

Ciclo de vida de la explotación de carbón mineral en Paipa, Boyacá

Ricardo Alberto Manrique Abril¹  , Diana Carolina Arias Quintero²  , Karol Daniela Medina González³  

Recibido: 12 junio 2020 Aceptado: 21 febrero 2021 Actualizado: 26 junio de 2021

DOI: 10.17151/luaz.2021.53.3

Resumen

Los impactos ambientales de la extracción y producción del carbón son muy altos y varían dependiendo de los métodos utilizados en minería subterránea. Se determinaron los escenarios de extracción de carbón térmico en el municipio de Paipa Boyacá y se evaluaron los aspectos ambientales involucrados mediante la aplicación del *software* SimaPro 8.5.0[®], estratificado por recursos, materiales y cantidad de carbón a explotar en tres minas escogidas para la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV), basado en la NTC-ISO-14040, por cada uno de los métodos extractivos identificados en el municipio con la herramienta Eco-indicador 99-H-V2.06/Europe-EI-99-H/A[®]. Se determinó que el método de arranque manual es menos contaminante para todas las categorías de daño, dependiendo de materiales y herramientas usadas en la mina, también es el segundo más productivo cuando se analiza el ciclo de vida (CV) por producción mensual. El método mecanizado con martillo eléctrico reportó mayor afectación a todas las categorías de daño, tanto al evaluarse en el CV por producción mensual, siendo la mina que utiliza este método la que más genera carbón, como al analizarse el CV que involucra la cantidad de materiales y recursos utilizados. El arranque semimecanizado (combinación de martillo eléctrico y pico- pala), es el que menos impacto tiene cuando se analiza la producción mensual y el segundo en impactar al analizar la técnica utilizada para el arranque. De todas las categorías de daño la más impactada es la salud humana, asociada a la exposición ocupacional en el desarrollo de esta labor.

Palabras clave: impacto ambiental, carbón mineral, factores de producción, salud pública.

Life cycle of mineral coal extraction in Paipa, Boyacá

Abstract

The environmental impacts of coal extraction and production are very high and vary depending on the methods used in underground mining. The thermal coal extraction scenarios in the municipality of Paipa, Boyacá were determined and the environmental aspects involved were evaluated through the application of the *SimaPro* 8.5.0[®] software, stratified by resources, materials and quantity of coal to be exploited in three mines chosen for the Life Cycle Impact Assessment (LCIA), based on the NTC-ISO-14040 for each of the extractive methods identified in the municipality with the Eco-indicator tool *99-H-V2.06/Europe-EI-99-HE-HAS*[®]. It was determined that the manual starting method is less polluting for all damage categories, depending on materials and tools used in the mine, it is also the second most productive when analyzing the life cycle (LC) for monthly production. The mechanized method with electric hammer, reported greater impact on all damage categories both, when evaluated in the LC by monthly production, being the mine that uses this method the

one that generates more coal, and when analyzing the LC that involves the amount of materials and resources used. The semi-mechanized start up (combination of electric hammer and pick-shovel) is the one that has less impact when analyzing the monthly production and the second to impact when analyzing the technique used for the start-up. Of all the categories of damage the most impacted is human health, associated with occupational exposure in the development of this work.

Keywords: environmental impact, mineral coal, factors of production, public health.

Introducción

A través de los años la sociedad se ha desarrollado en un entorno consumista, ligado directamente a la explotación de recursos energéticos, un ejemplo de ello es el aprovechamiento del carbón como motor de desarrollo y fuente principal de ingresos de ciertas regiones, que por su ubicación geográfica y condiciones naturales han hecho de la minería su principal vocación (Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME], 2005).

La producción del carbón ha estado ligada al precio por tonelada a nivel mundial, por lo cual, anualmente varía la cantidad de carbón explotado, en 2015 por primera vez la producción mundial de carbón disminuyó respecto de los niveles alcanzados en la década de los 90, llegando hasta los 7 millones de toneladas, debido a un menor crecimiento económico de los grandes productores mundiales, solo India y Rusia tuvieron un aumento, pero China, el principal productor mundial en 2015 produjo menos carbón (3,68 millones de toneladas), una reducción del 3,5 % en comparación con el año anterior (European Association for Coal and Lignite [Eurocoal], 2016).

