbono-PDBC, Programas y Proyectos REDD+)

Asimismo, RENARE permite generar certificación con el reporte del estado de la iniciativa de mitigación de GEI que, entre otros, sirve para propósitos como la no causación del impuesto al carbono y genera un reporte de contabilidad donde se puede ver la trazabilidad en las transacciones realizadas por cada iniciativa de mitigación de GEI.

2.1.4 Responsabilidades del sector Minas y Energía dentro de la Ley de Acción Climática

Para efectos del presente documento, es importante identificar lo aplicable para el sector Minas y Energía como sector a cargo de la minería de carbón; en este sentido y en lo que respecta a metas para adaptación (artículo 6 de la Ley 2169 de 2021), a este sector corresponde:

1. *Incorporar a 2025, en un instrumento de planificación sectorial de hidrocarburos, en uno de minería de carbón y en uno de energía eléctrica, lineamientos de cambio climático orientados al aseguramiento de las condiciones de operatividad integral bajo nuevos escenarios de demandas operativas y ambientales.*
2. *Formular a 2025 una metodología de análisis de riesgos climáticos actualizada, junto con una estrategia de actualización periódica a nivel nacional y empresarial.*
3. *Implementar a 2025 un proyecto de adaptación basado en ecosistemas para el sector eléctrico, que contribuya a que las empresas del sector aseguren el cumplimiento de sus objetivos estratégicos.*

Al sector Minas y Energía también corresponden responsabilidades en cuanto a medidas para el logro de las metas país en materia de mitigación (artículo 8 de la Ley 2169 de 2021), así:

1. *Acciones de eficiencia energética en la cadena de la energía eléctrica, hidrocarburos y minería, con metas y estrategias para la mejora energética, reducción de emisiones y cuantificación de los co-beneficios asociados.*
2. *Actividades que favorezcan la adecuada gestión de las emisiones fugitivas en la cadena de hidrocarburos, centrándose en la reducción de fugas, la recuperación de gas asociado, la implementación de medidas de eficacia de quema y la mejora de la información sobre la generación de emisiones fugitivas y medidas para su captura, recuperación y/o aprovechamiento con el fin de monitorear, controlar y reducir dichas emisiones.*
3. *Acciones para reducir la diferencia de consumo de energía eléctrica entre horas pico y valle, buscando un aplanamiento de la curva de demanda y la disminución de las emisiones del Sistema Interconectado Nacional (SIN), a través de la gestión de la generación con fuentes menos contaminantes.*
4. *La diversificación de la matriz energética nacional y la transformación de las Zonas No Interconectadas (ZNI), mediante la dinamización de la generación eléctrica y autogeneración a través de Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER), así como el aumento de la cobertura para la prestación del servicio de energía eléctrica, por medio del uso de tecnologías confiables con un menor factor de emisión o su integración al Sistema Interconectado Nacional.*
5. *Para estimular la conversión de carbón a energías más limpias, los agentes de las cadenas de energía eléctrica y gas combustible podrán viabilizar nuevos proyectos o ampliaciones que impliquen el aumento de la demanda.*

2.1.5 Sentencia (2da instancia) ante Acción de Cumplimiento por obligaciones climáticas

Si bien el gobierno nacional, mediante la Ley 1931 de 2018 estableció las directrices para la gestión del cambio climático, asignando al MADS la obligación de desarrollar instrumentos de manejo y control ambiental, metodologías para el cálculo de emisiones de GEI, así como regular las condiciones para el seguimiento, reporte y monitoreo de dichas emisiones; y mediante Ley 2169 de 2021 define medidas de acción climática para los diferentes sectores del gobierno; además de los compromisos a cargo de diferentes carteras establecidos en la actualización de la NDC de Colombia, el Consejo de Estado, ante recurso de acción de cumplimiento interpuesto por múltiples actores, evidenció el no cumplimiento de varias obligaciones en materia climática descritas en los instrumentos citados, específicamente la ausencia de medidas orientadas al sector carbón en particular. En este sentido, en octubre 12 de 2023 la Sección Quinta de la Sala de lo Contencioso Administrativo del Consejo de Estado emitió Sentencia con radicación 25000-23-41-000-2023-00614-01, en la que ordena al MADS y otros, adoptar, en el plazo de un año, medidas concretas de mitigación y adaptación a la crisis climática para cumplir así parte de los compromisos climáticos del país, particularmente para el sector carbón.

Es preciso citar que todas las pretensiones de la acción de cumplimiento se enfocan en el sector carbón y buscan el cumplimiento de obligaciones relacionadas con: Emisiones de GEI, Vulnerabilidad climática, Mitigación y adaptación al cambio climático, Modificación y verificación de instrumentos de gestión ambiental y climática ya existentes, Monitoreo y verificación de metas de mitigación y adaptación al cambio climático, estas a cargo (según competencias) del MADS, del MME y de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA).

Realizado el análisis de las pretensiones por parte del Consejo de Estado, se dio fallo en el sentido de ordenar al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el cumplimiento, en el término de un (1) año a partir de la ejecutoria de la sentencia, de lo siguiente:

Tabla 2. Apartes normativos para cumplimiento por parte del MADS, según Sentencia

Normativa	Apartes
Ley 1931 de 2018	Artículo 7 - Numeral 1. Impartir las directrices y adoptar las acciones necesarias para asegurar en el marco de sus competencias el cumplimiento de la meta de reducción de gases de efecto invernadero, concertada para cada sector en la CICC, y las metas de adaptación para lo relacionado con su sector.
	Artículo 7 - Numeral 2. Formular e implementar los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Sectoriales (PIGCCS).
	Artículo 17. Planes integrales de gestión del cambio climático sectoriales. Los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Sectoriales (PIGCCS), serán los instrumentos a través de los cuales cada Ministerio, según lo definido en el marco del SISCLIMA, identificará, evaluará y orientará la incorporación de medidas de mitigación de gases efecto invernadero y adaptación al cambio climático en las políticas y regulaciones del respectivo sector. Además, ofrecerán los lineamientos para la implementación de medidas sectoriales de adaptación y mitigación de GEI a nivel territorial relacionadas con la temática de cada sector, incluyendo, entre otras, directrices sobre el financiamiento de las medidas de mitigación de GEI y adaptaciones definidas, así como sobre Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Departamento Nacional de Planeación, teniendo en cuenta como mínimo los contenidos de la Política nacional de cambio climático, y tomando como referencia los lineamientos establecidos en los programas y demás instrumentos de planificación y gestión del cambio climático, establecerá las guías para lo relativo a la formulación, implementación, seguimiento, evaluación y articulación de los PIGCCS con los demás instrumentos de planificación del territorio y del desarrollo.

Normativa	Apartes
	PARÁGRAFO. Los planes sectoriales de adaptación al cambio climático y los planes de acción sectorial de mitigación de GEI a los que hace alusión el Artículo 170 de la ley 1753 de 2015 deberán ajustarse para convertirse en PIGCCS, según lo dispuesto en el presente artículo, lo definido en los Compromisos ante la CMNUCC y las contribuciones sectoriales. Artículo 31. Regulación de la medición de emisiones, reducciones y remociones de GEI. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible regulará las condiciones y requerimientos para la verificación, certificación y registro de las emisiones, reducciones de emisiones y remociones de gases efecto invernadero -GEI. Igualmente establecerá los procedimientos de seguimiento y control del cumplimiento de las obligaciones de respaldo de emisiones por parte de los agentes regulados. Las emisiones, reducciones de emisiones y remociones de GEI deben ser verificables por un organismo independiente de tercera parte, acreditado para este fin. del desarrollo.
Ley 2169 de 2021	Artículo 7 - Numeral 17. (metas de adaptación para el sector ambiente) Implementar las acciones requeridas para que, dentro de los doce meses siguientes a la expedición de la presente ley, los instrumentos de manejo y control ambiental de proyectos, obras o actividades incluyan consideraciones de adaptación y mitigación al cambio climático con especial énfasis en la cuantificación de las emisiones de GEI y los aportes que las medidas de compensación ambiental pueden hacer a la Contribución Nacional ante la CMNUCC. Artículo 13. (Medidas para el logro de las metas país en materia de mitigación asignadas al sector ambiente.) El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en coordinación con las autoridades ambientales y demás entidades nacionales y territoriales competentes, deberá incorporar en los instrumentos sectoriales de planificación existentes y futuros, acciones orientadas a alcanzar las metas país en materia de mitigación, así como a garantizar las condiciones habilitantes para la implementación y avance en la consolidación de las siguientes medidas mínimas: 1. Acciones orientadas a la masificación de soluciones basadas en la naturaleza en áreas boscosas y ecosistemas degradados para la conservación ecosistémica, dentro de las cuales se incluyen acciones de restauración ecológica, recuperación, rehabilitación, protección y uso sostenible de los ecosistemas y aquellas que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible considere compatibles, con énfasis en productos no maderables del bosque. Estas acciones como mínimo apuntarán a la restauración de por lo menos un millón de hectáreas acumuladas a 2030. 2. Acciones destinadas a la promoción y desarrollo de buenas prácticas y uso eficiente de los recursos boscosos mediante la sustitución de fogones tradicionales por la instalación de un millón de estufas eficientes de cocción por leña para el periodo 2021-2030. 3. Acciones que promuevan la reducción de emisiones de GEI debido al uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (HFC) con alto potencial de calentamiento global, en diversos ámbitos del uso de estas sustancias. 4. Acciones destinadas a la promoción y desarrollo de buenas prácticas y uso eficiente del recurso energético en usuarios finales de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (HFC) con alto potencial de calentamiento global. 5. Acciones destinadas a la promoción y desarrollo de buenas prácticas y uso eficiente del recurso energético en usuarios finales, incluyendo, pero sin limitarse al ascenso tecnológico en refrigeración doméstica, aire acondicionado y la masificación y promoción de distritos térmicos en Colombia, como fuentes centralizadas de energía. 6. Los institutos de investigación adscritos y vinculados al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible coordinarán el cálculo del potencial de mitigación de GEI de los ecosistemas de alta montaña; manglares y pastos marinos; humedales y arbolado urbano para las ciudades de más de 100.000 habitantes, y la contabilidad de las correspondientes emisiones de carbono reducidas o absorbidas a nivel nacional. 7. Gestionar a 2030, mediante Contratos de Conservación Natural, el manejo sostenible de dos millones quinientas mil hectáreas (2.500.000) para garantizar la estabilización de la frontera agrícola, conservar y restaurar los bosques naturales y evitar usos no compatibles del suelo como cultivos ilícitos, que incrementen la deforestación y la vulnerabilidad de los territorios al cambio climático. Esta estrategia comprende el otorgamiento del derecho al uso de la tierra y la celebración de acuerdos de conservación con familias rurales que habitan baldíos no adjudicables, tales como las Zonas de Reserva Forestal de Ley 2a de 1959.

Normativa	Apartes
	8. Acciones tendientes al desarrollo de sistemas de monitoreo y detección temprana de incendios forestales mediante el uso de tecnologías avanzadas y/o sistemas comunitarios para el suministro de información que permita la toma eficaz, eficiente y oportuna de decisiones en torno a la gestión de incendios forestales. 9. Acciones que promuevan la implementación de estrategias de economía circular y su monitoreo en términos de reducciones de GEL 10. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible teniendo en cuenta la jerarquía para la gestión de los residuos y el principio de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), definirá y reglamentará aquellos productos de consumo masivo de carácter peligroso u ordinario, que deberán estar sujetos a un Sistema de Recolección y Gestión Selectiva, así como las obligaciones a cumplir por parte de los actores involucrados, los indicadores de cumplimiento y los mecanismos de control y seguimiento ambiental parte de las autoridades ambientales. Parágrafo 1. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible adoptará una guía nacional para la formulación, desarrollo, monitoreo, reporte y evaluación de impacto de la implementación de programas y proyectos de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) que incorpore la gestión de cambio climático, la integración con el enfoque en ecosistemas, así como los aportes a la economía, los beneficios a la biodiversidad y a las comunidades humanas. El enfoque en SbN será parte fundamental del Plan Integral de Gestión de Cambio Climático del Sector Ambiente, para alcanzar el objetivo de carbono neutralidad fijado por el país a 2050. Parágrafo 2. Complementaria a la meta de instalación de estufas eficientes de cocción por leña, y en el marco de la formulación e implementación de instrumentos que impulsen el desarrollo o despliegue de tecnologías limpias y ambientalmente sostenibles de cocción, bajo el liderazgo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural se promoverá, entre otras alternativas, el uso de aglomerados de biomasa y la instalación de estufas a biogás de generación rural. Para efectos de lo dispuesto en el presente parágrafo se excluyen los aglomerados de biomasa que tengan dentro de su composición carbón mineral o vegetal. Artículo 16. Reporte obligatorio de emisiones de GEI (ROE). Las personas jurídicas, públicas, privadas o mixtas, teniendo en cuenta los criterios que defina el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, considerando, entre otros, el nivel de emisiones de GEI y el tamaño de las empresas, deberán reportar de forma obligatoria sus emisiones directas e indirectas de GEI y la información y documentación para la elaboración de inventarios de GEI. El ROE será parte del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible determinará las metodologías para el cálculo de las emisiones directas e indirectas que deberán ser reportadas, así como los métodos, instrumentos, procesos y periodicidad del reporte de las emisiones de GEI y la información y documentación para la elaboración de inventarios de GEI. La información que se incluya en el ROE será de acceso público en los términos de ley 1712 de 2014, y permitirá la generación de informes de acuerdo con la reglamentación que para tal efecto expida el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. El ROE será exigible a partir de la expedición de la presente Ley y una vez el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expida la reglamentación del presente artículo. Créase la Plataforma de Reporte Obligatorio de Emisiones de GEI que será parte del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC).

Fuente: Este estudio a partir de Sentencia Consejo de Estado radicación 25000-23-41-000-2023-00614-01

2.1.6 Licenciamiento ambiental para la minería de carbón

En cuanto a las exigencias para los proyectos de extracción de minería de carbón requeridas para su funcionamiento conforme al artículo 2.2.2.3.1.4 del Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible, Decreto 1076 de 2015, la licencia ambiental, es la autorización que otorga la autoridad ambiental competente para la ejecución de un proyecto, obra o actividad, que de acuerdo con la ley y los reglamentos, pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje; la cual sujeta al beneficiario de esta, al cumplimiento de los requisitos, términos, condiciones y obligaciones que la misma establezca en relación con la prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los efectos

ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada (MADS, 2015). Para la minería de carbón, corresponde a la ANLA otorgar o negar la licencia ambiental cuando la explotación proyectada sea mayor o igual a ochocientos mil (800.000) toneladas/año, cuando es menor a esa cifra, le corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales, a las de Desarrollo Sostenible, a los Grandes Centros Urbanos o a las autoridades ambientales creadas mediante la Ley 768 de 2002. Así mismo, las autoridades ambientales competentes establecen en los términos de referencia, los lineamientos generales para la elaboración y ejecución de los estudios de impacto ambiental que deben presentar los proyectos objeto de licenciamiento de cada sector.

Los Términos de Referencia vigentes para la elaboración del estudio de impacto ambiental (EIA) para proyectos de explotación minera (ANLA, 2016), incluyen como parte de la caracterización del área de influencia del proyecto, el desarrollo de un inventario de emisiones atmosféricas para las actividades identificadas como generadoras de emisiones (numeral 5.1.8.2) e indica la metodología de estimación a utilizar, sin embargo, no discrimina que tal estimación de emisiones corresponda solo a contaminantes criterio, lo que da cabida a la estimación de emisiones de GEI, en lo que sería fundamental la adopción de una metodología estándar de estimación como la que está en proceso para la puesta en operación del ROE.

Adicionalmente, debe citarse que el mismo Decreto 1076 en su artículo 2.2.2.3.6.2, establece como requisito adicional para solicitudes de licencia ambiental para proyectos de explotación minera de carbón (parágrafo 3), la inclusión de los estudios sobre las condiciones del modo de transporte desde el sitio de explotación de carbón hasta el puerto de embarque del mismo, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 3083 de 2007 o la norma que lo modifique o sustituya.

2.1.7 Estrategia nacional para la mitigación de contaminantes climáticos de vida corta - ENCCVC

Los contaminantes climáticos de vida corta, entre estos el carbono negro (CN) y el metano, son objeto de evaluación, seguimiento y control en razón a que tienen efectos adversos en la salud, pero también actúan como forzadores climáticos contribuyendo así al calentamiento de la atmósfera. En especial el metano, que pese a tener una vida media atmosférica mucho menor a la del dióxido de carbono (CO₂), es un GEI de gran relevancia al presentar un potencial de calentamiento global (PCG) significativamente mayor que el CO₂.

La Estrategia Nacional para la Mitigación de Contaminantes Climáticos de Vida Corta fue publicada por el MADS en 2020 y según este mismo documento su objetivo es potenciar acciones que contribuyan a la reducción de emisiones de contaminantes climáticos de vida corta en Colombia en el corto y el mediano plazo. Las acciones propuestas están encaminadas a fortalecer la gestión de información técnica para la toma de decisiones (por ejemplo, inventarios de emisiones). Para ello se considera necesario crear sinergias entre las agendas de cambio climático y calidad de aire, así como mejorar la información disponible de este tipo de contaminantes relacionada con inventarios de emisiones, evaluación de escenarios de mitigación, estimación de beneficios múltiples y monitoreo, reporte y seguimiento de los avances y emisiones mitigadas.

Los objetivos de esta estrategia están alineados con el refinamiento de las herramientas para la estimación y publicación de emisiones por parte de los sectores, lo que se torna aún más relevante al considerar el significativo aporte en emisiones CN (11%) de la producción de carbón al inventario total de estos contaminantes (CCVC).

Todos los instrumentos antes descritos (para el cumplimiento de compromisos), plantean de manera explícita o implícita la clara necesidad de establecer una adecuada contabilización de emisiones de GEI y CCVC del sector carbón. Como parte de la implementación de la mencionada estrategia, Colombia cuenta con un inventario integrado de GEI y CCVC, el cual fue publicado en el último reporte BUR. Sin embargo, esta cuantificación hace referencia a las emisiones totales nacionales y no desagrega su aporte a nivel corporativo o regional (ya que no es el alcance de dicho inventario), por lo que se hace necesario definir y adoptar una metodología para la elaboración de inventarios a nivel nacional y a su vez metodología para la elaboración de inventarios a nivel corporativo.

3.

Sector del carbón en Colombia

La cadena de productiva del carbón abarca diferentes etapas que se acotaron para fines de este documento como se presentan en la Figura 4. Esta cadena inicia con la extracción a través de la minería de superficie y minería subterránea. Ambas clases de minería se presentan en Colombia (Figura 2), siendo la de superficie la que genera mayor cantidad de extracción de carbón, con una cifra de 78.269.601 toneladas en año 2018. Esta se desarrolla en los departamentos del Cesar, Córdoba, La Guajira y Santander. En el caso de la minería subterránea, esta se desarrolla en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Casanare, Cauca, Cundinamarca, Norte de Santander y Valle del Cauca y tuvo una producción de 8.047.676 toneladas a 2018.



Figura 2. Distribución departamental de extracción de carbón para el año 2018
Fuente: Plataforma SIMCO (UPME, 2024)

Seguido a la extracción se encuentra las actividades de manejo, procesamiento y el transporte ulterior del carbón que se denominan actividades posteriores a la extracción, las cuales también generan un impacto importante en emisiones de GEI.

Posteriormente en la cadena productiva del carbón, se realiza el traslado del carbón en diferentes medios de transporte a su destino final para su uso como combustible o producción de coque. Como parte de este estudio, las emisiones de traslado del carbón no se tendrán en cuenta, considerando que su cuantificación no se desagrega en los INGEI.

En cuanto a la producción de carbón en el país, según el BECO (UPME, 2022), en el año 2021 de 55 410 kt de carbón del cual el 90% fue exportado, principalmente a países Turquía (24%), Brasil (11%), Chile (10%), Países Bajos (10%), China (6%) entre otros, lo que lo hace el quinto país de mayor exportación de este material a nivel mundial. El carbón restante se destinó a uso interno para las actividades presentadas en la Figura 3, en donde se destaca su uso para producción de coque, producción de energía eléctrica en centrales térmicas y producción de minerales no metálicos.