En 2020, en el mundo se produjeron alrededor de 8.377.125 millones de toneladas (Mst) de carbón, de las cuales, China aportó el 51 % y Estados Unidos el 6 %. En Europa los mayores productores son Rusia (5 %), Alemania (1,4 %) y Polonia (1,3 %). Colombia aportó el 0,6 % (EIA, 2020).

En Colombia la producción de carbón respondió de manera positiva el tercer trimestre del año 2021. El Ministerio de Minas y Energía presentó las cifras oficiales de producción de carbón con un aumento del 18,7 % más respecto al mismo periodo del año 2020. En este sentido, el municipio de Paipa se caracteriza principalmente por la producción de carbón, en el segundo trimestre de 2021, la UPME reportó una producción (con base en regalías) de 30.328 toneladas de carbón (UPME, 2021).

La producción de carbón en Paipa en su mayoría pertenece a mineros informales y a los intermediarios, siendo estos últimos los principales comercializadores del carbón, los cuales perciben la mayor parte de los beneficios económicos; en este proceso también interviene el comprador final, principalmente la Termoeléctrica GENSA y Electrosochagota (Higuera Garzón, 2015).

Uno de los principales renglones de la economía del municipio de Paipa en el departamento de Boyacá se basa en la extracción del carbón térmico, el cual se suministra a clientes del sector e intermediarios que lo venden a grandes empresas utilizándolo para producir energía.

Los impactos ambientales asociados a la extracción y producción del carbón varían a partir de los métodos de extracción que se usan en la minería subterránea. El propósito de esta investigación es evaluar los escenarios de extracción de carbón en cuanto a aspectos ambientales y económicos y analizar la viabilidad de cada uno con la metodología del análisis de ciclo de vida (ACV) basado en la norma técnica colombiana NTC ISO 14040, aplicado para cada una de las técnicas extractivas utilizadas en el municipio, haciendo uso del *software* SimaPro 8.5.0®.

Materiales y métodos

El ACV considera el ciclo de vida completo de un producto, desde la extracción y adquisición de la materia prima, pasando por la producción de energía y materia, y la fabricación, hasta el uso y el tratamiento al final de la vida útil y la disposición final. A través de esta visión general y perspectiva sistemática, se puede identificar y posiblemente evitar el desplazamiento de una carga ambiental potencial entre las etapas del ciclo de vida o los procesos individuales (NTC ISO 14040, 2007).

El objetivo del ACV es comparar los daños ambientales globales de productos y servicios para poder determinar aquellos que son menos perjudiciales. El término “ciclo de vida” está relacionado con el hecho de que un análisis correcto y holístico requiere analizar las materias primas necesarias para la producción, la fabricación, la distribución, el uso y el tratamiento final, incluidas las operaciones de transporte, necesarias o asociadas a la existencia del producto. La suma de todos los pasos es lo que se conoce como ciclo de vida del producto (Bernatene y Canale, 2018).

La metodología del Eco-indicador 99 es uno de los métodos de evaluación de impacto más utilizados en ACV, está destinado a ser utilizado por diseñadores y gerentes de productos que desean aplicar los valores estándar de los indicadores ecológicos para evaluar los aspectos ambientales de los sistemas de productos (Mieras, 2013). El Eco-indicador 99 define el término “medio ambiente” según tres tipos de daño: A la **salud humana**, se incluye el número y la duración de las enfermedades, los efectos aquí incluidos son: cambio climático, disminución de la capa de ozono, efectos cancerígenos y respiratorios y radiación ionizante; **A la calidad del medio ambiente**, en esta categoría se incluye el efecto sobre la diversidad de especies, especialmente en las plantas vasculares y los organismos sencillos, entre los efectos incluidos se encuentran: la ecotoxicidad, acidificación, eutrofización y el uso del suelo; y a **los recursos**, en esta categoría se incluye la necesidad extra de energía requerida en el futuro para extraer mineral de baja calidad y recursos fósiles (Goedkoop *et al.*, 1999).

Teniendo presente lo anterior, en el municipio de Paipa se identificaron, cuantificaron y esquematizaron los procesos principales de producción de carbón, estos se desarrollan en los siguientes procesos unitarios:

- Arranque del carbón: esta minería a pequeña y mediana escala se realiza con técnicas manuales como el uso de pico y pala, técnicas semimecanizadas (manual y martillo eléctrico) o por medio de técnicas mecanizadas usando únicamente el martillo eléctrico.
- Acarreo: consiste en el transporte del carbón desde el frente de extracción hasta una vía principal interna en la mina, se puede realizar usando carretillas o canecas plásticas.

- **Cocheo y malacateo:** es el proceso de cargue del carbón en los coches para luego ser ascendido por medio del malacate, esta acción se realiza en una mina particularmente subterránea.
- **Selección:** el carbón es clasificado de acuerdo con su tamaño y el manto de origen, este proceso puede incluir trituración y tamizado para homogenizar el producto y facilitar su transporte.
- **Descargue:** volcado del material extraído de la mina a los puntos de acopio establecidos, esta operación se realiza en volquetas de 10 o 20 toneladas.
- **Cargue y transporte externo:** llenado de los tractocamiones de aproximadamente 30 toneladas con el carbón seleccionado para su transporte y distribución.
- **Entrega a patio:** este proceso de comercialización se caracteriza en gran medida por la presencia de intermediarios, los cuales perciben la mayor parte de las ganancias económicas, posteriormente es vendido al comprador final.

En el municipio de Paipa existen alrededor de 41 títulos para pequeña minería, adjudicados para la explotación y beneficio de carbón (térmico y metalúrgico) (Agencia Nacional de Minería [ANM], 2017); para esta investigación se tuvieron en cuenta tres minas, cada una ubicada en un distinto título minero, pero las cuales desarrollan el proceso de explotación en la misma vereda, denominada el Salitre, se incluyeron estas minas teniendo en cuenta la legalidad minera y la disponibilidad de los titulares de suministrar información cuantitativa. Así mismo, se eligió el tipo de carbón térmico cuyas características permitieron definir que un factor diferencial fuese el método de arranque, tal como se muestra en la [tabla 1](#):

Tabla 1. Caracterización de las minas seleccionadas

Nombre	Titular	Ubicación	Tipo de carbón	Método de arranque	Producción	Consumo energía	Equipos
Mina 1: Diamante 2	Sociedad Minas La Primavera LTDA	Vereda el Salitre, municipio de Paipa	Semi duro térmico	Manual (pico y pala)	130 Ton/Mes	110 kW	Vagoneta, malacate, patio de acopio
Mina 2: El Desafío 2	Sociedad de Minas Morales LTDA	Vereda el Salitre, municipio de Paipa	Duro térmico	Combinado (semimecanizado- martillo eléctrico, pico y pala)	72-96 Ton/Mes	110 y 220 kW	Dos vagonetas, malacate, tolva de cargue, patio de acopio
Mina 3: La Acacia 2	Plinio Rodríguez	Vereda el Salitre, municipio de Paipa	Semi duro térmico	Mecanizado (Martillo Neumático)	288-360 Ton/Mes	110 y 220 kW	Dos vagonetas, malacate, compresor, electrobomba, tolva de cargue, patio de acopio