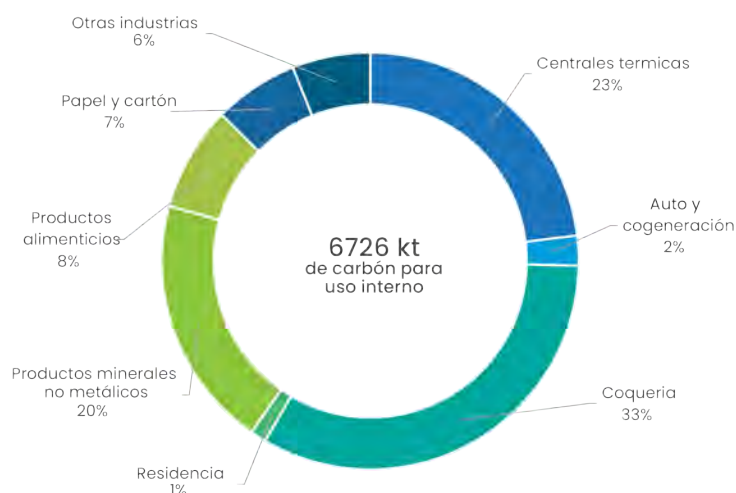


Figura 3. Uso interno de carbón año 2021
Fuente: Elaboración propia con información de BECO 2021

3.1 Emisiones del sector carbón en Colombia

La Figura 4 presenta las diferentes actividades de la cadena productiva que generan GEI. En este esquema se presentan las categorías del IPCC que se asocian a cada actividad y los gases generados en cada una de ellas. Adicionalmente se separan en dos grandes categorías correspondientes a: emisiones generadas dentro de las minas de carbón relacionadas a las emisiones generadas durante la extracción, manejo, procesamiento y transporte interno, las integran emisiones fugitivas y emisiones por combustión de combustibles; y las segundas, son aquellas generadas por el uso del carbón en procesos de combustión en la industria manufacturera, termoeléctricas y producción de coque. Es importante aclarar que las emisiones generadas durante el transporte del carbón desde la mina a los puntos de uso o de destino no se tienen en cuenta, ya que esta clasificación no se desagrega en los inventarios nacionales.

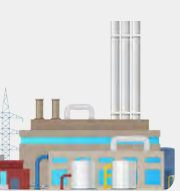
					
Emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O por consumo de combustibles fósiles en la minería de carbón. (1A1cii)	Emisiones fugitivas de CH ₄ y CO ₂ generadas durante el manejo, procesamiento y transporte del carbón. (1B1ai2 y 1B1aii2)	Emisiones fugitivas de CH ₄ generadas en minas abandonadas por migración del gas por conductos naturales o artificiales. Solo aplica para minas subterráneas. (1B1ai3)	Uso del carbón como combustible (Algunos sectores de 1A diferentes a los incluidos en 1A1) Emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O	Uso del carbón en termoeléctricas (1A1ai) Emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O	Uso del carbón para producción de coque (1A1ci). Emisiones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O
Extracción	Post-Minería	Abandonadas	Industria	Generación Energía	Coque
Emisiones dentro de la mina			Emisiones por uso de carbón		

Figura 4. Esquema de generación de emisiones en la cadena productiva del carbón. (En paréntesis el código de las categorías del IPCC asociadas a cada actividad)
Fuente: Este estudio

En general las emisiones de CO₂eq totales de la cadena productiva del carbón se han visto reducidas en un porcentaje bajo (aproximadamente 4%) desde el año 2010 al año 2018 (Figura 5). De las actividades evaluadas, las emisiones por uso de carbón en industria manufacturera es la que tiene mayor aporte a las emisiones totales, seguida de las emisiones generadas en las termoeléctricas. De igual forma, las emisiones dentro de la mina, las generadas por uso de combustibles son las más significativas junto con las emisiones fugitivas durante los procesos de extracción.

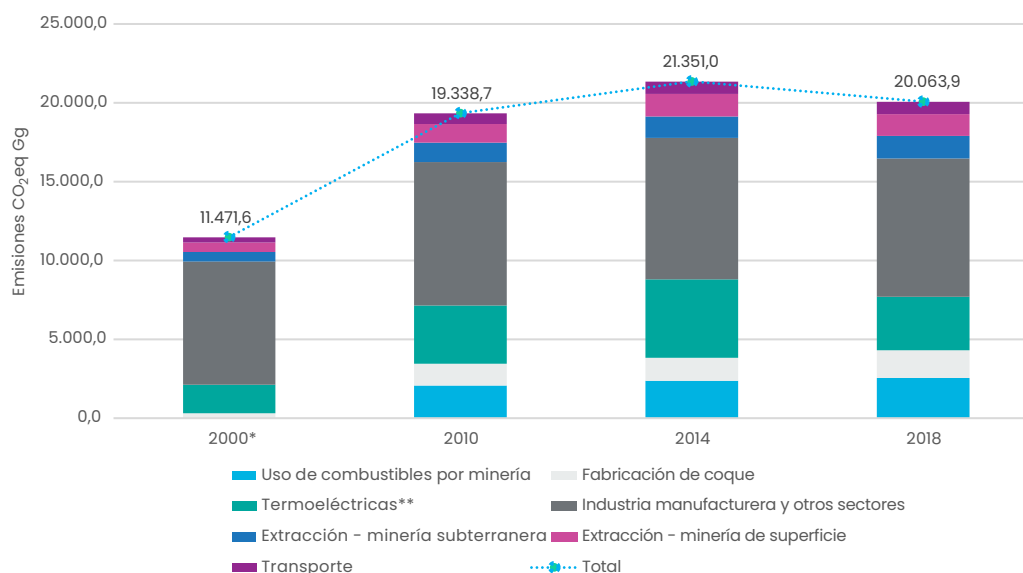


Figura 5. Emisiones históricas para las diferentes actividades de la cadena productiva del carbón en Colombia.
Fuente: Este estudio a partir de información del INGEI 2018.

* Las emisiones del año 2000 no se reportan emisiones para actividad de uso de combustible por minería

**Estimación de emisiones realizada con valores de consumo reportados por XM

La comparación de las emisiones de Colombia con otros países productores de carbón se presenta en la Tabla 3 para cada una de las actividades en las que fue posible identificar en los informes nacionales GEI de estos países, una desagregación para el consumo y producción de carbón. En total India genera la mayor cantidad de emisiones de CO₂eq de los países evaluados, emitiendo 17 veces más GEI que Colombia. En Australia, India y en especial Sudáfrica, el principal sector aportante de GEI en el país es la generación de energía eléctrica, ya que utilizan como principal energético el carbón que en muchos casos se encuentra en abundancia en estos países.

Tabla 3. Comparación de emisiones de CO₂eq entre diferentes países para las actividades de la cadena productiva del carbón

Subcategoría IPCC	Emisiones CO ₂ eq Gg				
	Sudáfrica (2020)	India (2016)	Chile (2020)	Australia (2020)	Colombia (2018)
1A1cii. Producción carbón	28,627.00	13,110.34	316.60	27,586.00	2,543.69
1A1ci. Fabricación de combustibles sólidos			978.20		1,757.39
1A1ai. Generación de electricidad (Termoeléctricas)	203,421.00	296,260.98	9,686.88	183,170.00	3,393.70

Subcategoría IPCC	Emisiones CO ₂ eq Gg				
	Sudáfrica (2020)	India (2016)	Chile (2020)	Australia (2020)	Colombia (2018)
1A2. Industrias manufactureras y de construcción	ND	41,757.48	ND	ND	8,520.65
1A4. Otros sectores	ND		ND	ND	263.05
1B1ai1 Minería subterránea - Minería	2,931.00	17,102.34	11.60	19,175.00	1,426.96
1B1ai2. Minería subterránea - Posteriores a Minería			1.60		402.29
1B1ai1 Minería de superficie - Minería			5.00	6,012.00	1,365.47
1B1ai2. Minería de superficie - Posteriores a Minería			0.40		390.73
1B1c. Otras (Quema)	NE	NE	NE	903.00	NE
Total	234,979.00	368,231.13	11,000.28	236,846.00	20,063.93

Fuente: Este estudio a partir de reportes de inventarios de emisiones nacionales realizados por países ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático
 ND: Información no desagregada para consumo de carbón - NE: Valor no estimado

Con el fin de hacer un análisis comparativo adecuado, que considere las diferencias entre los contextos económicos, poblaciones y productivos de cada uno de estos países, se realizó análisis comparativos de emisiones per cápita (Figura 6 (A) y (B)) y por extracción (Figura 6 (C) y (D)) según aplique para cada actividad de la cadena productiva. En el caso de las emisiones por generación de energía en termoeléctricas el análisis se hizo por miles de habitantes, en donde esta métrica presentó a Australia como el mayor emisor de CO₂eq, seguido por Sudáfrica y Chile. En Colombia, aunque esta métrica se considera baja en comparación con los demás países, es importante mencionar que existen otros impactos a nivel local no considerados de este estudio que deben ser considerados al evaluar el impacto de las termoeléctricas a carbón, como son los impactos de salud sobre las poblaciones cercanas a estas fuentes generadoras. Por otra parte, en el caso de las emisiones por uso de carbón en la industria manufacturera por miles de habitantes, Colombia supera en casi seis veces las generadas por India.

En cuanto a las emisiones por la fabricación de combustibles sólidos y otras industrias de la energía, que agrupan las emisiones por consumo de combustible en la producción de coque y en la minera, el análisis de emisiones por megatonelada de producción de carbón presenta a Chile como el mayor emisor seguido de Sudáfrica. Un análisis similar para las emisiones fugitivas por minería de carbón coloca a Colombia como el mayor emisor de CO₂eq por Mt extraída de carbón, encontrándose casi al nivel de emisiones de Australia y superando en casi 4 veces a India y Sudáfrica. Cabe resaltar que este análisis no considera las emisiones por minas abandonadas que aún no han sido cuantificadas en Colombia, por lo que esta diferencia con otros países podría ser aún mayor.

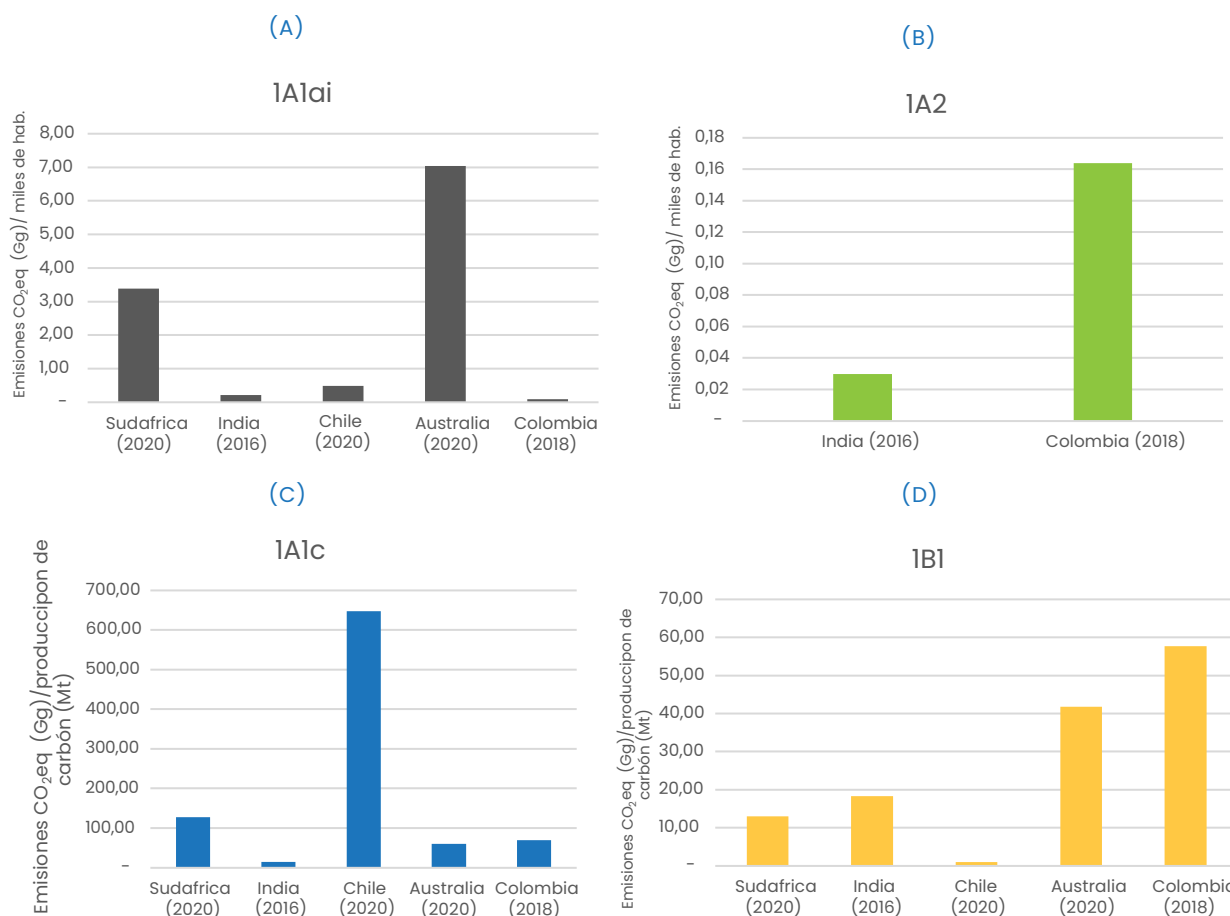


Figura 6. Comparación de emisiones de CO₂eq generadas en Colombia con otros países en donde: (A) Emisiones por generación de electricidad (Termoeléctricas) por miles de habitantes, (B) Industrias manufactureras y de construcción por miles de habitantes, (C) Emisiones de fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas por megatonelada de carbón extraído y (D) Emisiones fugitivas de minería de carbón por megatonelada de carbón extraído.

Fuente: Este estudio a partir de reportes de emisiones nacionales presentados a la CMNUCC.

3.2 Necesidad de contabilizar las emisiones de GEI del sector carbón

Revisando el contexto de las emisiones de la cadena productiva del carbón en Colombia, es clara la necesidad de cuantificar las emisiones de estas actividades, destacando su importancia para lograr lo establecido en la NDC.

Es así como, para alcanzar las metas de reducción de emisiones de GEI del sector, el MME adoptó el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Minero Energético (PIGCCme) (MME, 2018).

En este plan se estableció la meta de reducir las emisiones anuales del sector de minas y energía en 11,2 Mt CO₂ para el año 2030 mediante avances en cuatro líneas estratégicas: eficiencia energética, generación de electricidad, gestión de la demanda y control de emisiones fugitivas. Si bien no todas las actividades de la cadena productiva son responsabilidad del MME, algunas de importancia como las actividades de minería de carbón, la producción de coque y el uso de carbón para la generación de energía eléctrica se encuentran consideradas en el PIGGCCme que es responsabilidad de esta entidad. Por su parte las emisiones generadas por el uso del carbón como energético en la industria manufacturera, de construcción y residencial no son incluidas.

Lo anterior, sumado a las tareas de orden “climático” para la minería de carbón, puestas en cabeza del sector de Minas y Energía, mediante la Ley 2169 de 2021, evidencian la necesidad de contar con una aplicación metodológica (factores de actividad, factores de emisión y complementos) con bajo nivel de incertidumbre que de cuentas claras de las emisiones GEI correspondientes a escenarios base y su replicabilidad para la confiable evaluación de proyectos de acción climática implementados en el sector y la consecuente verificación de cumplimiento de metas.

4. Estimación de emisiones GEI del sector carbón en Colombia

La estimación de emisiones para el sector de carbón en Colombia se estima en inventarios de emisiones de entidades gubernamentales, de orden nacional o subnacional, e inventarios corporativos. La diferencia radica en los alcances y objetivos de dichos inventarios que se explicaran a continuación.

Inventarios nacionales o subnacionales: Son elaborados por o para entidades gubernamentales, para cuantificar las emisiones generadas dentro de su territorio. A nivel Nacional, estos inventarios de emisiones permiten servir como soporte al seguimiento del cumplimiento de la NDC y compromisos internacionales en cuanto a mitigación de GEI, por lo que hacen parte de los reportes bienales de actualización (BUR). Así mismo, esta información sirve para identificar en cada sector los principales aportantes y direccionar estrategias de mitigación. Por lo tanto, sirve como soporte y herramienta de seguimiento a las políticas, planes, programas que se impulsan con el fin de combatir el cambio climático. Objetivos similares a menor escala se presentan inventarios para actores subnacionales. La metodología utilizada para su estimación se basa en las guías del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), comprendiéndose como métodos estandarizados y utilizados a nivel mundial.

Inventarios corporativos: Son inventarios elaborados por o para empresas que tiene el objetivo de conocer en primera instancia las emisiones de GEI que se generan por sus procesos y actividades, de forma directa e indirecta (también llamados alcances 1, 2 y 3). Estos inventarios se asocian al indicador de huella de carbón que corresponden a las emisiones de CO₂eq según los límites operacionales que se establezcan. Las metodologías utilizadas para su estimación se basan en directrices como la norma ISO 14064-1, pero también se recomiendan protocolos como GHG Protocol (WRI & WBCSD, 2001), Bilan Carbone (Avvenna, 2021), y Public Available Specification PAS 2060:2010 (BSI Group, 2010). Teniendo estos sus bases en las guías IPCC.

En este sentido ambos tipos de inventario juegan un rol de importancia en la gestión del cambio climático en diferente escala. Su sincronidad es necesaria para un trabajo conjunto en mitigación GEI en el país, ya que los actores privados consientes de sus propias emisiones pueden proponer al gobierno nacional aportes adicionales a los planteados en las carteras sectoriales. De igual forma, contar con esta información permite consolidar herramientas como el mercado nacional de carbono, ROE y RENARE.

A continuación, se hará una descripción de las metodologías de estimación de emisiones para ambos casos utilizadas en el país para las actividades de la cadena productiva del carbón.

4.1 Metodología para estimación de emisiones a nivel Nacional

En esta sección se describen a detalle las directrices del IPCC, sus condiciones de aplicación, así como las variables requeridas para las estimaciones de las emisiones generadas por el sector carbón en Colombia. De igual forma se presenta una descripción de la aplicación de esta metodología en el último INGEI publicado y el reporte del MRV del sector de minas y energía.

Considerando que el carbono negro, es un contaminante climático de vida corta con meta de reducción de emisión establecida en la actualización de la NDC, en esta sección también se incluye un análisis de las metodologías de estimación de este contaminante a nivel nacional y sus resultados para el sector carbón.

4.1.1 Guías IPCC

Las guías IPCC recopilan metodologías para todos los sectores emisores y sumideros de GEI. Estas metodologías se dividen por capítulos, categorías y subcategorías. Para el sector carbón las metodologías que contemplan sus actividades se encuentran en el módulo de Energía (Volumen II), específicamente su capítulo 2 “Combustión interna” y capítulo 4 “Emisiones fugitivas”. De forma explicativa en la Tabla 4 se presentan las actividades de la cadena productiva del carbón asociadas a su respectiva subcategoría IPCC.

4.1 Metodología para estimación de emisiones a nivel Nacional

En esta sección se describen a detalle las directrices del IPCC, sus condiciones de aplicación, así como las variables requeridas para las estimaciones de las emisiones generadas por el sector carbón en Colombia. De igual forma se presenta una descripción de la aplicación de esta metodología en el último INGEI publicado y el reporte del MRV del sector de minas y energía.

Considerando que el carbono negro, es un contaminante climático de vida corta con meta de reducción de emisión establecida en la actualización de la NDC, en esta sección también se incluye un análisis de las metodologías de estimación de este contaminante a nivel nacional y sus resultados para el sector carbón.

4.1.1 Guías IPCC

Las guías IPCC recopilan metodologías para todos los sectores emisores y sumideros de GEI. Estas metodologías se dividen por capítulos, categorías y subcategorías. Para el sector carbón las metodologías que contemplan sus actividades se encuentran en el módulo de Energía (Volumen II), específicamente su capítulo 2 “Combustión interna” y capítulo 4 “Emisiones fugitivas”. De forma explicativa en la Tabla 4 se presentan las actividades de la cadena productiva del carbón asociadas a su respectiva subcategoría IPCC.