Fuente: los autores

Evaluación del impacto de ciclo de vida

La evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) para valorar el desempeño ambiental de las minas se realiza con el **software** SimaPro® en versión de licencia libre que tiene ciertas limitaciones para el análisis de estudios de ciclos de vida detallados, empleando características analíticas avanzadas como el análisis Monte Carlo, el cual permite obtener datos cuantitativos asociados con la gestión y la probabilidad de los riesgos, o con la disponibilidad de las funciones para el análisis del ciclo de vida con las opciones de escritura de asistentes e interfaz COM, por lo tanto, se usa el método Eco-indicador 99 (H) V2.10/ Europe, que cuantifica la valoración del daño medioambiental en función de una normalización expresada en puntaje, relacionada con las diversas categorías de Evaluación del Daño: salud humana, calidad del ecosistema y recursos (Goedkoop & Spriensma, 2001), el desarrollo de este método en las tres minas evaluadas permite compararlas entre sí, siempre y cuando la unidad de medida sea igual para todos los casos.

En este orden de ideas, los procesos unitarios a estudiar serán los de arranque del carbón, acarreo, cocheo y malacateo, y selección ([figura 1](#)). Visto así, la actual investigación de ACV implementa el enfoque de la cuna a la puerta, y se incluye la electricidad como recurso usado para la producción de carbón. La información necesaria para realizar este análisis fue recopilada en campo por medio de visitas técnicas a las minas seleccionadas, en donde la explotación se realiza subterráneamente. En la EICV se tuvieron en cuenta los materiales de fabricación de las herramientas usadas en el proceso, como las picas, palas, martillos eléctricos, vagones, malacates, canecas plásticas, rieles y cables; así como también los volúmenes medios de producción.

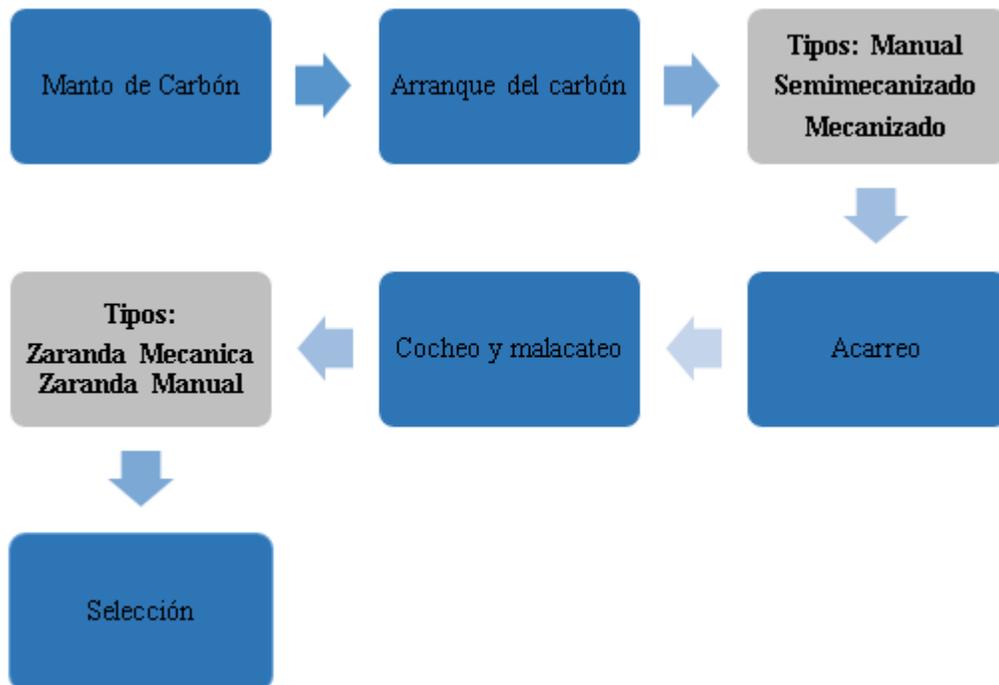


Figura 1. Procesos principales de producción de carbón a evaluar
Fuente: los autores

Resultados

Se analizó el impacto ambiental del ciclo de vida de cada mina, comparando las técnicas de explotación, las herramientas y sus materiales, así como sus respectivos consumos energéticos; los resultados obtenidos del EICV se presentan en Ecopuntos (kPt) para cada categoría de impacto provisto por el Europe Eco-indicador 99 H/A, los resultados de la evaluación se describen a continuación ([tabla 2](#)).