Tabla 4. Correspondencia de actividades de la cadena productiva de carbón y categorías IPCC

Categoría IPCC	Subcategoría IPCC	Actividad
1A. Combustión estacionaria	1A1cii. Producción carbón	Extracción
1A. Combustión estacionaria	1A1ci. Fabricación de combustibles sólidos	Uso – Fabricación Coque
1A. Combustión estacionaria	1A1ai. Generación de electricidad	Uso – Termoeléctricas
1A. Combustión estacionaria	1A2. Industrias manufactureras y de construcción	Uso – Uso como combustible en industria
1A. Combustión estacionaria	1A4. Otros sectores	Uso- Uso residencial
1B. Emisiones fugitivas	1B1ai1 Minería subterránea – Minería	Extracción
1B. Emisiones fugitivas	1B1ai2. Minería subterránea – Posteriores a Minería	Operaciones post extracción
1B. Emisiones fugitivas	1B1ai1 Minería de superficie – Minería	Extracción
1B. Emisiones fugitivas	1B1ai2. Minería de superficie – Posteriores a Minería	Operaciones post extracción

Fuente: Este estudio a partir de las Guías del IPCC

Es importante aclarar que para la fabricación de coque las guías del IPCC mencionan que, al ser el coque un combustible fósil de uso energético, las emisiones deben declararse en la Categoría 1A del Sector Energía. Sin embargo, la metodología para su estimación se presenta en el Volumen 3 IPPU, en su capítulo 4, por lo que también será descrita en esta sección.

La descripción metodológica que se presenta en las siguientes secciones tomará como referencia la actualización de las guías del año 2006 y su refinamiento del año 2019.

4.1.1.1 Combustión estacionaria (1A)

Algunas de las actividades del sector del carbón se encuentran en esta categoría como se observa en la Figura 7. Específicamente para la subcategoría 1A1 Industria de la energía, donde se describen las emisiones por combustión de combustibles fósiles como materias primas o como fuentes de energía. Por su parte en las subcategorías 1A2 y 1A4 se contabilizan las emisiones generadas por la combustión de combustibles secundarios generados en los procesos de las industrias de la energía, como es el carbón y el coque.

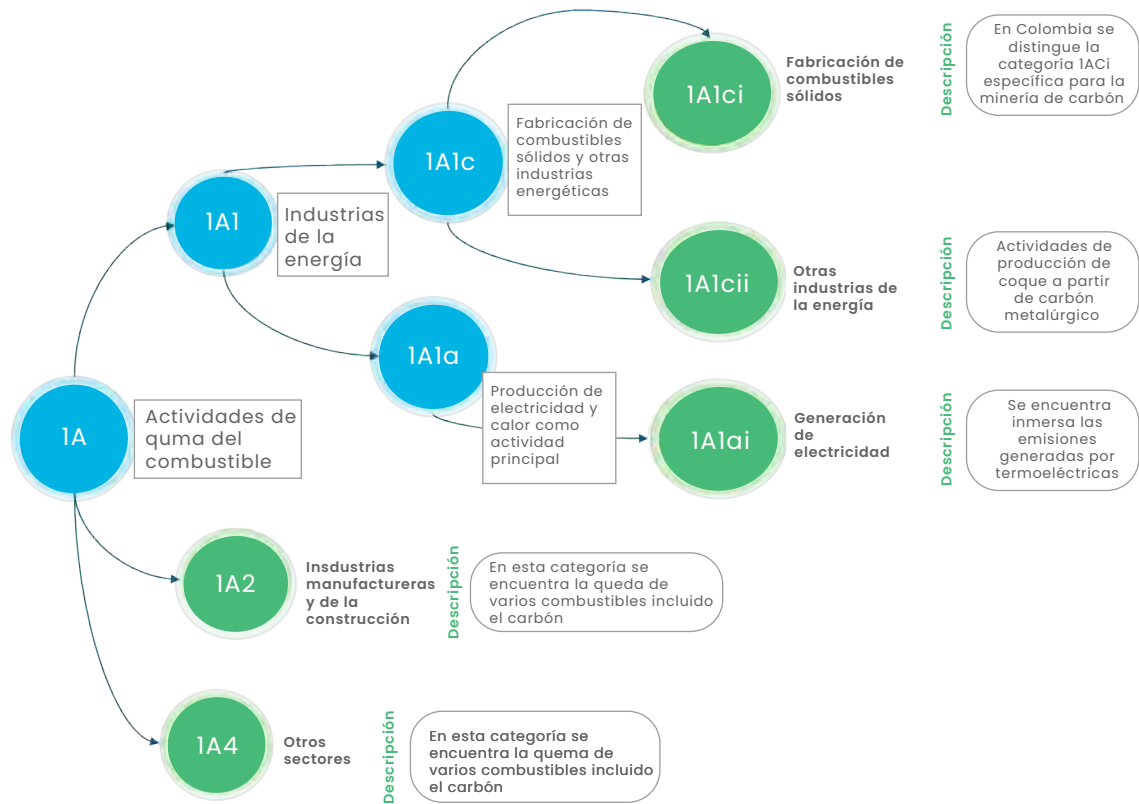


Figura 7. Subcategorías del IPCC que cuantifican emisiones del sector carbón en la categoría 1A (en verde las categorías que consideran emisiones de las actividades del sector carbón)
Fuente: Este estudio a partir de las Guías del IPCC

En las guías se presentan diferentes métodos de abordaje de la estimación de emisiones según el detalle de información que se tenga disponible. En este sentido para este capítulo se cuenta tres niveles descritos a continuación:

Tabla 5. Detalle de niveles metodológicos minería de carbón – combustión interna

Nivel	Descripción
1	Cantidad de combustible quemado, información procedente de las estadísticas de cada país y uso de factores de emisión por defecto que presentan las guías IPCC basados en datos internacionales.
2	Cantidad de combustible quemado, información procedente de las estadísticas de cada país, junto con factores de emisión estimados específicamente para el país, en lo posible, derivados de las características nacionales del combustible. Este factor de emisión corresponde a un valor promedio para un conjunto de categoría de fuente por combustible.
3	Estadísticas del combustible y datos relativos a las tecnologías de combustión aplicados incluye el uso de modelos y datos de las emisiones para cada una de las instalaciones o empresas, si están disponibles. Esto sumado a factores de emisión específicos de las tecnologías identificadas.

Fuente: Informe del inventario nacional de gases efecto invernadero (NIR) 1990-2018 y carbono negro 2010-2018

Las ecuaciones para cada uno de los niveles 1 y 2 se presentan en la Ecuación 1, con la diferencia que en el caso del nivel 2 se utilizan los factores de emisión específicos para cada país.

$$E_k = \sum_i CB_i \times FE_{ik}$$

Ecuación 1. Nivel 1 y 2

En donde:

E_k	Emisiones para el gas de efecto invernadero k por tipo de combustible i	kg/año
CB_i	Consumo del combustible i	TJ/año
FE_{ik}	Factor de emisión del GEI k por la quema del combustible i	kg/TJ

En nivel 3 se considera el detalle y la diferencia de los procesos de combustión dependiendo de otros factores adicionales al tipo de combustibles correspondientes a: tecnología de combustión, condiciones de uso, tecnologías de control, calidad del mantenimiento y antigüedad de los equipos.

Para este nivel se requiere la clasificación de las estadísticas de consumo de combustible por los tipos de tecnologías disponibles, así como los factores de emisión específicos, entendiéndose como tecnologías todo dispositivo, proceso de combustión o propiedad del combustible que sea relevante en las emisiones generadas. En este sentido para la estimación de emisiones se utiliza la Ecuación 2.

$$E_k = \sum_i \sum_n CB_{i,n} \times FE_{ikn}$$

Ecuación 2. Nivel 3

En donde:

E_k	Emisiones del gas de efecto invernadero k, por los combustibles i y tecnologías n	kg/año
CB_{in}	Consumo del combustible i por la tecnología n	TJ/año
FE_{ikn}	Factor de emisión del GEI k por la quema del combustible i en la tecnología n	kg/TJ

La guía sugiere que el uso del método de Nivel 3 para estimar las emisiones de CO₂ puede ser innecesario, porque éstas no dependen de la tecnología de combustión. No obstante, los datos específicos de la planta relativos a las emisiones de CO₂ cada vez están más disponibles y resultan más interesantes por las posibilidades que ofrecen para las operaciones de emisiones. En ese sentido si se cuenta con información específica de cada empresa o planta, en donde se puede recopilar información de mediciones del flujo y en la química del combustible o en las mediciones del flujo del gas de combustión y los datos de la química de este gas, puede usarse como información de entrada para este método. De igual forma sugiere que el monitoreo continuo de emisiones (MCE) es útil siempre y cuando tenga como propósito principal hacer seguimiento a contaminantes como SO₂ y NO_x, y complementario para emisiones de CO₂. Se destaca su utilidad al momento de hacer seguimiento en el caso de quema de combustibles sólidos, debido a la dificultad de hacer seguimiento al caudal quemado en este tipo de combustible.

4.1.1.2 Emisiones fugitivas (1B)

En esta categoría se presentan las metodologías para estimación de GEI generados en procesos de extracción, procesamiento y transporte de los combustibles fósiles. Nos centraremos en la subcategoría 1B1 combustibles sólidos y en específico la subcategoría 1B1a Minería carbonífera y manejo de carbón, en donde se presentan las metodologías de estimación de emisiones generadas durante y posteriores a las operaciones de extracción de carbón, así como emisiones generadas por minas abandonadas o combustión no controlada. Esta categoría se divide a su vez en varias subcategorías como se presenta en la Figura 8, en donde aquellas en color verde corresponden a los niveles más bajos de desagregación. Por su parte la subcategoría 1B1b no se considerará ya que para estas emisiones no se cuenta aún con información y su recolección no se encuentra entre los planes de mejora de los inventarios GEI nacionales a mediano plazo.

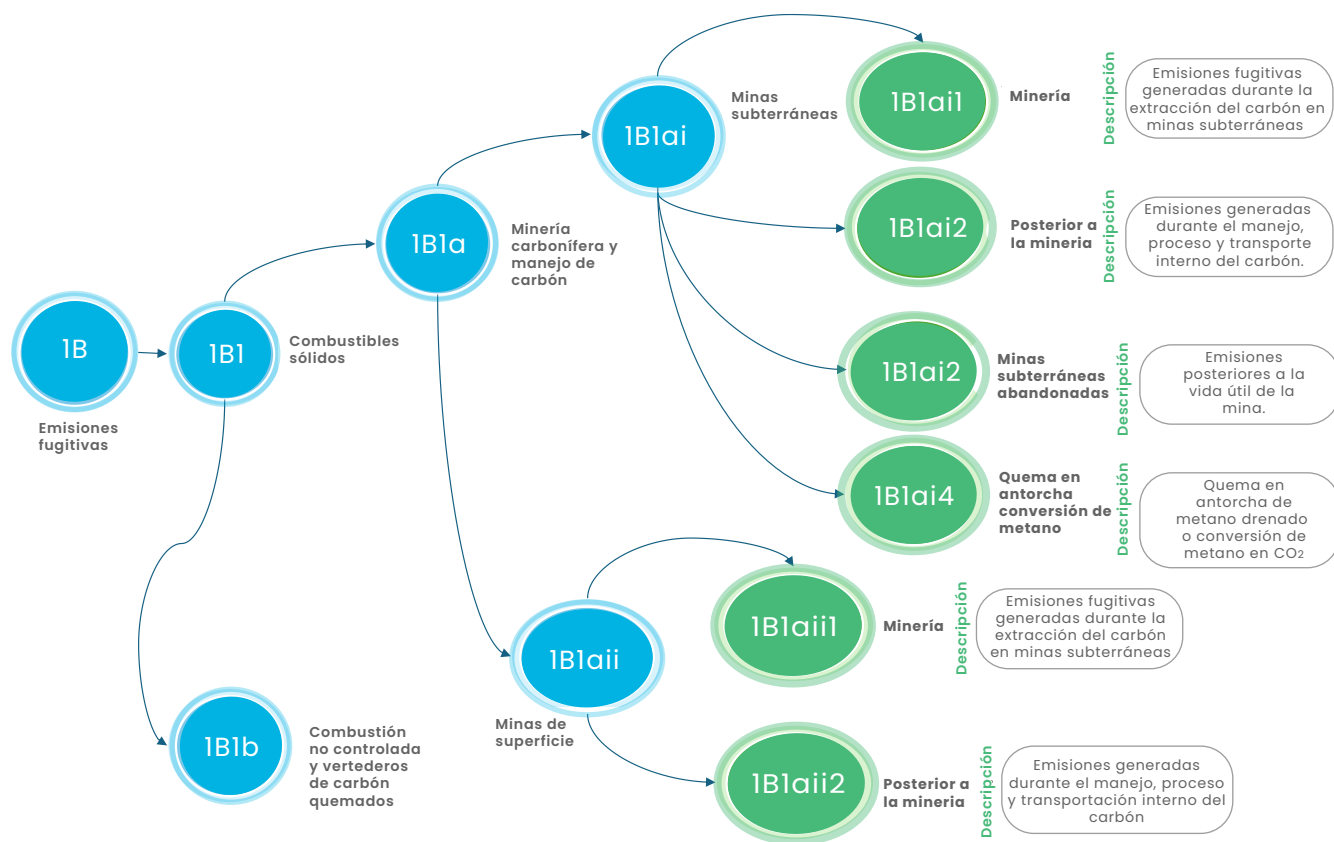


Figura 8. Subcategorías del IPCC que cuantifican emisiones del sector carbón la categoría 1B
Fuente: Este estudio a partir de las Guías del IPCC

Para estas emisiones fugitivas las guías presentan para los siguientes niveles, diferentes métodos de abordaje de la estimación de emisiones:

Tabla 6. Detalle de niveles metodológicos minería de carbón – emisiones fugitivas

Nivel	Descripción
1	Cada país debe escoger un promedio de factores de emisión y utilizar la información actividad específica de su territorio. Este nivel se recomienda especialmente para países en donde la categoría de minería de carbón no sea una sub fuente principal.
2	Se emplean factores de emisión propios del país o de la cuenca emisión y utiliza la información actividad específica de su territorio.
3	Se utilizan mediciones directas sobre una base específica de mina.
Híbrida 1-2	De igual forma la guía propone el uso de metodologías híbridas entre nivel 1 y 2, en los casos en los que solo se cuenta información de mediciones específicas solo están disponibles para un subconjunto de las minas.

Fuente: Informe del inventario nacional de gases efecto invernadero (NIR) 1990-2018 y carbono negro 2010-2018

A continuación, se describen las emisiones provenientes de minas subterráneas y de superficie y se describen las metodologías presentadas en las guías de forma resumida destacando los puntos más relevantes.

• Minería subterránea

Las emisiones fugitivas generadas por esta clase de minas se generan tanto de los sistemas de ventilación como de desgasificación y corresponden a la categoría 1B1ai Minería subterránea. Es común que estas emisiones se emitan en una pequeña cantidad de lugares centralizados y pueden ser consideradas como fuentes por puntos. La descripción de cada emisión de acuerdo con las categorías presentadas anteriormente se realiza a continuación.

Categoría 1B1ai Minería

Estas emisiones son generadas durante los procesos de extracción, corresponden a aquellas emisiones provenientes de grietas ventiladas a la atmósfera, por sistema de ventilación y desgasificación de minas de carbón. La estimación de esta categoría se realiza según Ecuación 3.

$$E_{k,minería} = PC \times FE_k \times FC$$

Ecuación 3. Emisiones fugitivas por minas subterráneas. Nivel 1 y 2.

En donde:

$E_{k,minería}$	Emisiones fugitivas del gas de efecto invernadero k generadas durante los procesos de extracción	Gg/año
PC	Producción de carbón no lavado	t/año
FE_k	Factor de emisión para el gas de efecto invernadero k. Si se utiliza nivel 1 la guía da tres opciones de factores de emisión (bajo, intermedio, alto) según condiciones de cada país.	m³/t
FC	Corresponde a la densidad del CH ₄ y del CO ₂ a 1 atmósfera y a 20°C	Gg/m³
k	Corresponde a CH ₄ y CO ₂ , este último adicionado en el refinamiento de 2019 de las guías IPCC.	

Categoría 1B1ai2. Post-extracción

Corresponden a las emisiones posteriores a la extracción de carbón, traído a la superficie y subsiguientemente procesado, almacenado y transportado. Esta sección solo presenta metodología para emisiones de metano, sin embargo, se menciona que también deben incluirse las emisiones de CO₂ en el inventario si hay datos disponibles.

Para esta categoría se presentan para nivel 1 la siguiente ecuación de estimación.

$$E_{CH_4, post-extracción} = PC \times FE_{CH_4} \times FC$$

Ecuación 4. Emisiones fugitivas por minas subterráneas post-extracción. Nivel 1 y 2.

En donde:

$E_{CH_4, post-extracción}$	Emisiones fugitivas del CH ₄	Gg/año
PC	Producción de carbón no lavado	t/año
FE_{CH_4}	Factor de emisión para el gas de efecto invernadero k. Si se utiliza nivel 1 la guía da tres opciones de factores de emisión (bajo, inter medio, alto) según condiciones de cada país.	m ³ /t
FC	Corresponde a la densidad del CH ₄ y del CO ₂ a 1 atmosfera y a 20°C	Gg/m ³

En cuanto al nivel 2, el factor de emisión de metano se toma de acuerdo con el gas in situ del carbón y el tipo de tratamiento que se realiza en la mina (desgasificación o no). Por su parte la medición directa (Nivel 3) de todas las emisiones posteriores a la extracción no es viable, por lo que debe utilizarse un método de factor de emisión.

Categoría 1B1ai2. Post-extracción

Emisiones fugitivas por drenado de metano de las minas de carbón pueden ventearse directamente a la atmósfera, recuperarse y utilizarse, o convertirse en CO₂ mediante la combustión (quema en antorcha u oxidación catalítica) sin utilización alguna.

En esta sección se divide las metodologías según el nivel del método. En los casos en los que se drena el metano de las capas de carbón como parte de la extracción, y posteriormente se le quema en antorcha o utiliza como combustible, es una buena práctica restar esta cantidad de la estimación total de emisiones de metano para los Niveles 1 y 2, como se muestra en la Ecuación 5. Los datos relativos a la cantidad de metano quemada en antorcha o utilizada de otro modo deben procurarse a través de los operadores de la mina con la misma frecuencia de medición que corresponde a las emisiones de minas subterráneas en general.

$$E_{CH_4} = E_{CH_4, minería} + E_{CH_4, post-extracción} - E_{CH_4, recuperado}$$

Ecuación 5. Emisiones fugitivas subterráneas con metano recuperado por minas subterráneas. Nivel 1 y 2.

En donde:

E_{CH_4}	Emisiones fugitivas del CH ₄	Gg/año
$E_{CH_4, minería}$	Emisiones de CH ₄ por procesos de minería	Gg/año
$E_{CH_4, post-extracción}$	Emisiones de CH ₄ por procesos posteriores a la minería	Gg/año
$E_{CH_4, recuperado}$	Emisiones de CH ₄ por procesos de recuperación de gases en minería.	Gg/año

De igual forma se dan otras recomendaciones para cada nivel si se drena y ventea las emisiones de metano a la atmósfera sin ningún uso, cuando se utiliza como fuente de energía o cuando es quemado en antorcha o en oxidación catalítica en CO₂. En este último caso se utiliza la siguiente ecuación.

$$E_{CO_2} = 0.98 \times V_{CH_4} \times FC \times FE$$

Ecuación 6. Emisiones fugitivas subterráneas con metano recuperado por minas subterráneas. Nivel 1 y 2.

En donde:

E_{CO_2}	Emisiones de CO ₂ procedentes de combustión de CH ₄	Gg/año
V_{CH_4}	Volumen de metano oxidado	m ³ /año
FC	Corresponde a la densidad del CH ₄ a 1 atmósfera y a 20°C	Gg/m ³
FE	Factor de masa estequiométrica que corresponden a la relación de masa de CO ₂ producida a partir de la combustión total de masa unitaria de metano y es igual a 2.75	

Categoría 1B1a13. Minas subterráneas abandonadas

En cuanto a minas abandonadas, esta categoría contempla las emisiones de metano resultantes de la migración del gas por conductos naturales o artificiales, tales como embocaduras antiguas, tubos de venteo o grietas y fisuras en los estratos subyacentes. Estas emisiones se reducen con rapidez hasta alcanzar un ritmo casi constante que puede perdurar por un período de tiempo prolongado. Las minas abandonadas pueden inundarse como consecuencia de la intrusión de agua subterránea o superficial en el vacío de la mina, siendo las emisiones de minas totalmente inundadas insignificantes.