Tabla 2. Resultados EICV de cada mina

Daño de categoría	Unidad	Ciclo de vida	Ciclo de vida	Ciclo de vida
		Mina 1	Mina 2	Mina 3
Human Health	kPt	2.00	4.11	4.30
Ecosystem Quality	kPt	0.54	1.07	1.07
Resources	kPt	1.07	2.15	2.17
Total	kPt	3.61	7.33	7.54

Fuente: los autores

De acuerdo con los resultados, el escenario más impactante es el mecánico utilizado en la mina 3, que incorpora el martillo eléctrico durante todo el proceso de arranque del carbón, además de ser el que más consumo energético tiene por este mismo motivo, seguido del método semimecanizado utilizado en la mina 2, que combina técnicas artesanales (pico y pala) con el martillo eléctrico, finalmente, el escenario de la mina 1 que utiliza únicamente técnicas manuales presenta menos impacto en todas las categorías evaluadas.

Se observa también que el impacto es mayor para la categoría de la salud humana, siendo la mina 3 la que mayor afectación causa usando como método de explotación el martillo eléctrico; la categoría de impacto menos afectada para los tres casos es la calidad de los ecosistemas, especialmente en la mina 1 que tiene el menor impacto en todas las categorías usando como método de explotación el manual sin ayuda de ningún elemento mecánico ([figura 2](#)).

Aunque se observa que el método de arranque del carbón con la técnica semimecanizada es 2.1 veces más impactante y la mecanizada es 2.3 veces más impactante con respecto a la técnica manual, en términos de AVC esta comparación no es suficiente para tener en cuenta el impacto del tipo de explotación realizado por cada mina para proponer el método manual como el más beneficioso en el ejercicio de minería sostenible.

Así mismo, tampoco se puede proponer el método semimecanizado, que presenta una categoría de impacto intermedia, como el más beneficioso, ya que de acuerdo a la [tabla 2](#), en términos de producción se infiere que para este caso específico la mina número 2 que tiene este método de arranque produce menos toneladas mensuales que la mina número 1 que utiliza únicamente el método manual, también es necesario aclarar para este análisis, que es importante tener en cuenta

las horas trabajadas por jornada, el número de trabajadores, las condiciones laborales y los insumos de cada una.

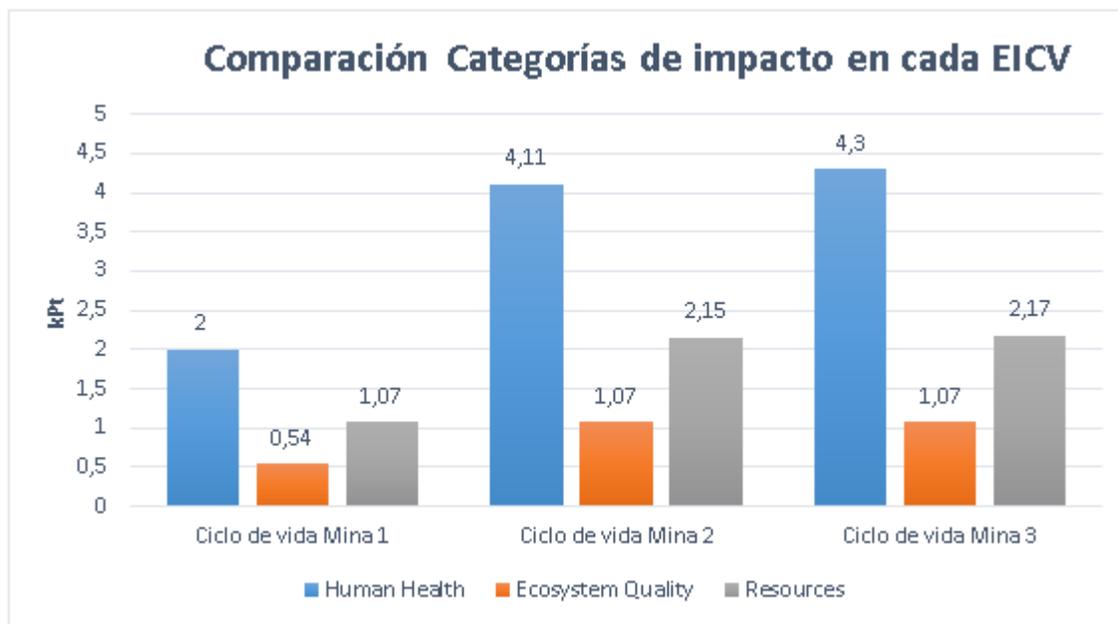


Figura 2. comparación categorías de impacto en los ciclos de vida de las tres minas
Fuente: los autores

Análisis por producción

El **software** SimaPro 8.5.0[®] también cuenta con una herramienta que realiza automáticamente el análisis de ciclo de vida teniendo en cuenta el producto que se quiera evaluar y la cantidad a explotar. A continuación, se analiza el impacto a las categorías de daño por la cantidad de toneladas explotadas de carbón bituminoso (**Bituminous coal, at mine/US Categoría Fuels/coal/produced coal/Mined Coal**) (Kommalapati *et al.*, 2018) de las minas evaluadas y se realiza una comparación entre estas; los resultados del EICV se presentan en Ecopuntos (kPt) para cada categoría de impacto provisto por el Europe Eco-indicador 99 H/A (Awuah-Offei & Adekpedjou, 2011), los resultados de la evaluación se presentan a continuación ([tabla 3](#)).

Tabla 3. Resultados del EICV por la cantidad de toneladas explotadas por mina

Categoría de Daño	Unidad	Mina 1	Mina 2	Mina 3
Human health	kPt	1.45	0.95	3.35
Ecosystem Quality	kPt	0.0127	0.0083	0.0294
Resources	kPt	1.19	0.78	2.75
Total	kPt	2.66	1.74	6.13

Fuente: los autores.

Según los resultados, la mina que mayor impacto genera de acuerdo con la cantidad de toneladas explotadas mensualmente es la mina 3, además de ser la que más consumo energético tiene y la que mayor cantidad de toneladas mensuales explota; impactando en gran medida a la categoría de la salud humana, seguido del impacto a los recursos naturales y la calidad de los ecosistemas. También se observa que en este caso la mina 2 es la que menor impacto genera en todas las categorías de daño, hay que tener en cuenta que este resultado se debe a que esta mina es la que menos cantidad explota en toneladas mensuales de las tres.