Por su parte las minas inundadas parcialmente pueden seguir produciendo emisiones de metano por un largo período, como sucede con las minas que no se inundan.

También se mencionan otra fuente potencial de emisiones que corresponde a combustión no controlada del carbón de las minas. No obstante, actualmente no existen metodologías para estimar las emisiones potenciales de la combustión no controlada en minas subterráneas abandonadas.

En la estimación de las emisiones de minas abandonadas se proponen varios métodos desde el nivel 1 al 3. En estos métodos se contemplan únicamente las emisiones de las minas no gaseosas, es decir, aquellas minas de carbón que, cuando estaban activas, tenían emisiones de ventilaciones anuales promedio que superaban la escala de 2 800 a 14 000 metros cúbicos por día (m³/d), o de 0.7 a 3.4 Gg por año.

Se describirá a continuación lo requerido para el nivel 1, considerando que actualmente en el inventario de emisiones GEI para Colombia esta categoría no está contemplada, por lo que se quiere explorar los requisitos mínimos de información que se deberían conseguir en el país para iniciar su cuantificación. En este sentido, la información requerida para nivel 1 corresponde a:

- Para el caso de nivel 1, es decir, el que no requiere información de gran complejidad se requiere:
 - o La cantidad de minas abandonadas y el rango de tiempo en el cual fueron cerradas
 - o abandonadas
 - o Porcentaje de las minas abandonadas inundadas, si se desconoce se asume que el 100% no están inundadas.
 - o Establecer el porcentaje de minas de carbón abandonadas que se consideraban gaseosas antes de su cese de funcionamiento.

- o Los factores de emisión se deben escoger de aquellos sugeridos por las guías, dependiendo de los intervalos de tiempo de cierre o abandono de la mina.

La estimación de estas emisiones se calcula a partir de la Ecuación 7.

$$E_{CH_4} = M \times FMG \times FC \times FE$$

Ecuación 7. Emisiones fugitivas de metano por minas subterráneas abandonadas. Nivel 1 y 2.

En donde:

E_{CH_4}	Emisiones de CH ₄ generadas por las minas abandonadas	Gg/año
M	Cantidad de minas de carbón abandonadas no inundadas	número
FMG	Fracción de minas gaseosas	
FC	Corresponde a la densidad del CH ₄ a 1 atmosfera y a 20°C	Gg/m ³
FE	Factor de masa estequiométrica que corresponden a la relación de masa de CO ₂ producida a partir de la combustión total de masa unitaria de metano y es igual a 2.75	m ³ /año

El nivel 2 por su parte requiere información específica del tipo de carbón, intervalos de tiempos más estrechos para estimar las fechas de abandono de las minas y emisiones de las minas activas antes de su abandono.

Por su parte el nivel 3 necesita información específica por mina que incluye las emisiones por ventilación procedentes de la mina cuando estaba activa, características de la capa de carbón minada, el tamaño y la profundidad de la mina, el estado de la mina abandonada y estimación de una curva propia de disminución del índice de emisiones específico de la cuenca de carbón o de la mina, o modelos equivalentes. Se sugiere el uso de este método si se busca implementar proyecto de recuperación de emisiones en estas minas.

- Minería de superficie

Las emisiones de este tipo de minería se agrupan en la categoría 1B1aii Minería de superficie. En ella se consideran las emisiones fugitivas los gases de efecto invernadero que suelen dispersarse por secciones de la mina, como aquellas emisiones resultado de emisiones por grietas debido a procesos de arranque del carbón y sobrecarga, oxidación a baja temperatura del carbón de desecho o carbón de baja calidad en vertederos, y combustión no controlada.

Las emisiones de este tipo de mina se dividen en las categorías de emisiones durante los procesos de extracción (1B1aii1 Minería) y emisiones post-extracción (1B1aii2 Posteriores a la minería). En las guías de IPCC no se aconseja utilizar un método nivel 3 para estas emisiones, al contrario, se recomienda hacer uso métodos con factores de emisión nivel 1 y 2. De igual forma, se desprecia las emisiones de CO₂ por oxidación del carbón en la atmósfera al considerarlo muy bajas en comparación con las otras cuantificables. También se mencionan las emisiones generadas por combustión no controlada en pilas de desechos, sin embargo, su cuantificación debido a su complejidad no se tiene en cuenta en las guías.

En general las ecuaciones utilizadas para las categorías 1B1aii1 Minería (Ecuación 3) y 1B1aii2 Posteriores a la minería (Ecuación 4) son similares a las mencionadas para minería subterránea, en donde su gran diferencia se asocia a los factores de emisión sugeridos para el nivel 1.

En cuanto a las minas abandonados superficiales, estas generan emisiones GEI por el muro fijo (talud del tajo), las fugas desde el pozo, la oxidación a baja temperatura y combustión no controlada. Sin embargo, aún no se cuentan con metodologías para cuantificar estas emisiones, por lo que en las guías del IPCC no se consideran estas emisiones en ninguna categoría.

4.1.1.3 IPPU – Producción de hierro y acero y de coque metalúrgico (2C1)

Como se mencionó anteriormente, en el Volumen 3 IPPU capítulo 4, se presentan las ecuaciones para la cuantificación para la producción de coque. Sin embargo, estas emisiones se reportan y se asocian a la categoría 1A, relacionadas a todo el combustible consumido en esta categoría de fuente no asignado como entrada.

La ecuación utilizada para la estimación de estas emisiones se presenta a continuación.

$$E_k = P \times FE_{ik}$$

Ecuación 8. Emisiones por producción de coque. Nivel 1 y 2.

En donde:

E_k	Emisiones del contaminante k generadas por la producción de coque	t de k/año
P	Cantidad producida de coque	t coque
FE_{ik}	Factor de emisión del GEI k por producción de coque	t de k/t coque

4.1.2 Inventario Nacional de Emisiones (INGEI)

Como parte de los compromisos de Colombia ante la CMNUCC se elaboran los inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la Conferencia de las Partes. Además, estos inventarios acompañan a los Informes Bienales de Actualización (BUR) como parte de los anexos a este documento y son llamados INGEl.

El INGEl describe a detalle las metodologías e información utilizadas para la estimación de las emisiones de cada una de las fuentes identificadas y captura de los sumideros en el país. De igual forma se detallan supuestos considerados en las estimaciones y las oportunidades de mejora para futuros inventarios, que fomenta el avance en la transparencia del reporte. El documento del INGEl disponible en línea corresponde al reportado junto al BUR3, que corresponde al inventario de emisiones GEI de la línea temporal 1990 a 2018 y el inventario de carbono negro entre los años 2010 y 2018.

El INGEl tiene como responsable de su elaboración al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), en el cual se realiza un proceso de construcción colectiva en el que participan otras entidades las cuales son las principales proveedoras de la información para la elaboración de los inventarios. En el caso del sector de minería de carbón participan los actores presentados en la Tabla 7.

Tabla 7. Actores involucrados en la consolidación de inventarios de emisiones del sector de minería de carbón

Nombre	Tipo de institución	Rol
IDEAM	Pública - Nacional	Líder de la implementación del inventario y gestor de la información
Ministerio de minas y energía	Pública - Nacional	Dueños de la cartera de minería y energía del país. Proveedor de información de la serie 2010-2018 Apoyo en el desarrollo de inventarios de emisiones.
UPME	Pública - Nacional	Proveedor de información. Desarrollador del factor de emisión de los combustibles colombianos (FECOC) Gestor del Sistema de Información Minero de Colombia (SIMCO) que se utiliza para la serie 2010-2018.
Agencia Nacional de Minería - ANM	Especial - Nacional	Proporciona información al SIMCO

Fuente: Informe del inventario nacional de gases efecto invernadero (NIR) 1990-2018 y carbono negro 2010-2018

4.1.2.1 Combustión interna

Con el propósito de cumplir con los requisitos de comparabilidad de los inventarios, el INGEI utiliza como metodología las guías del IPCC 2006, incluido el refinamiento del año 2019. Adicionalmente se utilizan otras herramientas de uso interno como hojas de cálculo, códigos de programados y formatos, para recopilar y procesar información.

Tabla 8. Información utilizada INGEI 1990-2018 para combustión interna

Subcategoría	Variables	Descripción	Fuente de información
1A1 Industrias de la energía 1A1ci. Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas – Producción de coque	Factores de emisión	CO ₂ : Nivel 1 CH ₄ : Nivel 1	IPCC 2006. Volumen 3. Capítulo 4. Cuadro 4.1
	Factor de actividad	Intervalo temporal para los años 1990 a 2009: No se cuenta con información de consumos de combustibles para esta serie de tiempo. Intervalo temporal para los años 2010 – 2018: Información no disponible para este rango de tiempo.	2010 – 2018: Información de datos de actividad fue procesada y preparada por el MME, quien recibe la información de fuentes primarias tales como Ecopetrol, UPME, SICOM y el SUI.
1A1 Industrias de la energía 1A1cii. Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas – Otras industrias de la energía (Minería de carbón)	Factores de emisión	CO ₂ : Corresponden a factores Nivel 2, los cuales fueron desarrollados en el marco del proyecto Mecanismo de Mitigación Voluntaria de Gases de Efecto Invernadero Colombia -MVC-, adelantado por la Fundación Natura, La Bolsa Mercantil y La Corporación Ambiental Empresarial, con el acompañamiento y coordinación de la UPME y el BUR2, a través de una consultoría técnica para la actualización de la base de datos de los Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos-FECOC. Comparados con los factores de las guías de IPCC tienen una variación entre -6.8% al 6.6%. CH ₄ : Nivel 1 N ₂ O: Nivel 1	CO ₂ : FECOC -UPME CH ₄ : IPCC 2006. Volumen 2. Capítulo 2. Cuadro 2.2. N ₂ O: IPCC 2006. Volumen 2. Capítulo 2. Cuadro 2.2.
	Factor de actividad	Intervalo temporal para los años 1990 a 2009: No se cuenta con información de consumos de combustibles para esta serie de tiempo. Intervalo temporal para los años 2010 – 2018: Información no disponible para este rango de tiempo.	2010 – 2018: Información de datos de actividad fue procesada y preparada por el MME, quien recibe la información de fuentes primarias tales como Ecopetrol, UPME, SICOM y el SUI.
1A1 Industrias de la energía 1A1a. Producción de electricidad y calor como actividad principal.	Factores de emisión	Para el carbón se cuentan con factores de emisión propios de Colombia Nivel 2, para CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O.	FECOC -UPME
	Factor de actividad	Consumo de combustibles fósiles en centrales térmicas.	1999-2009: Balance Energético de Colombia (BECO). 2010-2018: Ministerio de energía. (Reportes XM).
1A2 Industrias manufactureras y de la construcción	Factores de emisión	CO ₂ : Corresponden a factores Nivel 2 de la base de datos de los Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos -FECOC. CH ₄ : Nivel 1 N ₂ O: Nivel 1	CO ₂ : FECOC -UPME CH ₄ y N ₂ O: IPCC 2006- Volumen 2, Capítulo 2, Cuadro 2.3
	Factor de actividad	Consumo de carbón como combustible en estas industrias.	Valores actualizados del BECO -UPME

Subcategoría	Variables	Descripción	Fuente de información
1A4 Otros sectores – Sector residencial y comercial	Factores de emisión	CO ₂ : Corresponden a factores Nivel 2 de la base de datos de los Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos –FECOC. CH ₄ : Nivel 1 N ₂ O: Nivel 1	CO ₂ : FECOC –UPME CH ₄ y N ₂ O: IPCC 2006 – Volumen 2, Capítulo 2.
	Factor de actividad	Consumo de carbón como combustible en el sector residencial y comercial.	Valores actualizados del BECO –UPME

Fuente: Informe del inventario nacional de gases efecto invernadero (NIR) 1990–2018 y carbono negro 2010–2018

4.1.2.1 Emisiones Fugitivas

En el caso de las emisiones fugitivas no se realiza la estimación para todas las categorías consideradas en las guías del IPCC debido a falta de información o a que en las mismas guías no aparecen alternativas de factores de emisión para sus estimaciones. Para la categoría 1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón se resume la información utilizada en la Tabla 9.

Tabla 9. Información utilizada INGEI 1990–2018 para emisiones fugitivas

Subcategoría	Variables	Descripción	Fuente de información
1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón 1B1ai Minería subterránea – 1B1ai1 Minería 1B1ai2 Emisiones posteriores a la minería 1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón 1B1aii Minería terrestre – 1B1aii1 Minería 1B1aii2 Emisiones posteriores a la minería	Factores de emisión	CO ₂ : Factor intermedio del Nivel 1 de la metodología IPCC, solo se utiliza en las categorías 1B1ai1 Minería y 1B1aii1 Minería. Para los procesos posteriores a la minería no se cuentan con factores de emisión desde las guías IPCC. CH ₄ : Se cuenta con información para el país de factores de emisión para cada una de las cuencas, por lo que corresponde a un método de Nivel 2 . En promedio estos valores se encuentran 70% por debajo de los valores medios sugeridos por el IPCC. Según el informe esto se asocia con la profundidad de sobrecarga de la mina y el tiempo de explotación de esta.	CO ₂ : IPCC refinamiento 2019 CH ₄ : Estudio que defina estrategias para el aprovechamiento del gas metano asociado a los mantos de carbón en explotaciones bajo tierra, UPME–UPTC, 2016
	Factor de actividad	Producción de carbón por minería subterránea por departamento	1990 – 2009: plataforma SIMCO. En este sistema se consolidan datos de producción, regalías, indicadores económicos, información técnica, entre otros, de la producción minera del país 2010 – 2018: MME recibe la información de fuentes primarias.
1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón 1B1ai3 Minas subterráneas abandonadas		Las emisiones de metano después de concluir las actividades de explotación minera, no han sido estimadas debido a la falta de disponibilidad de información necesaria para el cálculo. Dentro de las mejoras del INGEI del año 2014, se mencionó que se esperaba contar con esta información para el 2020. En el capítulo 3 del INGEI 2014 se detallan las mejoras propuestas para esta subcategoría, incluyendo la descripción de las acciones ya adelantadas al respecto que se describirán en las recomendaciones de este documento. Sin embargo, para el inventario de 2018 aún no se siguen considerando.	

1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón 1B1ai4 Quema en antorcha de CH ₄ drenado o conversión de CH ₄ a CO ₂	Estudios han sugerido que puede que se dé el aprovechamiento o quema del gas metano en el país; sin embargo, no existen registros de datos que den cuenta de la realización de esta actividad (UPTC, 2016).
1B1b. Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón	Las emisiones de esta subcategoría no se estimaron debido a que no se dispone de información sobre la ocurrencia de combustión no controlada por actividades de explotación del carbón. Las acciones de mejora del INGEI del año 2014, contemplan la estimación de esta categoría previstas a mediano plazo (año 2024). Según el INGEI 2014, la ruta a seguir para obtener la información con las características requeridas para el cálculo de esta categoría está siendo concertada con los diferentes actores involucrados en el sector.

Fuente: Informe del inventario nacional de gases efecto invernadero (NIR) 1990–2018 y carbono negro 2010–2018

4.1.2.1 Resultados

Con la información estimada en el INGEI, se realizó un análisis de contribución de las emisiones en las actividades de la cadena productiva del carbón (Uso, extracción y transporte) a las categorías del IPCC. Este análisis se presenta como un diagrama de Sankey en la Figura 9. Aquí se puede observar que el uso de carbón como combustible, en especial para la industria manufacturera y generación de energía eléctrica en termoeléctricas son las mayores aportantes de GEI. Por su parte las emisiones fugitivas representan un porcentaje bajo al igual que las emisiones generadas por el transporte del material dentro de la mina. También se observa que las mayores emisiones se encuentran asociadas al módulo 1A combustión estacional.

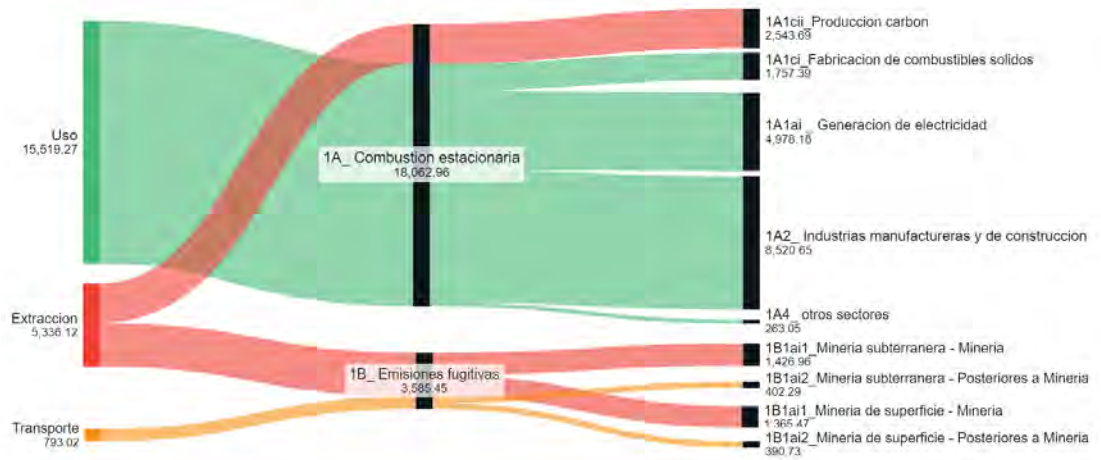


Figura 9. Diagrama de Sankey de emisiones CO₂eq (Gg) por actividades de la cadena productivas del carbón y categorías IPCC. (Transporte hace referencia a los procesos de transporte dentro de la mina)
Fuente: Este estudio a partir de información de INGEI 2018

En cuanto al aporte de las actividades del sector carbón a las emisiones de cada uno de los contaminantes en la Figura 10, se observa que el gas con mayor emisión corresponde a CO₂ principalmente emitido por la industria manufacturera y las termoeléctricas. El segundo contaminante más emitido corresponde a el CH₄, generado principalmente por las emisiones fugitivas dentro de las minas de extracción de carbón.

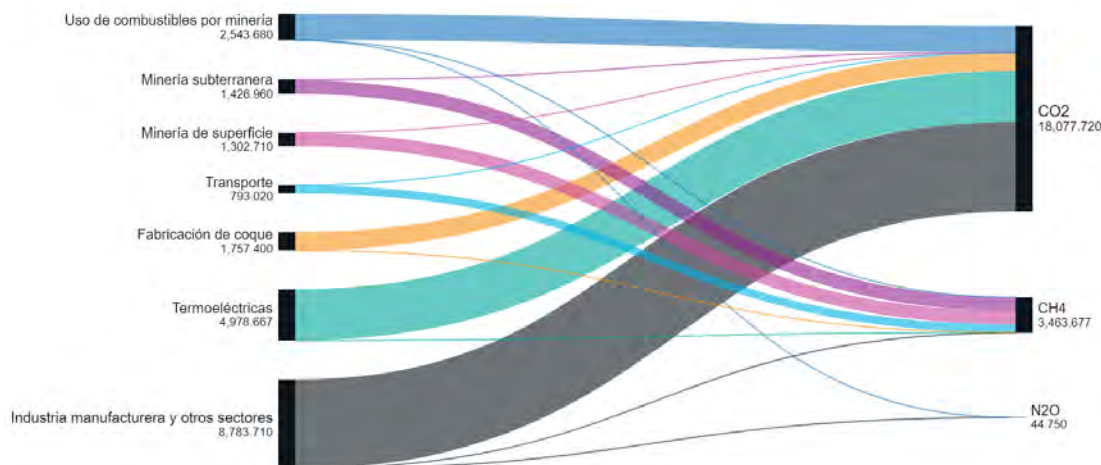


Figura 10. Diagrama de Sankey de emisiones por gas de efecto invernadero por actividades de la cadena productiva del carbón. (Emisiones en Gg de CO₂eq)
Fuente: Este estudio a partir de información de INGEI 2018

En total el inventario de CO₂eq para Colombia fue de 279 mil Gg para el año 2018. En donde el módulo de Energía (1A) genera el 33% de estas emisiones correspondientes a 92 mil Gg. Agrupando las emisiones específicas generadas por las actividades de la cadena productiva del sector carbón del país en las correspondientes categorías del INGEI (Figura 11), se estima que estas actividades aportan el 22% de las emisiones del modelo 1A y por lo tanto generan cerca del 7% de las emisiones totales del país.