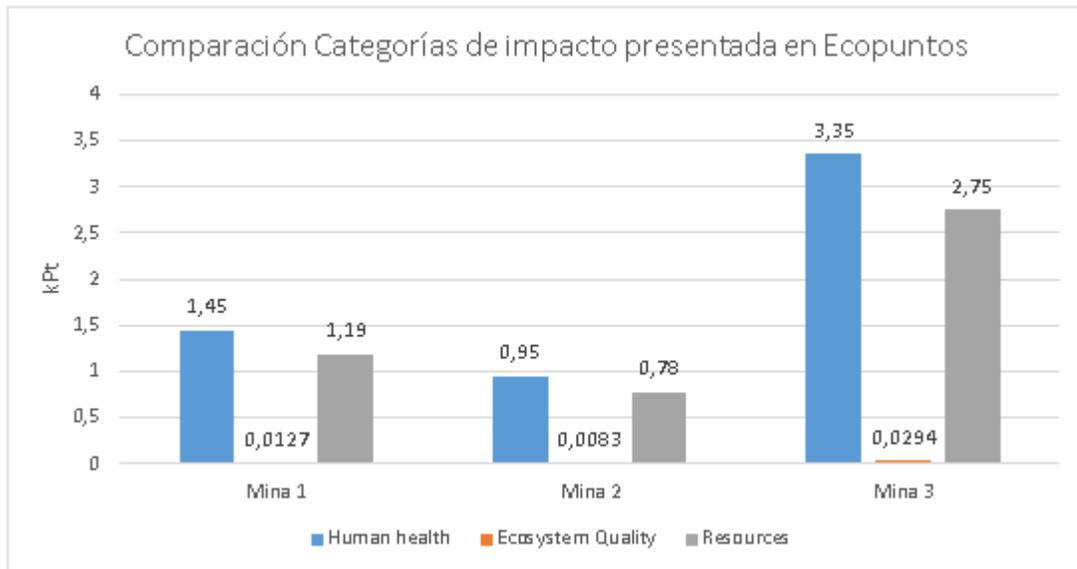


Figura 3. Comparación categorías de impacto por cantidad explotada
Fuente: los autores

Según la [figura 3](#), se determina que los resultados obtenidos en este análisis varían mucho entre las tres minas, se observa que la mina 3 es casi dos veces más impactante en comparación a la mina 1 y 2.4 veces más impactante que la mina 2 en la categoría a la salud humana; siendo este resultado el esperado, ya que la mina 3 es la que más explota mensualmente, de esto se deduce que esta situación se debe probablemente a la alta exposición al polvillo de carbón que produce enfermedades respiratorias como asma, asfixia, neumonía, bronquitis y tos, en lo relacionado con dificultades respiratorias; además de hongos, manchas y brotes en la piel. Diferentes estudios han demostrado que con el tiempo esta exposición puede generar enfermedades crónicas tales como silicoantracosis, hipertensión, cáncer pulmonar, problemas gástricos severos, bronquiectasia, neuropatías, apnea del sueño, sinusitis (Barrios, 2014) y la neumoconiosis de los mineros de carbón, enfermedad pulmonar causada por acumulación de polvo inhalado en los pulmones y la reacción tisular que Este provoca (Martínez, 2005).

Por otro lado, la calidad de los ecosistemas es el factor que menos se ve afectado de las tres categorías de daño, ya que los datos arrojados por el programa dan cuenta de valores mínimos en las tres minas estudiadas, siendo tendencia la mina 3 como la que causa más daño al ecosistema y la mina 2 la que presenta menos impacto. Por último, el daño a los recursos sigue la misma tendencia que las otras dos categorías.

Conclusiones

La EICV asocia los datos del inventario con las categorías de impacto ambiental y sus indicadores para entender el daño, esta fase además proporciona información para dar una adecuada interpretación del ciclo de vida.

El SimaPro® es una herramienta que permite hacer una evaluación de diferentes escenarios que involucran la producción de carbón proporcionando resultados que ayudan a determinar el impacto a la salud humana, los recursos y la calidad de los ecosistemas con el fin de establecer cuáles procesos unitarios se pueden modificar, optimizar y mejorar para disminuir el impacto ambiental de la actividad.

La metodología del Eco-indicador 99 es muy eficiente porque permite evaluar el impacto ambiental en diferentes categorías de daño respecto a los criterios que se quieran analizar, como consumo de energía, transporte, materiales y cantidad producida.

Según los resultados, el proceso unitario de arranque de carbón que involucra el martillo eléctrico es el método que más impacta a las tres categorías de daño evaluadas, sin embargo, al ser un proceso completamente mecanizado permite que se explote mayor cantidad de carbón que en los otros dos métodos, pero este no se puede descartar completamente porque a pesar de que es más grande el impacto, económicamente es más productivo.

Con respecto a los resultados del análisis de la cantidad de carbón explotado en toneladas por mes, se puede concluir que a mayor producción mayor impacto. Por este motivo, la mina número 2 con el método semimecanizado que utiliza el martillo eléctrico y pica y pala en el arranque de carbón es la que menos impacto tiene en todas las categorías de daño por ser la mina que menos producción mensual presenta.

A pesar de que los métodos de arranque de carbón semimecanizado y mecanizado, son más impactantes que el método manual, es necesario tener en cuenta la producción mensual que se logra con cada técnica, ya que este indicador influye en la rentabilidad y la competitividad del sector.