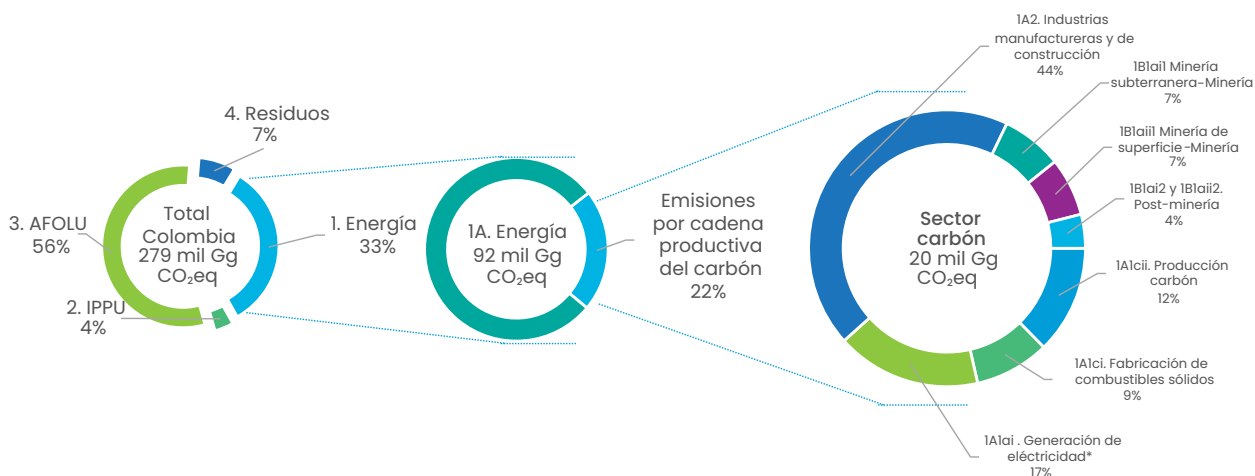


Figura 11. Participación en emisiones de CO₂eq del sector carbón en las emisiones totales generadas en Colombia para el año 2018.
Fuente: Este estudio a partir de información de INGEI 2018

Entre las subcategorías que se destacan por sus aportes en emisiones de CO₂eq, se encuentran las relacionadas al uso del carbón como energético en el sector manufacturero, termoeléctricas y fabricación del coque, y el consumo de combustibles fósiles por la minería de carbón, todas pertenecientes a la categoría 1A1. Esta categoría históricamente ha presentado variaciones donde sus picos máximos se presentan en 2016 (de 28.206 Gg CO₂eq) y en 2018 (24.532 Gg CO₂eq).

Para la categoría 1B1 Combustibles sólidos, se generaron en total 3.585,44 Gg CO₂eq, de los cuales la mayor contribución está dada por el CH₄ con un 95,6% y el restante 4,4% por CO₂. En esta categoría el 51% de las emisiones provienen de minas subterráneas y el 49% de las emisiones de minas superficiales (Figura 12). Esto es contrastante con la cifra, de que del total de las toneladas de carbón extraídas (cerca de 86 millones de toneladas en 2018) el 9% provienen de minas subterráneas y el 91% restante de minas de superficie.

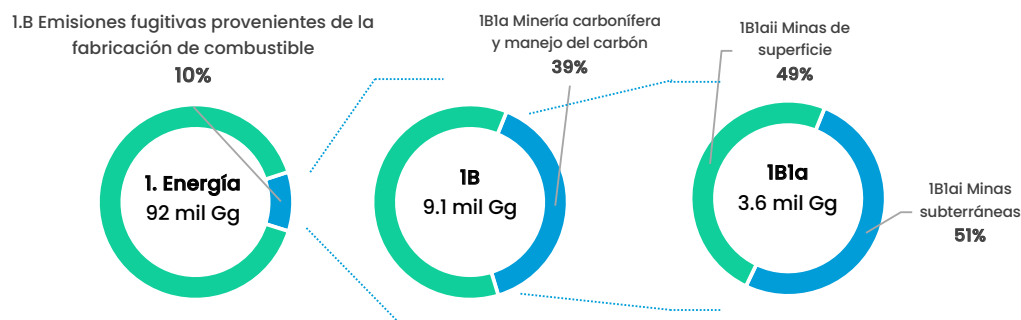


Figura 12. Participación en cadena en el sector de energía de las emisiones fugitivas del sector minería de carbón
Fuente: este estudio a partir de información INGEI 1990-2018

Según lo reportado en el INGEI, la categoría 1B1 presenta un aumento desde 2010 a 2018 en las emisiones en cerca de un 15%, lo que se asocia con el comportamiento de la extracción de carbón, en donde partir del año 2002 se favoreció los precios y las exportaciones, además de la consolidación de nuevos proyectos mineros. En este orden, la extracción de carbón tuvo un crecimiento máximo, hasta el máximo de emisiones en el año 2011, cuando la extracción superó en un 15,3% la producción de 2010, relacionado con la expansión en la capacidad de producción en las regiones del Cesar y La Guajira. A partir de 2011, la extracción de carbón decreció debido a una baja en la demanda mundial de carbón y que se mantuvo hasta el año 2014 (Moreno A., 2018). Sin embargo, en el año 2016 la extracción de carbón alcanzó otro máximo de 91,2 millones de toneladas, asimismo las exportaciones también incrementaron. Después de este año hasta 2018, se ha visto una reducción de la extracción que se ve reflejada en las emisiones generadas por el sector, sin embargo, según tendencias (ONU-FLORES, 2021), en 2020 se mantiene mostrando incrementos en el año 2019.

4.1.3 El inventario del sistema de monitoreo, reporte y verificación del sector minero energético (MRVme)

Como parte del desarrollo del segundo reporte del sistema MRV del sector minero energético, el MME realizó la estimación de las emisiones de la serie temporal de 2010 a 2021 y proyección para el año 2030, que para el sector del carbón incluye las categorías del IPCC:

- 1A1c Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas para la actividad de consumo de combustible en extracción
- 1B1a Minería carbonífera y manejo de carbón para la minería de superficie y subterránea

Esta estimación se basó en el protocolo de cálculo de emisiones MME, basado en la metodología del IPCC 2006 con algunas actualizaciones del IPCC en 2019 (CIAT y Ministerio de Minas y Energía, 2021) y utilizó como información de entrada las proyecciones del sector elaboradas por la UPME documentadas en el Plan de Expansión Minero-Energética de 2014, así como en los planes de abastecimiento de gas natural y combustibles líquidos.

Esta estimación se basó en el protocolo de cálculo de emisiones MME, basado en la metodología del IPCC 2006 con algunas actualizaciones del IPCC en 2019 (CIAT y Ministerio de Minas y Energía, 2021) y utilizó como información de entrada las proyecciones del sector elaboradas por la UPME documentadas en el Plan de Expansión Minero-Energética de 2014, así como en los planes de abastecimiento de gas natural y combustibles líquidos.

De igual forma, el MRV propicia la colaboración entre los actores involucrados buscando aplicar las mejores prácticas para su desarrollo, de este modo permitió refinar las emisiones calculadas en el sector de energía en el INGEI 1990-2018 que se reportaron en el BUR2, la proyección de emisiones para la actualización de la NDC (línea base MADS 2020) y el INGEI BUR 3 año 2021. Ya que, al identificar discrepancias entre cada una de las estimaciones, especialmente con el BUR2 y BUR3, se posibilitó la actualización de la metodología de estimación y la armonización de las emisiones GEI pronosticadas en los inventarios nacionales de emisiones desarrollados por el IDEAM con aquellas estimadas por el MRVme.

Entre los complementos realizados para esta línea base se encuentra la estimación de emisiones GEI para el sector minero energético a nivel departamental, así como la presentación de las emisiones no solo por categorías IPCC, sino también por los sectores como son:

- Minería extracción de carbón
- Minería extracción de otros minerales
- Petróleo y gas-downstream
- Petróleo y gas-midstream
- Petróleo y gas-upstream
- Sistema interconectado nacional-embalses
- Sistema interconectado nacional-normal
- Zonas no interconectadas-telemetría y no telemetría

Esto permite tener claridad de las emisiones específicas el sector carbón y su participación a nivel departamental. En general la minería de carbón se ha concentrado mayoritariamente los departamentos del Cesar (31% del total de la actividad minera del país) y la Guajira como se puede observar en la Figura 13. También se reporta un descenso en la serie temporal en los departamentos de Boyacá, Cesar, Norte de Santander, Cauca y Cundinamarca. Y un incremento para la Guajira respecto al año 2020, siendo el único departamento que registró este comportamiento.

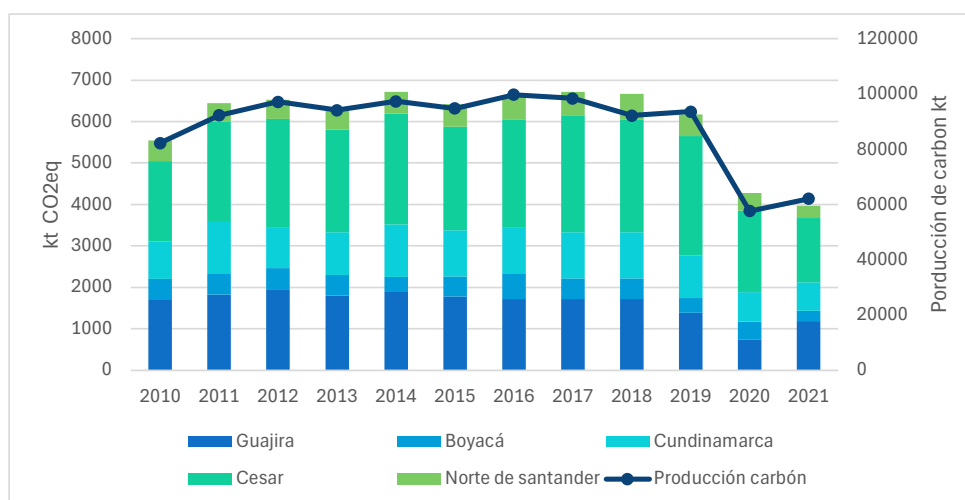


Figura 13. Emisiones del sector de minería de extracción de carbón por departamento destacados
Fuente: Este estudio a partir de graficas del segundo reporte MRVme

Otros de los resultados destacados son la reducción en general de las emisiones de minería de carbón encontrando su mínimo en el año 2021, con una reducción del 27% con respecto al año 2010. Esto se ve reflejado directamente las emisiones de CO₂eq (Figura 13) y a su vez en la reducción de su participación en las emisiones del sector minero energético hasta llegar a su mínimo del 13% en el año 2020.

Tabla 10. Emisiones por año y participación del sector de minería de extracción de carbón

Año	Emisiones CO ₂ eq de minería de carbón (Mt)	Total emisiones del sector minero energético	Participación
2010	5.18	30.1	17%
2011	6.08	27.4	22%
2012	6.24	29.68	21%
2013	5.94	32.72	18%
2014	6.22	33.56	19%
2015	6.04	36.4	17%
2016	6.32	34.87	18%
2017	6.43	28.72	22%
2018	6.45	31.02	21%
2019	5.96	33.81	18%
2020	4.06	31.9	13%
2021	3.81	26.91	14%

Fuente: Este estudio a partir de gráficas del segundo reporte MRVme

4.1.4 Estimación de emisiones de carbono negro en Colombia

Conforme a lo descrito en el Informe del inventario nacional de gases efecto invernadero (NIR) 1990-2018 y carbono negro 2010-2018 de Colombia, correspondiente al BUR3, el inventario de emisiones de carbono negro y gases precursores es elaborado siguiendo los métodos y lineamientos establecidos en la “Guía técnica para la elaboración de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos conjunta EMEP/EEA” del año 2019 (en adelante Guidebook EMEP/EEA 2019).

Las emisiones de carbono negro (CN) generadas por el sector de la minería del carbón en Colombia se estiman a partir de los lineamientos de la Guidebook EMEP/EEA 2019 y se contabilizan en las categorías 1A1c *Fabricación de combustibles sólidos*. Por su parte la categoría 1B1a *Minería carbonífera y manejo de carbón*, no se cuantifica ya que estas emisiones son de tipo fugitivo, en las cuales no se genera este contaminante.

Guidebook EMEP/EEA 2019 presenta dos niveles metodológicos para estimación de emisiones conforme al detalle de información que se tenga disponible. La estimación de CN realizada para la categoría 1A1c *Fabricación de combustibles sólidos*, corresponde al nivel 1. A continuación, de manera informativa, se presenta detalle de los niveles metodológicos.

Tabla 11. Detalle de niveles metodológicos para estimar carbono negro en minería de carbón – combustión interna

Nivel	Descripción
1	Mediante una ecuación básica se asocia el dato de actividad (consumo, producción, etc.) reportado para el país y los factores de emisión por defecto, los cuales asumen una implementación de tecnología y reducción promedio o típica.
2	Se utiliza la misma ecuación básica del Nivel 1 sin embargo, la estimación de emisiones se realiza por tipo de tecnología, es decir que se utilizan tanto datos de actividad como factores de emisión específicos por tipo de proceso/tecnología.

Fuente: Informe del inventario nacional de gases efecto invernadero (NIR) 1990-2018 y carbono negro 2010-2018

La ecuación para los niveles 1 y 2 se presentación en la Ecuación 8, con la diferencia que en para el nivel 2 se utilizan los factores de emisión específicos de las tecnologías identificadas.

$$E_{\text{contaminante}} = TA \times FE_{\text{contaminante}}$$

Ecuación 8. Nivel 1 y 2

En donde:

$E_{\text{contaminante}}$	Emisión anual por contaminante	Emisión anual por contaminante
TA	Tasa de actividad / Dato de actividad	Tasa de actividad / Dato de actividad
$FE_{\text{contaminante}}$	Factor de emisión por contaminante	Factor de emisión por contaminante

4.1.4.1 Descripción metodológica

Debe tenerse en cuenta que el Inventario Nacional de Carbono Negro se desarrolla como complemento al Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero (INGEI). En este sentido, los datos de actividad recopilados, procesados y analizados para la estimación de las emisiones de GEI a escala nacional constituyen la principal fuente de información para la estimación de las emisiones de carbono negro y gases precursores.

Conforme al nivel metodológico Nivel 1, a continuación, se detallan las variables y fuentes de información utilizadas para la estimación de emisiones de CN de la categoría 1A1c *Fabricación de combustibles sólidos*.

Tabla 12. Información utilizada para estimar carbono negro 2010-2018 para combustión interna

Nivel	Variables	Descripción	Fuente de información
1A1 Industrias de la energía 1A1c. Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas – Otras industrias de la energía	Factor de actividad	1990 a 2009: No se cuenta con información de consumos de combustibles para esta serie de tiempo. 2010-2018: Información no disponible para este rango de tiempo.	2010 – 2018: Información de datos de actividad fue procesada y preparada por el MME, quien recibe la información de fuentes primarias tales como Ecopetrol, UPME, SICOM y el SUI.
	Factor de emisión	EMEP/EEA 2019 PART B CH1.A.1 Tablas 3-2 a 3-7, 4-2 y 5-1	Guidebook EMEP/EEA 2019

Fuente: Informe del inventario nacional de gases efecto invernadero (NIR) 1990-2018 y carbono negro 2010-2018

4.1.4.2 Resultados

Para este análisis solo se considerarán las actividades de minería y postrimería consideradas en el inventario, ya que esta es la información específica con la que se puede contar de toda la cadena de productiva del carbón. En total las emisiones de Carbono Negro (CN) para el año 2018 fueron 28 Gg, en donde cerca 97,6% de estas corresponden al sector de Energía, el cual el 99% es aportado por la categoría 1A la quema de combustibles. De este el 12% (27 Gg), es generado por la industria de la energía, en donde el 99% lo aporta la categoría 1A1c. fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas en donde se encuentra la minería de carbón.

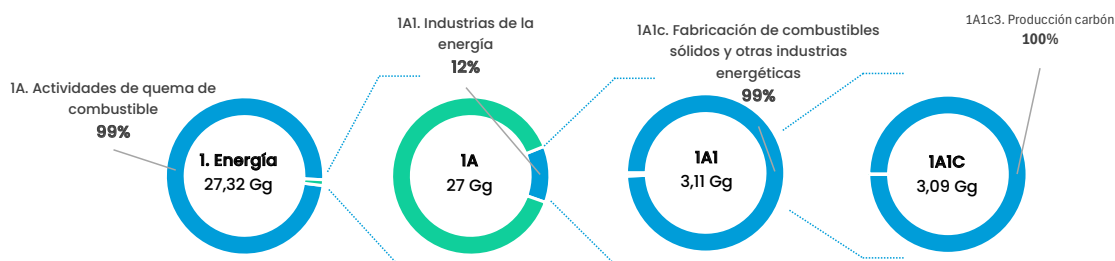


Figura 14. Participación en cadena – sector de energía – emisiones CN por quema de combustible del sector minería de carbón

Fuente: Este estudio a partir de información inventario CN 2010–2018 del BUR3

4.2 Metodologías de inventarios corporativos

Los inventarios corporativos del sector minero miden la huella de carbón que corresponde a la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera por emanación directa o indirecta de las empresas. Existen diferentes metodologías y protocolos para la estimación de emisiones corporativas. Según los “Lineamientos para la formulación de los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Empresariales del sector minero” se sugieren varias metodologías priorizando la norma ISO 14064-1 por su carácter internacional. En esta sección se hará énfasis en describir esta metodología, pero se mencionarán también otras de importancia a nivel internacional.

4.2.1 Norma ISO 14064-1:2018

Esta norma establece 5 principios base para ser aplicados al momento de la estimación de la huella de carbón. Estos corresponden a:

- o Pertinencia: Se relaciona a incluir la información relevante y de interés para cualquier usuario en general.
- o Cobertura total: Considera que se deben incluir todas las fuentes de emisión y remociones de GEI.
- o Coherencia: Este principio busca que los resultados del inventario sean comparables a lo largo del tiempo, entre ellos y con el año base.
- o Exactitud: Tiene el objetivo de generar de inventarios de emisiones de calidad con un bajo sesgo. Por lo en la metodología se propone el cálculo de la incertidumbre.
- o Transparencia: Divulgar la información suficiente y apropiada relacionada con los GEI, para permitir que los usuarios previstos tomen decisiones con confianza razonable.

De igual forma, esta norma establece cinco (5) fases para la estimación de la huella de carbono que se presentan en la Figura 15 y que se describen a continuación de forma general.

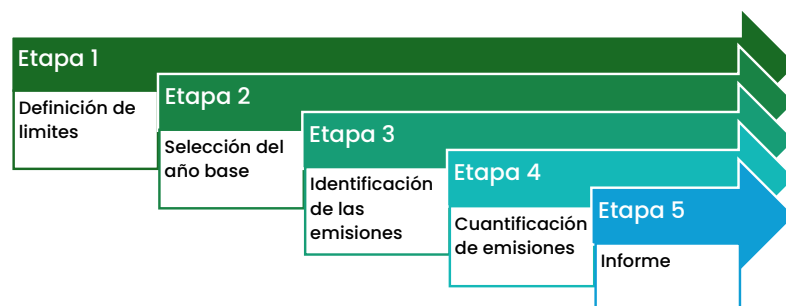


Figura 15. Etapas de metodología ISO 14046-1
Fuente: Norma ISO 14064-1:2018

4.2.1.1 Definiciones de límites

En este sentido la norma plantea establecer límites organizacionales y límites operativos. Los límites organizacionales se refieren a acotar las instalaciones que van a ser incluidas en la estimación de emisiones. Si el inventario de emisiones tiene un enfoque de control, se deben considerar todas las instalaciones que conforman la organización y sobre las cuales tiene control operacional o control financiero. Por el contrario, si el inventario de emisiones tiene un enfoque de cuota de participación la organización estima las emisiones y remociones de la parte proporcional a las acciones que la organización posee.

Los límites operativos establecen las fuentes de emisión o de sumidero de GEI que se incluirán en el inventario de emisiones. Aquí se establecen los tipos de emisiones por alcances 1, 2 y 3. Entendiéndose como alcance 1 las emisiones directas, que provienen de fuentes controladas por la organización. Las emisiones del alcance 2 son emisiones indirectas, corresponden aquellas generadas por consumo de energía eléctrica o calor de vapor de origen externo. Finalmente, el alcance 3, son también emisiones indirectas de fuentes que no se encuentra bajo el control de la organización pero que realizan actividades externas para esta. Para determinar si una fuente de emisión es directa o indirecta es necesario analizar si las emisiones se producen dentro de los límites de la organización tal y como se han definido anteriormente.

Para esta metodología se presenta como requisito considerar las emisiones de tipo alcance 1 y 2, mientras que las emisiones de alcance 3 son opcionales en su estimación.

4.2.1.2 Selección del año base

La selección del año base es de gran importancia ya que corresponde a aquel año con el cual se compararán los inventarios de los siguientes años, donde la empresa realizara mejoras y estrategias para reducir los GEI. El año base puede ser, un año físico, o un promedio de un periodo más dilatado en el tiempo, este debe permitir una comparación consistente de las emisiones a lo largo del tiempo. Por ello, para la selección del año base se recomienda aplicar los siguientes criterios de decisión:

- o Representativo de la operación normal de la organización.
- o Disponibilidad de datos auditables.
- o Lo más lejano en el tiempo posible.
- o Importancia histórica del año en el encaje de la estrategia de la organización en materia de reducción de emisiones.

4.2.1.3 Identificación de las emisiones

En esta parte, la norma enfatiza la necesidad de la identificación de las fuentes de emisión o sumideros que se encuentran dentro de los límites establecidos para el inventario. Se dan ejemplos y propuesta para identificar los tipos de emisiones sean directas o indirectas. En forma resumida las emisiones directas se relacionan a consumos de combustibles fósiles de fuentes móviles o fijas, emisiones fugitivas que incluyen procesos químicos en el que se libere GEI y emisiones por descomposición de materia orgánica.

Por su parte las emisiones indirectas por energía, son aquellas consumidas por las instalaciones de la organización pero que tienen origen en fuentes externas como plantas eléctricas o de calor.

Por su parte las otras emisiones indirectas se debe identificar los procesos que se llevan a cabo fuera de los límites de la organización que incluyen actividades tercerizadas como transporte, tratamientos de residuos, compras, entre otras.

4.2.1.4 Cuantificación de emisiones

La cuantificación en sí de las emisiones pueden desarrollarse a partir de las guías IPCC escogiendo el nivel de complejidad (nivel 1, 2 y 3) de acuerdo con la disponibilidad de información. Esta estimación conlleva la sección de factores de emisión y consolidación de la variable actividad para las fuentes de emisión identificadas. Se propone diseñar una herramienta que recopile los cálculos realizados y que puedan ser replicados en los inventarios de los siguientes años. Esta herramienta puede ser una hoja de cálculo ajustada a las fuentes de emisión de la organización.

Adicionalmente en consecuencia al principio de exactitud, se debe hacer la estimación de la incertidumbre y remociones de GEI, incluyendo la incertidumbre asociada con los factores de emisión y remoción." Asimismo, en la cláusula 7.3.1 indica que la organización en el informe de GEI "debe incluir una descripción del impacto de las incertidumbres en la exactitud de los datos de las emisiones y remociones de GEI".

4.2.1.5 Generación de informe

Los objetivos principales del informe son, tanto facilitar la verificación del inventario de GEI, como informar a los usuarios que la organización considere oportuno. Para ello, el informe deberá cumplir con los principios de la norma, deberá ser completo, coherente, preciso, pertinente y transparente.

La norma indica el contenido que debe incluir de manera obligatoria en el informe, los cuales se describen en la Figura 16.



Figura 16. Contenido del informe
Fuente: Norma ISO 14064-1:2018

Aunque no es una práctica generalizada, cada vez más las empresas del sector minero vinculan dentro de sus informes de sostenibilidad, temas asociados a la generación de emisiones directas de GEI por sus operaciones mineras (incluida logística de transporte) y a la generación de emisiones indirectas como las atribuidas al consumo de energía eléctrica; con base en estos análisis se han vuelto frecuentes las iniciativas corporativas de eficiencia energética, de optimización del uso de instalaciones, de ahorro y uso eficiente de la energía, de sustitución de equipos, entre otras, como parte de su aporte en mitigación del cambio climático; incluso se han identificado casos en los que, con base en estudios concienzudos de capacidad, se establece el panorama de tiempo para llegar a la carbono neutralidad a nivel corporativo, con los respectivos indicadores de seguimiento para evaluar su eficacia en el corto, mediano y largo plazo.

4.2.2 Otras guías o protocolos

Adicionalmente se presentan otros protocolos que presentan metodologías estandarizadas para la generación de este tipo de inventarios y que son utilizadas ampliamente para diferentes sectores.

- **The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard**

Descripción

Esta guía es utilizada a nivel internacional para la estimación de inventario de emisiones de entidades corporativas. Pretende mejorar la coherencia con la que se aplica la norma y la información resultante que se informa públicamente. Tiene la ventaja de estar acompañada de herramientas de estimaciones para fuentes de emisión como estacionarias y móviles. Proporciona un estándar verificable para las empresas interesadas en dar este paso en la estimación de emisiones, presentando una propuesta de pasos bien definidos a seguir por las organizaciones.

Fuente	World Business Concil for Sustentable Development (WBCSD) y World Resources Institute (WRI)
Componentes relevantes	- Se establecen 5 principios básicos para el reporte como son: relevancia, integridad, consistencia, transparencia y exactitud. - Definición de los objetivos de la empresa como razones para compilar los inventarios y hacer el diseño del inventario. - Establecer los limites organizacionales y operacionales, haciendo una definición clara de tipo de emisiones por alcances. - Seguimiento de las emisiones a lo largo del tiempo en donde se presentan la sección de la línea base. - Identificación de emisiones y estimación, que incluye la selección del enfoque de cálculo, selección de factores de emisión y recolección de información, aplicar herramientas de cálculo y almacenamientos de datos a nivel corporativo.
Bilan Carbone – Methodological guidelines	
Descripción	Desarrollado en 2011 el Bilan Carbone (o Contabilidad del Carbono) es una herramienta de medición de las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero (GEI), que sirve a las empresas como parte de su enfoque de responsabilidad social empresarial.
Institución y ámbito	Agencia Francesa de Medio Ambiente y Gestión de la Energía (ADEME)
Componentes relevantes	Se compone de seis etapas que consisten en: - La sensibilización con el cambio climático - Definición del área de estudio, recolección de los datos - Análisis de los resultados - Diseño de un plan de acción de reducción e indicadores - La implementación de ese plan.
PAS 2060:2014 – Specification for the demonstration of carbon neutrality implementation guide	
Descripción	PAS (por sus siglas en ingles de Especificaciones Disponibles Públicamente) corresponden a una serie estándares similar a la implementación de sistemas de gestión tipo ISO. Esta guía da un paso a paso para lograr carbono neutralidad dentro de una corporación, por lo que no solo presenta pasos para la estimación de emisiones, sino también define actividades de seguimiento a las reducciones y compensaciones que se establezcan.

Institución y ámbito	Distrito de Gestión de la Calidad del Aire del Desierto de Mojave, California.
Componentes relevantes	Está compuesta por 4 pasos, de los que se encuentran: • Medición, en donde es calcular la huella de carbono real de la organización determinado y poder evidenciarlo. Una lista de las metodologías a utilizar se presenta en el documento. • Reducción. El resultado previsto de esta etapa del proceso es formar un Plan de Gestión de la Huella de Carbono. • Compensación. Los usuarios deben compensar todas las emisiones residuales relacionadas con el tema elegido; lo que esto significa es que se debe contabilizar la huella de carbono que queda después de que se hayan realizado las reducciones (en el paso 2). mediante compensaciones de carbono. • Documentación y preparación para verificación como parte del cumplimiento de la norma.

5.

Experiencias internacionales en estimación de emisiones GEI

Se realizó la revisión bibliográfica que permitió realizar una comparación con metodologías utilizadas en otros países que permitan identificar puntos claves en la consolidación de los inventarios y que sean plausibles para su utilización en el contexto colombiano.

5.1. Revisión de documentos científicos y estudios puntuales de estimación de emisiones

Los documentos revisados influyen informes, normativas y artículos científicos. Estos se resumen en fichas para cada documento y se presentan a continuación.

Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
Global methane track	https://www.iea.org/reports/-global-methane-tracker-2024	Global	2024	-
Descripción				
Presentan de forma resumida las metodologías que usa la Agencia Internacional de Energía sobre emisiones de metano en el marco del Modelo Global de Energía y Clima (GEC). Este modelo ha proporcionado proyecciones energéticas a mediano y largo plazo, utilizando este modelo de simulación a gran escala diseñado para replicar cómo funcionan los mercados energéticos y generar proyecciones detalladas sector por sector y región por región para los escenarios de la Perspectiva Energética Mundial				
Metodología				
✓ Se cuenta con un modelo específico para estimación de metano de minas de carbón. ✓ Las estimaciones se derivan de las intensidades de emisiones específicas de cada mina o de cada región de Australia, China, la India y los Estados Unidos (que en conjunto representaron alrededor del 75% de la extracción mundial de carbón en 2022). ✓ También se verifican y calibran con estimaciones a nivel de país tomadas de satélites y lecturas atmosféricas. ✓ Con base en estos datos, la calidad del carbón, la profundidad de la mina y la supervisión regulatoria se utilizan para estimar las intensidades de emisiones para minas en otros países para los cuales existen estimaciones. ✓ Las emisiones de minas abandonadas no están incluidas en las estimaciones ya que los estudios de medición relacionados cubren un número limitado de instalaciones y regiones. Asimismo, hay datos limitados disponibles sobre las minas cerradas.				
Fuentes de información				
-EPA inventario de emisiones GEI EEUU - Informes de inventario Nacional de Australia - China (Wang et al., 2018; Zhu et al., 2017) - India (Singh AK y Sahu JN, 2018)				

Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
National Greenhouse and Energy Reporting (Measurement) Determination 2008	https://www.iea.org/reports/-global-methane-tracker-2024	Australia	2008	-
Descripción				
Este documento presenta las directrices para reportar, según lo que dicta la Ley nacional de reporte de GEI y energía. En general presenta los métodos para la estimación de emisiones de los obligados por la ley. Este documento cuenta con sus propias categorías. En el caso de la minería de carbón se asocian a 1A Combustión de combustible, 2A Minas subterráneas y 2B Minas a cielo abierto.				

Metodología	
✓	Presenta los diferentes métodos que deben seleccionar los obligados a reportar las emisiones de GEI al momento de hacer las estimaciones. Este protocolo presenta un abanico de opciones de métodos a implementar. Unos más rigurosos que otros dependiendo de la disponibilidad de la información de la empresa.
✓	El método 4, que es uno de los más rigurosos se propone para la categoría de quema de combustible en donde se describe como parte de su desarrollo la implementación de monitoreo en tiempo real (CEM) o monitoreos de emisiones periódicas (PEM).
✓	Los métodos de menor nivel requieren de factores de emisión que en varios de los casos se hace referencia a los factores presentados por las guías IPCC.
✓	También se reportan factores de emisión propios del protocolo que se encuentran corregidos según las especificaciones de capacidad calorífica de los combustibles como es el caso del carbón.
✓	Para el caso de las emisiones fugitivas por producción de carbón en minas subterráneas se propone utilizar un método 4 para emisiones emitidas de los ductos de ventilación, las emisiones de gas quemado y post-extracción se propone con métodos que utilicen factores de emisión. Por su parte en el caso de minas a cielo abierto se propone solo métodos que utilicen factores de emisión. Estas indicaciones son similares a las propuestas por las guías del IPCC.
✓	En estas guías no se mencionan estimaciones de minas abandonadas o emisiones por oxidación lenta del carbón en el aire, por lo que comprende por el momento metodologías estándar.
Fuentes de información	
Guías IPCC 2006, Guidelines for the Implementation of NGER Method 2 or 3 for Open Cut Coal Mine Fugitive GHG Emissions Reporting (C20005), API Compendium means the document entitled Compendium of Greenhouse Gas Emissions Methodologies for the Oil and Natural Gas Industry, published in August 2009 by the American Petroleum Institute, Estándares ASTM	

Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de las minas abandonadas en España y desarrollo de una metodología la estimación de estas en el Inventario Nacional de emisiones	https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/estudiominasactiva/saiteminsei_tcm30-445554.pdf	España	2014	AITENIM centro tecnológico
Descripción				
Informe que detalla las metodologías, fuentes de información y resultados de la estimación de emisiones GEI en España para el año 2013. Este estudio fue contratado por el gobierno de España desde la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural.				
Metodología				
✓	Se menciona que tomaron como referencia la metodología presentada por el IPCC en su Capítulo 4, Emisiones Fugitivas, Ap 4.1.5, Minas de carbón subterráneas abandonadas. Sin embargo, también se realizaron estimaciones para minas a cielo abierto aclarando la incertidumbre de estos cálculos.			

- ✓ Como información principal de entrada se considera el “Directorio de la Minería Española” que cuenta con la información de registro de minas a 1988. Con apoyo de entidades gubernamentales, así como de las diferentes empresas del sector se pudo realizar una depuración y actualización de la información donde se identificaron 244 minas abandonadas y 26 minas activas.
- ✓ En cuanto a la información necesaria para conocer las emisiones actuales de las minas, se consideraron fuentes de curvas de decaimiento de estudios como USEPA (Franklin et al, 2004) y factores de emisión propios de España para estimación de las emisiones de minas activas están recogidos en el Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera 1990-2012. Volumen 2. Análisis por Actividades SNAP.

Fuentes de información

Guías IPCC 2006, Directorio de la Minería Española, Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera 1990-2012. Volumen 2. Análisis por Actividades SNAP, PROPOSED METHODOLOGY FOR ESTIMATING EMISSION INVENTORIES FROM ABANDONED COAL MINES. USEPA and Raven Ridge Resources.

Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
Emisiones de metano abandonadas en Estados Unidos	https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-03/documents/amm_final_report.pdf	Estados Unidos	2004	USEPA
Descripción				
Presenta las metodologías y los resultados de las estimaciones de metano en Estados Unidos generadas por minas abandonadas en el periodo de 1990 a 2002.				
Metodología				
Este es el documento que sirvió como base para las metodologías presentadas hoy en las guías IPCC para estimación de emisiones en minas abandonadas subterráneas. Los siguientes fueron en general los pasos desarrollados para su estimación:				
✓ Se consolidó una base de datos de minas abandonadas en Estados Unidos que comprendían 374 minas. ✓ Identificación de los factores que afectan las emisiones de metano en minas abandonadas como el contenido de gas en el carbón, capacidades de flujo de la veta de carbón y en vacío, la determinación de la curva de decaimiento de las emisiones desde la fecha de abandono, entre otras. ✓ Se realizaron mediciones en campo en 7 minas abandonada en el país para verificar las emisiones actuales de venteo. Así como se complementó como con estudios ya realizados en 21 minas. ✓ Se realizó la estimación de las emisiones del inventario con esta información. Se realiza el ajuste de las emisiones teniendo en cuenta el gas recuperado y utilizado en 20 minas.				
Fuentes de información				
Cuenta con varias fuentes de información, entre las que se destaca: EPA study (Kirchgessner, 2001), Revised 1996 IPCC Guidelines, Fetkovich, M.J., Fetkovich, E. J., and Fetkovich, M.D.: “Useful Concepts for Decline Curve Forecasting, Reserve Estimation and Analysis,” paper SPE 28628 presented at the 1994 SPE 69th Annual Technical Conference and Exhibition				

Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
Ficha Técnica de emisiones fugitivas en la minería de carbón	https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/0501-fugitivas-minas_tcm30-481948.pdf	España	2004	Sistema Español de Inventario de Emisiones Metodologías de estimación de emisiones
Descripción				
Corresponde a la ficha técnica de las metodologías implementadas para la estimación de emisiones fugitivas del sector carbón en España.				
Metodología				
✓ Se describe que las metodologías implementadas corresponden netamente a las presentadas en las guías IPCC para metano y las Guía EMEP/EEA (2016) para material particulado. ✓ En cuanto a los factores de emisión se especifican factores propios en el caso de emisiones de metano por actividades de extracción en minas a cielo abierto y subterráneas. Estos factores corresponden a una media ponderada del contenido del gas en las capas de carbón basados en mediciones realizadas por AITEMIN. ✓ Las variables de actividad se obtienen directamente del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, gestor de esta información.				
Fuentes de información				
Guías IPCC 2019, Factores de emisión propios de España				
Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
Informe del Inventario Nacional de Chile 2022: Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2020	https://unfccc.int/sites/default/files/resource/2022%20IN%20CL.pdf	Chile	2023	Ministerio del Medio Ambiente y SNICHile
Descripción				
Informe de estimación de emisiones GEI y carbono negro.				
Metodología				
✓ Se presentan las estimaciones para cada sector. En especial para el sector de minería de carbón se siguen las metodologías e las guías IPCC 2006, se utilizan métodos de nivel 1, es decir aún no se cuentan con factores de emisión propios para el país. ✓ Para el módulo de energía se cuentan con factores de emisión país por la quema de carbón, sin embargo, para otros combustibles se utilizan los predeterminados por las guías IPCC. ✓ En cuanto a la estimación de BC y otros contaminantes no se especificas en este informe más metodologías utilizadas.				
Fuentes de información				
Guías IPCC 2019				

Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
National quantifications of methane emissions from fuel exploitation using high resolution inversions of satellite observations	https://www.nature.com/articles/s41467-023-40671-6	Global	2023	Autores: Lu Shen, Daniel J. Jacob, Ritesh Gautam, Marcos Omara, Tia R. Scarpell, Alba Loren, Daniel Zavala-Araiz, Xiao Lu, Zichong Chen, Jintai Lin Revista: SpringerNature
Descripción				
Se presenta la estimación de emisiones de metano para cada país procedentes de la explotación de combustibles mediante inversiones de alta resolución de observaciones satelitales utilizando TROPOMI				
Metodología				
✓ Se utilizaron 22 meses (mayo de 2018–febrero de 2020) de observaciones satelitales del instrumento TROPOMI para cuantificar mejor las emisiones nacionales en todo el mundo mediante análisis inverso con una resolución de hasta 50 km. ✓ Se separó el mundo en un mosaico con 15 dominios que representan el 96% de las emisiones globales provenientes de la explotación de combustibles fósiles en 2019 según GlobalFuel Emissions Inventory versión 2 (GFEI v2). ✓ Se incluyeron las observaciones de TROPOMI en cada dominio utilizando el modelo GEOS-Chem para la simulación de transporte atmosférico. ✓ Se compararon las emisiones de arriba hacia abajo en grandes cuencas de explotación de combustibles fósiles con 24 estimaciones de campañas de campo, incluidas observaciones in situ y de teledetección en todo el mundo. ✓ Las campañas de campo se llevaron a cabo durante un rango de períodos de tiempo entre 2011 y 2020. El coeficiente de comparación entre las estimaciones posteriores derivadas de TROPOMI y las estimaciones de la campaña de campo fue de 0,95. ✓ Los resultados indican además que TROPOMI puede detectar con éxito emisiones tan bajas como 0,2 Tg/año a escala de cuenca. ✓ Se utilizaron otros recursos como EDGAR v4.3.243. para otras emisiones antropogénicas, Wet-CHARTs v1.3.136 para emisiones de humedales y GFED4s para incendios forestales.				
Fuentes de información				
TROPOMI, EDGAR v4.3.243, WetCHARTs v1.3.136, GFED4s, GlobalFuel Emissions Inventory version 2, Entre otras fuentes bibliográficas				

Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
Methane Emissions from Superemitting Coal Mines in Australia Quantified Using TROPOMI Satellite Observations	https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.est.1c03976	Australia	2021	Environmental Science & Technology

Descripción
Estimación de emisiones de metano en minas de carbón en Australia utilizando información satelital de TROPOMI
Metodología
✓ Se utilizaron dos años de observaciones satelitales para cuantificar las emisiones de metano de las minas de carbón en Queensland, el estado productor de carbón más grande de Australia. ✓ Se utilizó información satelital de TROPOMI. Adicionalmente se utilizando esta información de columnas de metano se utilizó el método de flujo transversal para estimación de las emisiones. ✓ Estos valores se encuentran acordes con las mediciones establecidas por Total Carbon Column Observing Network y Geenhouse gases ObservingSATellite-GOSAT. ✓ Los resultados de este estudio muestran que las emisiones calculadas para los tres sitios fueron superiores a las estimadas en los inventarios de emisiones informadas por el gobierno de Australia.
Fuentes de información
TROPOMI, RemoTeC como algoritmo para procesar la información satelital, EDGARv4.3.25, Sistema de Observación de la Tierra Goddard de la NASA con procesamiento rápido (GEOS-FP), entre otras fuentes bibliográficas

Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
Quantifying Time-Averaged Methane Emissions from Individual Coal Mine Vents with GHGSat-D Satellite Observations	https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c01213	Estados Unidos Australia China	2020	Autores: Daniel J. Varón, Daniel J. Jacob, Dylan Jervis y Jason McKeever Revista: Environmental Science & Technology
Descripción				
Se realiza la estimación de emisiones en tres minas subterráneas en Estados Unidos, Australia y China. Estas estimaciones se basan en información satelital de GHGSat-D.				
Metodología				
✓ Se utilizó el instrumento satelital GHGSat-D con una resolución espacial efectiva de 50 m y una precisión de columna de un solo paso del 9% al 18% para cuantificar las tasas de fuente promedio para tres respiraderos de minas de carbón (San Juan, Estados Unidos; Appin, Australia; y Bulianta, China), durante un período de dos años (2016-2018). ✓ Se describen las metodologías incluyendo métodos de rotación de vientos, de masas integradas y flujo de sección transversal. Estos métodos permiten hacer un tratamiento de la información satelital y adecuarlas para obtener información en términos de emisiones. Así mismo se utilizó datos de viento locales procedentes de GEOS-FP.				
Fuentes de información				
Sistema de Observación de la Tierra Goddard de la NASA con procesamiento rápido (GEOS-FP)				

Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
Update of Estimated Methane Emissions from UK Abandoned Coal Mines	https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat07/1107080945_1775-ghg-improvement-project-wsp-report.pdf	Reino Unido	2011	Department of Energy and Climate Change
Descripción				
Informe de las proyecciones de emisiones de metano del Reino Unido generadas por las minas de carbón actualmente operativas que se espera que cierren antes de 2050 y se consideraran en las estimaciones como minas abandonadas.				
Metodología				
✓ Las estimaciones se basaron en el trabajo realizado por la consultora WYG también para el Reino Unido. Este trabajo consistió en el uso de información de bases de datos y mediciones directas de emisiones metano para 143 minas abandonadas. ✓ Se adaptó la información anterior a las metodologías IPCC de 2016 y USEPA. ✓ Esta estimación utiliza como método un híbrido entre Nivel 2 y Nivel 3 del IPCC, ya que cuentan con información medida que se puede extrapolar a varias de las minas de estudio.				
Fuentes de información				
Projected Methane Emissions from Abandoned Coal Mines in the UK.WYG. 2005, Emisiones de metano abandonadas en Estados Unidos. USEPA.2004, Guías IPCC 2006.				

Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
Coal mine gas: a new fuel utilization technique for India	https://doi.org/10.1080/15435075.2018.1529572	India	2018	Autores: A. K. Singh & J. N. Sahu Revista: International Journal of Green Energy
Descripción				
Este estudio presenta las emisiones de metano generado en las minas subterráneas de carbono en la India con el propósito de ver su potencial de uso como combustible.				
Metodología				
✓ Se describe como parte de la metodología la estimación de las emisiones de metano fugitivas en las minas subterráneas de la India que consiste en la utilización de factores de emisión propios para las emisiones fugitivas desarrollados para este país, información de actividades durante la explotación y posteriores y se compara con estimaciones realizadas con factores de emisión del IPCC. ✓ También se hace un análisis de los eventos de explosiones espontáneas en minas y las muertes causadas por las mismas. Por lo tanto, se presenta la recuperación y uso del gas de las minas como una opción para reducir estos eventos.				
Fuentes de información				
CMRI. 2003. Uncertainty reduction in GHG inventories associated to coal, mining, Project report prepared by CMRI, Dhanbad, Guías IPCC 2006				

Nombre documento	Enlace	País	Fecha	Autores
Best Practice Guidance for Effective Management of Coal Mine Methane at National Level: Monitoring, Reporting, Verification and Mitigation	21I9167_E_ECE_ENERGY_139_WEB.pdf (unece.org)	Global	2021	Naciones unidas
Descripción				
Se presentan varios ejemplos de monitoreo, reporte y verificación en el mundo con respecto a minería de carbón.				
Metodología				
✓ Se destaca el ejemplo de China en donde se hizo el requerimiento de reporte de emisiones de metano a todas sus minas en funcionamiento con el fin de establecer la Administración Estatal de Seguridad en las Minas de Carbón dirigido por el Ministerio de Gestión de Emergencias. La base de datos recopilada abarcó cerca de 10.963 minas de carbón en 26 provincias productoras de carbón. ✓ Cada mina en China midió de forma continua las emisiones de metano de sus sistemas de ventilación durante 2 a 3 meses. A pesar de esto se encuentran varias discrepancias entre los factores de emisión reportados por cada mina, por lo que se sugiere hacer una revisión al respecto. ✓ También se destaca el caso de Kazajstán, el cual cuenta con un marco regulatorio fortalecido que integra una política para monitorear, verificar y reportar las emisiones de CH₄ provenientes de la minería del carbón, estableciéndose en el Código Ambiental exige monitorear las emisiones de CH₄ y fija multas por contaminación del aire.				
Fuentes de información				
CMRI. 2003. Uncertainty reduction in GHG inventories associated to coal, mining, Project report prepared by CMRI, Dhanbad, Guías IPCC 2006				

La revisión de los documentos presentados en esta sección permite obtener las siguientes conclusiones:

- Existe un alto respaldo científico para la estimación de emisiones para sector carbón, especialmente para las emisiones fugitivas generadas por minería. Esto se evidencia al encontrar diferentes artículos científicos que evalúan esta clase de emisiones y que buscan aplicar nuevas herramientas de modelación, procesamiento de información y análisis, para la identificación de estas fuentes, el seguimiento de sus emisiones y cuantificación de sus impactos.
- En varios de los artículos científicos se evidenció que la información satelital se posiciona como una herramienta innovadora para identificar fuentes de metano y cuantificar sus emisiones. Sin embargo, es importante mencionar que este tipo de ejercicios requieren del uso de modelos y algoritmos especializados, que requerirían de capacitación dentro de instituciones gubernamentales.
- Se observa que a nivel internacional ya existen avances en la estimación detallada de diferentes fuentes de emisión incluyendo las emisiones fugitivas del sector carbón por minería. Su aplicabilidad en Colombia debe ser evaluada a partir de ejercicios exploratorios que permitan reconocer los insumos requeridos, así como la identificación de barreras tecnológicas, presupuestales o de otro carácter que se deban subsanar.

En la revisión bibliográfica se denunció qué países como España y Estados Unidos tienen un camino muy avanzado en la estimación de emisiones de minas abandonadas, por lo que se deben tomar como referencia estos ejercicios si se plantea hacer la estimación de esta categoría de emisiones en Colombia. Cabe resaltar que una de las ventajas que tienen estos países es contar con bases de datos confiables y detalladas sobre las minas en funcionamiento y abandonadas.

5.2. Revisión de informes de inventarios nacionales GEI

Para esta sección se hizo la revisión de los inventarios nacionales GEI (NIR por sus siglas en inglés) presentados ante la CMNUCC como partes de los BUR. Para esto se tuvieron en cuenta los NIR de Sudáfrica¹, India² y Australia³, ya que son países que se encuentran en el ranking mundial de extracción de carbón y Chile⁴, ya que es un país latinoamericano extractor y consumidor de carbón (Tabla 13). En general se utilizan las guías del IPCC para la estimación de las emisiones, en donde varía la sección de factores de emisión y la disponibilidad de información de actividad para las diferentes categorías.

Conclusiones de esta revisión se recopila en las siguientes:

- La mayoría de los países no hace la estimación de emisiones de minas abandonadas ni quema en antorcha de gases de minería. Sólo Australia presenta una estimación de emisiones para minas abandonadas ya que cuenta con estudios específicos para sus factores de emisión. Esto es debido a que la estimación de estas emisiones requiere de mediciones especializadas lo que conlleva un esfuerzo significativo que en algunos casos como en la India, no se consideran requeridos. Esto refleja que la estimación de esta clase de emisiones representa una barrera en la cuantificación de los inventarios nacionales.
- En general el sector de generación de energía eléctrica es el que aporta la mayor cantidad de emisiones de CO₂eq para los inventarios nacionales. En la mayoría de los casos esta alta
- participación se encuentra relacionada con el alto uso del carbón para la generación de energía.
- La mayoría cuenta con factores de emisión propios de país para combustión de carbón. Sin embargo, para las emisiones por extracción minera en la mayoría de los países utilizan metodologías nivel 1, es decir los factores de emisión sugeridos por el IPCC.
- La mayoría de los reportes de inventarios de emisiones nacionales revisados cuentan con una estructura similar que presenta de forma muy específica las metodologías implementadas y un análisis detallado de las emisiones por cada una de las categorías IPCC, muy similar al reporte realizado por Colombia considerando los lineamientos internacionales para la elaboración de estos reportes correspondientes a Directrices de la Convención para la presentación de los informes bienales de actualización de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención⁵ y de las Directrices para la preparación de las comunicaciones nacionales de las Partes no incluidas en el anexo I de la Convención.⁶

¹ <https://unfccc.int/documents/634958>

² <https://unfccc.int/documents/268470>

³ <https://unfccc.int/documents/273478>

⁴ <https://unfccc.int/documents/624735>

⁵ <http://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop8/cp807a02s.pdf>

⁶ <http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/spa/09a01s.pdf>

Tabla 13. Aspectos metodológicos y conclusiones del NIR para Sudáfrica, India, Australia y Chile.

País	Sudáfrica	India	Australia	Chile	Colombia
Principales fuentes de emisión CO₂eq	El sector energético es el que más contribuye a las emisiones con una contribución media del 80,7 % y específicamente, las industrias energéticas de las categorías 1A1 (60,1 %)	La generación de electricidad representó aproximadamente el 40 % del total de las emisiones nacionales siendo la categoría de mayor emisión en la India.	El sector de la energía es el mayor contribuyente a las emisiones del inventario nacional (43%).	La componente Producción de electricidad y calor contabiliza en emisiones 27.388 kt CO ₂ eq, siendo la principal fuente de emisiones a nivel nacional (26% de las emisiones totales nacionales).	La principal fuente de emisión de CO ₂ eq corresponde al sector de agricultura con una participación del 59%. Seguido a esto se encuentra el sector de energía (31%) con la generación de 92 mil Gg de CO ₂ eq.
Datos de interés	La generación de energía eléctrica en el país depende de forma importante del carbón. Se observaron disminuciones de emisiones en los últimos años atribuidas a la reducción de uso de carbón para generación de energía.	Las emisiones fugitivas totales fueron 37.179 GgCO ₂ eq, de las cuales el 46% provinieron de la minería del carbón y operaciones posteriores a la minería.	Emisiones de la electricidad y el subsector de producción de calor en 2019 disminuyó en 32 Mt CO ₂ eq (15 %) desde el pico de 2009, a pesar del continuo crecimiento demográfico y económico. Esto se debió principalmente a una disminución del 12,2% en la proporción de generación a partir de carbón, junto con un aumento del 7% en la proporción de generación de energías renovables	Una de las principales fuentes de emisión en la generación de energía eléctrica es el consumo de carbón mineral y gas natural. La tendencia del balance de GEI comienza a reflejar el proceso de descarbonización de la matriz eléctrica del país mediante el retiro de centrales a carbón, junto a una mayor incorporación de energías renovables en el sistema eléctrico nacional.	En sí, todo el sector carbón tiene una participación del 22% de las emisiones del sector de energía, correspondiente a 7% total de país.

País	Sudáfrica	India	Australia	Chile	Colombia
Aspectos metodológicos para destacar en el sector carbón	Se utilizan factores de emisión IPCC, ya que no se cuenta con factores de emisión propios para combustión de carbón y demás categorías. No estimaron emisiones de minas abandonadas ni por quema en antorcha.	Se cuenta con factores de emisión propios de país para minería incluyendo procesos de extracción y post-minería. Cuentan con factores de emisión propios de país para combustión de carbón y coque. Debido al muy pequeño número de minas de carbón abandonadas en la India, el abandono ocurrido hace muchos años y la muy baja extracción cuando las minas estaban activas, hace que la contribución de metano de estas se considera insignificante y no se estima.	Se hace estimación de minas abandonadas teniendo en cuenta la metodología IPCC y estudios realizados en el país. Se cuenta con factores de emisión propios por combustión de carbón.	No se hace la estimación de minas abandonadas o quema en antorcha de CH₄. No se especifica si se cuenta con factores de emisión propios de país para el sector carbón	Se cuentan con factores de emisión propios Colombia para CO₂ en cuenta a quema de combustibles que incluye el carbón. En emisiones fugitivas por minería se cuentan con factores de emisión por diferentes cuencas geográficas. No se hace la cuantificación de emisiones de minas abandonadas y quema en antorcha para transformación de metano.
Año de la serie temporal	2020	2016	2019	2020	2018

5.3. Iniciativas internacionales

A nivel internacional existen diferentes iniciativas que buscan la cuantificación de emisiones de metano a nivel global. Esto con el fin de poder realizar las proyecciones sobre el aumento en la temperatura debido a las emisiones de GEI. Entre las iniciativas destacadas que se encontraron en esta revisión bibliográfica se encontraron las siguientes:

International Methane Emissions Observatory (IMEO) IMEO: esta iniciativa de las Naciones Unidas es un centro de recopilación de datos de emisiones de metano a nivel mundial. Este observatorio centraliza la información de investigaciones satelitales, reportes de informes rigurosos de la industria a través de Oil and Gas Mamine Partnership 2.0 (OGMP 2.0); y de los inventarios nacionales de emisiones (NIR). IMEO es un socio implementador principal del Compromiso Global de Metano, que es un intento de 150 países, liderados por la Unión Europea y EE. UU., de reducir las emisiones globales de metano en un 30 por ciento para 2030 con respecto a los niveles de 2020. Actualmente este observatorio se encuentra en implementación y no cuenta con reportes oficiales, sin embargo, se espera en los próximos años poder contar con información consolidada que permita a su vez alimentar los inventarios de emisiones nacionales de países que aún no cuenten con los recursos para estimar ciertas emisiones de metano asociados a diferentes sectores productivos.

Methane Alert and Response System (MARS): o en español sistema de alertas y respuesta de metano, también es una iniciativa de la organización de las Naciones Unidas. Este es un sistema de detección de plumas de metano de gran concentración a nivel mundial, que utiliza información satelital como base. Desde 2023 MARS ha identificado más de 120 eventos de emisiones en cuatro continentes. MARS se encuentra en colaboración con varios actores como: OGMP 2.0, Agencia Internacional de Energía, la Coalición Clima y Aire Limpio, entre otros, que permitieron colaborar en el proceso de notificación que realiza MARS. Esta herramienta se considera útil para identificar episodios de emisiones a gran escala, y que la debe tener presente las autoridades gubernamentales en el caso en el que existiera una alerta de este tipo.

Methane Roadmap Action Programme (M-RAP): es una iniciativa de la Coalición de Clima y Aire Limpio (CCAC, por sus siglas en inglés), que establece una serie de acciones a implementar a mediano plazo para la mitigación de emisiones de metano en un 30% a nivel mundial para 2030. Con este programa se busca identificar y articular los compromisos actuales, así como oportunidades para una mayor ambición. Es así que a través de esta iniciativa se busca apoyar a los países con recursos financieros para ejecutar proyectos de mitigación de metano y así apoyar con el cumplimiento de sus NDC. En este sentido este programa se considera clave para países con recursos limitados como el caso de Colombia para implementación de estrategias de mitigación de cambio climático.

6. **Identificación de oportunidades de mejora y recomendaciones del estudio**

6.1 Oportunidades de mejora mencionadas en el ciclo BUR3

En el desarrollo de inventarios de emisiones de GEI, generalmente se identifican oportunidades de mejora para reducir la incertidumbre en la estimación de emisiones de categorías contempladas, y/o para la estimación de emisiones de categorías no contempladas. Las oportunidades de mejora descritas en el Tercer Reporte Bienal de Actualización de emisiones GEI (BUR3) y su respectivo Reporte Nacional de Inventario (NIR), en lo posible, tienen aplicación prevista para el inventario de emisiones de GEI correspondiente al primer Reporte Bienal de Transparencia (BTR) que Colombia presente en 2024 ante la CMNUCC u otro posterior. A continuación, se detallan tales oportunidades.

Tabla 14. Oportunidades de mejora mencionados en el BUR3

Categoría	Subcategoría	Oportunidad de mejora	Propuesta de mejora
1A Actividades de la quema de combustible	1A1 Industrias de la energía 1A1c. Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas – Otras industrias de la energía	En el caso del consumo de combustibles en minería de carbón, no se tiene acceso de forma pública a esta información y sólo es posible realizar una estimación a partir de reportes de SIMCO.	Se debe buscar estandarizar y establecer un mecanismo directo con el administrador del SIMCO, UPME y MME para obtener información desagregada de consumos de combustibles en minería de carbón con un nivel de desagregación nacional y departamental.
	1A1 Industrias de la energía 1A1c. Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas 1A1ci-1 Manufactura de combustibles sólidos	La cantidad de coque producido es calculado por la UPME en el BECO a partir de información de la EAM (Encuesta Anual Manufacturera) del DANE a escala nacional, la cual no permite lograr una desagregación regional de la información. Adicionalmente, para asegurar que no se realiza doble contabilidad en la producción de coque, es necesario que la información de la producción de coque en la industria de siderurgia este diferenciada de la producción en otras industrias.	La mejora en la metodología de estimación de emisiones por producción de coque depende directamente de los datos de actividad. Por ello, se buscará establecer un convenio de transferencia de información entre la empresa Acerías Paz del Río, la UPME e IDEAM, con la validación de MME. Además, es necesario identificar alternativas para obtener la información de producción de coque en sitios fuera de la industria siderúrgica, identificando la metodología y los acuerdos requeridos para ello.
	1A1 Industrias de la energía 1A1c. Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas 1A1cii-1 Otras industrias de la energía	En el caso del consumo de combustibles en minería de carbón, no se tiene acceso de forma pública a esta información y sólo es posible realizar una estimación a partir de reportes de SIMCO. Respecto a los consumos de combustibles en la producción de petróleo y gas natural, el BECO presenta información a escala nacional que puede mejorar aumentando el grado de desagregación.	Se buscará estandarizar y establecer un mecanismo directo con el administrador del SIMCO, UPME y MME para obtener información desagregada de consumos de combustibles en minería de carbón, así como los consumos de combustibles para la producción de petróleo, gas y carbón de leña, con un nivel de desagregación nacional y departamental.

Categoría	Subcategoría	Oportunidad de mejora	Propuesta de mejora
1A Actividades de la quema de combustible		En ambos casos, un acceso oportuno y permanente a la información, y con las características requeridas para los cálculos nacionales y regionales, podría contribuir a mejorar la transparencia y precisión en los datos de actividad y estimación de las emisiones.	
	1A2 Industrias manufactureras y de la construcción 1A2a Hierro y acero; 1A2b Metales no ferrosos; 1A2c Sustancias químicas; 1A2d Pulpa, papel e imprenta; 1A2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco; 1A2f Minerales no metálicos; 1A2g Equipo de transporte; 1A2h Maquinaria; 1A2j Madera y productos de la madera; 1A2l Textiles y cueros; 1A2m Industria no especificada.	Consumos de combustibles con fines energéticos en la industria manufacturera: A pesar de que el flujo de información para estos datos es claro, es decir, los datos de la EAM se usan para construir el BECO, dentro de la metodología de construcción se realizan ajustes de las cantidades producidas y consumidas de diferentes energéticos. La industria manufacturera, al igual que otros sectores, también está en proceso de identificación de sus acciones y potenciales de mitigación, lo cual requerirá en un futuro cercano, la disponibilidad de información específica, desagregada y fiable que contribuya al desarrollo de sistemas MRV del sector y del país. La desagregación se debe dar en subsectores específicos (más detallados que clasificación por CIU) permite mejorar el seguimiento de resultados de actividades de mitigación que se realizan en sectores específicos, que quedan inmersos entre las clasificaciones del CIU.	Generar un subregistro del BECO para propósitos exclusivos de elaboración del INGEI, en el cual se reporten los consumos de combustibles para la industria manufacturera, con un nivel de desagregación departamental y por subsectores industriales específicos en lo posible por CIU 4 dígitos.
1B Emisiones fugitivas	1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón 1B1ai Minería subterránea - 1B1ail Minería	Actualmente no se cuenta con datos registrados de las profundidades de explotación por mina o valores promedio por cuenca. Contar con el contenido de gas metano asociado a las minas de carbón de acuerdo con la profundidad de explotación de la mina y el tipo de carbón que está siendo explotado permitirá mejorar la precisión en la estimación de las emisiones.	Establecer convenios o canales de comunicación con instituciones públicas y privadas con la capacidad para generar registros de la profundidad de explotación de cada mina o una profundidad promedio por cuenca, así como el registro de los datos de aprovechamiento de metano en la actividad minera. Esto se puede lograr a través del acuerdo sectorial entre el MADS, el IDEAM y la Asociación Colombiana de Minería (ACM), Agencia Nacional Minera (ANM) y el acompañamiento de la UPME.

Categoría	Subcategoría	Oportunidad de mejora	Propuesta de mejora
1B Emisiones fugitivas	1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón 1B1ai3 Minas subterráneas abandonadas	No se estiman en el inventario las emisiones asociadas a las minas abandonadas y quema en antorcha de metano debido a falta de información.	Por un lado, se requiere definir los canales de comunicación que permitan conocer los datos actualizados del inventario nacional de minas abandonadas, además donde se aclare el estado de minas abandonadas con título minero vencido o título minero vigente pero que ya no está en explotación.
	1B1a Minería carbonífera y manejo del carbón 1B1ai4 Quema en antorcha de CH ₄ drenado o conversión de CH ₄ a CO ₂	No se estiman en el inventario las emisiones por la quema en antorcha de metano en el inventario debido a falta de información.	Alcanzar los acuerdos sectoriales para iniciar la evaluación y el registro de la información asociada a la quema en antorcha de metano. Esta última liderada principalmente por MME.

Fuente: Este estudio a partir de NIR 2018

6.2 Recomendaciones por parte de este estudio

Teniendo en cuenta la revisión de la información de experiencias nacionales e internacionales, así como los resultados de consultas a expertos, se realizó un análisis que permitió establecer recomendaciones que pueden obrar como oportunidades de mejora para las estimaciones en inventarios de GEI del país, identificando a la vez, las posibles soluciones u opciones para subsanarlas. Estas recomendaciones se enlistan a continuación.

Recomendación 1. Articulación de actores del sector y consolidación de base de datos nacional de minas de carbón

Entre las oportunidades de mejoras mencionadas en el INGEI 2014 y 2018 para el sector de minería de extracción de carbón, se destacan las siguientes:

- Carencia de información de combustibles utilizados en minería de carbón entre 1990 – 2009, adicionalmente la información detallada para el resto de los años no es pública y se utiliza lo reportado en el SICOM.
- No disponibilidad de información de profundidad de extracción por mina o cuenca.
- Carencia de información sobre minas abandonadas y quema en antorcha de emisiones de metano.
- No aparece como oportunidad de mejora de forma específica, pero si se menciona en los documentos, que, aunque se ha evidenciado estudios de aprovechamiento de gas de metano en minas, no se cuenta con información al respecto.

Todas las propuestas de mejora para subsanar estas falencias en los inventarios tienen en común la necesidad de generar articulación entre actores del sector para recopilar y actualizar de forma periódica esta información. Así se identifica como unas de las recomendaciones más importantes, establecer canales de comunicación entre las entidades líderes del sector y las instituciones que tengan la facultad de requerir la información faltante directamente de la fuente. Es así como se identificaron los siguientes actores claves:

- **ANM**, que al tener entre sus funciones la administración del catastro minero, registro y títulos mineros, pueden disponer de información detallada para suplir los vacíos de información en los inventarios.
- **UPME**, siendo el líder en la generación de estudios de investigación y que tenga entre sus funciones la recopilación de información del sector de energía del país, puede tomar el rol de intermediario entre los Ministerios y otros actores de carácter especial o privado. También, puede promover la evaluación de nuevas herramientas para la estimación de emisiones GEI y CCVC como el uso de información satelital.
- **IDEAM**, siendo el brazo técnico del MADS, líder en la elaboración de los inventarios de emisiones en el país, juega un papel importante en la articulación de actores y evitar redundancia en la solicitud de información. También se ve importante su apoyo en el fortalecimiento de las capacidades internas de los ministerios para la consolidación de sus inventarios sectoriales y reportes de los MRV. De igual forma, se puede vincular a la exploración de uso de otras herramientas para estimación de emisiones GEI en el sector.
- **Asociación Colombiana de Minería**, las empresas del sector minero son la fuente primaria de información. Su vinculación a las mesas de trabajo interinstitucionales representaría una ventaja al momento de consolidación y robustecimiento de las metodologías hoy implementadas para la estimación de emisiones en el sector.
- **Instituciones Academia**, considerando su visión innovadora y actualizada de las investigaciones en temas relacionados con modelación, mediciones directas y cuantificación de emisiones, su participación es clave para iniciar la exploración de otros métodos que fortalezcan los inventarios de emisiones, proyecciones de emisiones y seguimiento a la implementación de medidas de mitigación.
- **ONG**, se pueden vincular como actores externos y facilitadores para la articulación entre entidades, brindando apoyo en la identificación de oportunidades de mejoras y soluciones. Además, puede servir como veedor externo del cumplimiento de los acuerdos entre entidades.
- **MME**, líder de la cartera minero-energética del país, cumple el rol de articulador y generador de información. Así mismo, se propone su papel como gestor de las medidas de mitigación del sector consolidador del MRVme.
- **MADS**, líder del sector ambiente tiene rol de mediador con otras entidades y apoya la gestión de información para la consolidación de los inventarios del sector.

Entre los mecanismos de articulación propuestos se encuentra la creación y puesta en marcha de una mesa técnica conjunta del sector, que se reúna periódicamente y cuente con una secretaria técnica rotativa, cuyo líder sea el MME. Así mismo, se deben explorar otras alternativas e instrumentos para la colaboración entre actores como convenios o acuerdos de entendimiento. Una de las primeras actividades que debe este mecanismo de articulación es elaborar una hoja de ruta que identifique los principales puntos a fortalecer tanto en los inventarios de emisiones como en los sistemas de MRV del sector.

Así mismo, teniendo en cuenta la revisión bibliográfica internacional, se identifican que países y regiones con contabilidad detallada de las emisiones de este sector (Australia, India, Reino Unido) y pioneros en estimación de emisiones de minas abandonadas (Estados Unidos, España), cuentan con bases de datos o registros actualizados a nivel nacional, que son alimentados por entidades gubernamentales y las mismas empresas del sector. Es así como parte de los resultados de la articulación interinstitucional, se propone sea la consolidación una **Base de Datos Nacional de Minas de Carbón** que permita recopilar información adicional a la que existe (SIMCO), y fortalecerla desde la misionalidad y necesidades de los diferentes actores.

Recomendación 2. Fortalecimiento de capacidades intrainstitucionales

Es claro que no toda la información para el desarrollo de estimación de emisiones GEI y CCVC, reposa en una misma entidad. Aunque la coordinación de los arreglos institucionales para la compilación de la información requerida para la construcción de comunicaciones nacionales (informes BUR o BTR), está a cargo del IDEAM, se recomienda que las entidades adscritas o pertenecientes al mismo sector, como es el caso del MME y de la ANM, fortalezcan su capacidad interna en cuanto a disponibilidad, trazabilidad y homogeneidad de información específica base para la estimación de emisiones, tomando como guía los instrumentos sectoriales tipo MRVme o Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Sectoriales (PIGCCS), cuidando que a su vez se tenga uniformidad o compatibilidad de cifras en los instrumentos sectoriales y los nacionales.

Recomendación 3. Exploración de otras herramientas

Las imágenes satelitales representan una nueva fuente que puede suplir carencias de información en inventarios de emisiones o pueden servir como herramientas complementarias de calibración y/o validación de los métodos convencionales de generación de información. Los recientes avances en instrumentos espaciales se han usado como parte de la identificación y cuantificación de las emisiones de instalaciones individuales de petróleo y gas y pozos de minas de carbón en diferentes estudios internacionales.

Es así como se destaca el uso de las mediciones provenientes TROPOMI, el cual es un instrumento de Monitoreo Troposférico que se encuentra a bordo del satélite Copernicus Sentinel 5 Precursor. Este satélite fue lanzado en octubre 2017, y reporta con una resolución espacial de $7 \times 5,5$ kilómetros, como resolución temporal diaria. Otra fuente de información satelital es GHGSat-D (Satélite de Gases de Efecto invernadero) que cuenta con una resolución de 50 metros. Esos dos instrumentos reportan columnas de metano, que en conjunto con otros modelos de transporte atmosférico (GEOS-Chem), meteorológicos e información de emisiones de otras fuentes contaminantes (EDGAR, WetCHARTs), permiten obtener emisiones de metano.

El potencial de uso de estas herramientas puede permitir la identificación de plumas de emisión de metano en minas como se presenta en la Figura 17, la identificación de minas abandonadas e identificación de minas ilegales.

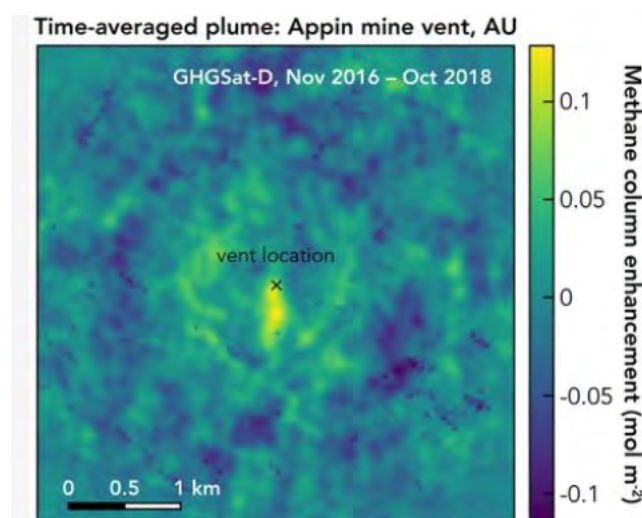


Figura 17. Ejemplo de estimación visualización de emisiones de metano generadas con información satelital
Fuente: (Varon et al., 2020)

Sin embargo, aunque estas herramientas son innovadoras tienen limitaciones para su implementación en países como Colombia según lo consultado a expertos. Esto se debe a que las condiciones climáticas del país, al estar en el trópico, se encuentran condiciones de alta humedad generando alta nubosidad que no permite la generación de imágenes satelitales lo suficientemente robustas para ser analizadas en el tiempo. De igual forma, la información satelital disponible en algunos casos tiene límites de detección para concentraciones de metano relativamente grandes. Es decir que su uso no podría haberse aplicado para control de las emisiones de fuentes puntuales.

Una herramienta similar que se presenta de oportunidad corresponde a los instrumentos ópticos de detección de metano en sistemas aeroportados, es decir en aviones o drones. Esto permite realizar mediciones a suficientes alturas donde la nubosidad no represente un problema. Ejercicios de este estilo se han realizado por parte de empresas relacionadas con los sectores de gas y petróleo. Sin embargo, no se conocen de ejercicios realizados para el sector carbón.

Como recomendación se sugiere iniciar la discusión sobre el uso de este tipo de herramientas en el sector de minería de carbón en diferentes espacios, considerando ejercicios ya realizados como los revisados en países como Australia, Estados Unidos y China. En donde el papel de la academia es importante, considerando su experiencia y la complejidad de los modelos y algoritmos requeridos para el procesamiento y obtención de emisiones de esta información. Así mismo, se debe reconocer esta clase de proyectos como de alto impacto para el mejoramiento de los INGEI e implementación del MRV, considerándolos, así como iniciativas potenciales para ser presentadas en convocatorias de financiación con recursos nacionales e internacionales.

Recomendación 4. Incorporación de emisiones Carbono negro (CN) a los reportes de emisiones MRV

En el tercer informe bienal de actualización de emisiones GEI (BUR3), se presentó por primera vez las estimaciones de carbono negro carbono negro (CN) para Colombia (serie 2010 – 2018) prácticamente en las mismas categorías IPCC consideradas para el INGEI, sin embargo, estas estimaciones o por lo menos esta estructura metodológica (la misma información de actividad con factores de emisión de Guidebook EMEP/EEA 2019) no se incorporan en el MRVme. Se recomienda adoptar la estructura del BUR3 para visualizar los datos MRV del sector con la respectiva reducción de emisiones CN y lo que esto representa en mitigación de forzamiento climático.

Recomendación 5. Accesibilidad a la información de inventarios de emisiones

Con el propósito de cumplir los objetivos de transparencia de la estimación realizada a nivel nacional del sector, se propone hacer la verificación de la disponibilidad de la información en los canales oficiales de las diferentes entidades gubernamentales. Esta recomendación nace debido a que se evidenció que varios enlaces o vínculos web de entidades como el IDEAM no se encontraban disponibles o no contaban con información.

Así mismo, se propone como acción futura poder fortalecer las herramientas ya existentes que presentan información del sector carbón, como es el Sistema de Información Minero de Colombia (SIMCO). Actualmente se tiene a disposición del público la consulta de datos relacionados con las minas de carbón, incluida la cantidad de producción historia y cantidad de minas activas por departamento, entre información de exportaciones y regalías. Se considera importante que a medida que se fortalezca la recopilación de información como el estado de actividad de las minas (abandonadas o activas), el estado de inundación de las minas abandonadas, cifras de aprovechamiento de gas de minas subterráneas, entre otras variables; esta información se pueda incluir en esta plataforma para que pueda ser consultada y utilizada para fines de estimación de emisiones GEI en el marco del INGEI, del MRV, o de otros instrumentos.

Recomendación 6. Estructura del reporte para el MRV

La Resolución 1447 de 2018 establece como elementos constitutivos del Sistema MRV de mitigación, al Registro Nacional de Reducción de las Emisiones de GEI (RENARE), el Sistema de Contabilidad de reducción y remoción de GEI (SCRR), el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMBYC) y el Sistema de Nacional de Inventarios de Gases Efecto Invernadero (SINGEI), pese a esto, tales plataformas a la fecha no operan o no se articulan efectivamente para gestionar de manera transparente la información de emisiones GEI del país, adicionalmente un nuevo instrumento, el Registro Obligatorio de Emisiones GEI (ROE), creado en la Ley 2169 de 2021, entra para recopilar información de emisiones GEI de actores específicos. Conforme a lo descrito, se recomienda que cada sector, entre estos el de minas y energía, tenga presente qué actores bajo su cobertura aportan información al ROE, para que se tomen las acciones respectivas que garanticen la coherencia de información GEI manejada en los diferentes instrumentos. Adicionalmente, aplica la recomendación de desarrollo de acciones tempranas que garanticen que todos los instrumentos citados (RENARE, SCRR, SMBYC, SINGEI y ROE) operen e interactúen armoniosamente y no resulten redundantes.

Recomendación 7. Desarrollo de inventarios corporativos

Se resalta la necesidad de la estimación de estos inventarios para complementar los inventarios de GEI nacionales y aportar a la meta de la NDC. Es así como las directrices que se den con respecto a las metodologías para su estimación deben estar armonizadas con las utilizadas a nivel nacional. En este estudio se realizó la revisión de varias de estas metodologías que se recomendaban en los lineamientos PIGCCe para el sector minero, en donde se prioriza el uso de la norma ISO 14064-1. Aun así, como parte de estas recomendaciones es establecer en estos lineamientos o en otro instrumento propio para el país los inventarios corporativos, directrices específicas de uso de información propia para Colombia. Esto incluye el uso de factores de emisión de nivel 2 con los que ya cuenta el país como son el FECOC y los factores de emisión para minería de carbón por cuencas geográficas.

Adicionalmente, se recomienda adicionar como requisito como seguimiento a las emisiones de minas a cielo abierto y minas subterráneas con producción mayor a 800 toneladas/año, el uso de sensores aeroportados como parte de sus requisitos para licenciamiento ambiental y estimación de inventarios de emisiones corporativos.

Recomendación 8. Guía o protocolo para cuantificación de emisiones en el sector para reporte de usuarios en RENARE y ROE

Como parte del seguimiento a las acciones de mitigación y al cumplimiento de la NDC, herramientas como el RENARE o el ROE, deben facilitar el reporte y seguimiento de las emisiones de los diferentes involucrados, así como la cuantificación de la mitigación de proyectos propuesto.

En el momento en que estos registros inicien su total funcionamiento los proponentes de iniciativas de mitigación que quieran registrarse en el RENARE, así como las empresas que tengan obligación de reporte de emisiones del sector para el ROE, deberán definir las metodologías para la cuantificación de GEI, involucrando los avances en el tema. Teniendo en cuenta experiencias como la australiana, se recomienda generar un protocolo o guía dirigidos a estos usuarios, que establezca los diferentes métodos según disponibilidad de información, que sean afines a las metodologías que permitan integrarse a las cuantificaciones de mitigación a nivel Nacional (Resolución 1447), incluyendo la información ya existente propia de Colombia como el uso de factores de emisión para categorías específicas, según lo mencionado en la recomendación 7.

De igual forma, la creación o robustecimiento de dichos protocolos deben estar liderados por el MADS, como responsable del MRV Nacional, que incluya métodos, instrumentos, procesos y periodicidad del reporte de las emisiones de GEI y la información y documentación para la elaboración de inventarios de GEI. Por lo tanto, es imprescindible la puesta en operación del ROE.

7. Referencias

- ANLA. (2016). *TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL-EIA PROYECTOS DE EXPLOTACIÓN MINERA*
- Avvena. (2021). *Bilan Carbone*. <https://Avvena.Fr/Es/Bilan-Carbone-Entreprise/#>.
- BSI Group. (2010). *PAS 2060*.
- Gobierno de Colombia. (2020). *ACTUALIZACIÓN NDC COLOMBIA-2020 Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC)*.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & Cancillería de Colombia. (2021). *TERCER INFORME BIENAL DE ACTUALIZACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO DE COLOMBIA*. www.cambioclimatico.gov.co
- MADS. (2015). *Decreto_1076_de_2015_Sector_Ambiente_y_Developmento_Sostenible*.
- MME. (2018). *Resolución 40807 de 2018 MME*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pigccme.minenergia.gov.co/public/assets/files/1_res_40807_2018.pdf
- Moreno A. (2018). *Cifras y datos sobre la producción de carbón en Colombia 2000-2017*.
- ONU-FLORES. (2021). *Transformación sostenible en las regiones carboníferas del sur global: desafíos desde la perspectiva del nexo de recursos (NEXtra Core)*.
- POLEN Transiciones Justas. (2023). *Colombia tiene las condiciones para una transición del sector eléctrico planeada y progresiva más allá del carbón*. www.polentj.org
- UNEP. (2023). *governments-plan-produce-double-fossil-fuels-2030-15degc-warming[1]*.
- Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2020). *El carbón: fuente de energía de la Región Central*. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://regioncentralrape.gov.co/wp-content/uploads/2020/04/El-carbo%C2%81n-fuente-de-energ%C2%81a-de-la-Regio%C2%81n.pdf>
- UPME. (2022). *Balance Energético de Colombia*. <https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Paginas/BECO-Consulta.aspx>
- UPME. (2024). *Plataforma SIMCO - Mapas*. <https://www1.upme.gov.co/simco/Paginas/Mapas.aspx>
- Varon, D. J., Jacob, D. J., Jervis, D., & Mckeever, J. (2020). Quantifying Time-Averaged Methane Emissions from Individual Coal Mine Vents with GHGSat-D Satellite Observations. *Environmental Science and Technology*, 54(16), 10246–10253. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.0C01213/ASSET/IMAGES/LARGE/ES0C01213_0004.JPEG
- Welsby, D., Price, J., Pye, S., & Ekins, P. (2021). Unextractable fossil fuels in a 1.5 °C world. *Nature*, 597(7875), 230–234. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03821-8>
- WRI, & WBCSD. (2001). *Protocolo de Gases Efecto Invernadero*.