Una de las limitaciones que se pueden presentar en este tipo de estudios son la inclusión de factores como los registros mensuales de las condiciones climáticas, oferta y demanda de carbón a nivel regional, tiempo de exposición a contaminantes como el polvillo de carbón de acuerdo con el número de horas trabajadas dentro de la mina y la edad de los mineros.

Se puede sugerir el uso de esta metodología y software para investigaciones relacionadas con el análisis del ciclo de vida de actividades de explotación de materiales de construcción y otras materias primas, ya que se pueden incluir y analizar los procesos unitarios de producción, diferentes métodos de explotación y permite la evaluar variadas categorías de daño: salud humana, calidad del ecosistema y recursos.

Potencial conflicto de intereses

Los autores declaramos respecto a la posible existencia de conflicto de intereses en la realización de la investigación que no existe conflicto alguno.

Fuentes de financiación

El proyecto fue financiado por el Grupo de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo (GIMAD) y Biominerales Col SAS.

Referencias

- Agencia Nacional de Minería (ANM). (2017). *Ficha mineral: CARBÓN*. ANM.
- Awuah-Offei, K. & Adekpedjou, A. (2011). Application of life cycle assessment in the mining industry. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(1), 82-89. <https://bit.ly/3hHvGZu>
- Barrios, M. (13 de octubre de 2014). Carbón ha causado 22 enfermedades en corredor minero. *El Heraldó*. <https://bit.ly/3Cl6IbB>
- Bernatene, M. D. R. y Canale, G. J. (2018). Innovación sustentable en Diseño a partir de la integración del análisis de Ciclo de Vida (ACV) con Cadenas Globales de Valor (CGV). *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (69), 1-6. <https://bit.ly/375Mveu>
- EIA. (2020). *Internacional - Administración de Información Energética de EE. UU. (EIA)*. <https://bit.ly/3Mo23u5>
- European Association for Coal and Lignite (Eurocoal). (2016). *World coal market developments – world coal production and seaborne trade*. Madrid: European Association for Coal and Lignite. [Link](#)
- Goedkoop, M., Eftting, S. y Collignon, M. (1999). *Anexo, Eco indicador 99. Método para evaluar el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida*. Pre consultants B.V. <https://bit.ly/3IObnoP>
- Goedkoop, M. & Spriensma, R. (2001). *The Eco Indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*. Pré Consultants B.V. <https://bit.ly/3lPnQ0>
- Higuera Garzón, R. (2015). Minería del carbón en Boyacá: entre la informalidad minera, la crisis de un sector y su potencial para el desarrollo. *Revista Zero*, 33. <https://bit.ly/34gZCbJ>
- Kommalapati, R., Hossan, I., Botlaguduru, V., Du, H. & Huque, Z. (2018). Life Cycle Environmental Impact of Biomass Co-Firing with Coal at a Power Plant in the Greater Houston Area. *Sustainability*, 10(7), 1-18. <https://bit.ly/3ty0W2n>

Martínez, C. (2005). Neumoconiosis. *Revista patología respiratoria*, 8(1), 43-44.
https://www.revistadepatologiasrespiratoria.org/descargas/pr_8-1_43-44.pdf

Mieras, E. (29 de octubre de 2013). Putting the metrics behind sustentability. *Eco-indicador 99 Manuales*. [Link](#)

NTC ISO 14040. (2007). *Análisis de Ciclo de Vida. Principios y Marco de Referencia*. [Link](#)

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2005). *La cadena del carbón: El carbón colombiano fuente de energía para el mundo*. Unidad de Planeación Minero Energética.
https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/874/1/upme_388_cadena_carbon_2005.pdf

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2021). Carbón. *UPME*.
<https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Paginas/carbon.aspx>

1 Msc. Ingeniería Ambiental, Grupo de Investigación GIMAD. Universidad Nacional de Colombia, Ciudad Bogotá, Colombia. E-mail: rmanriquea@unal.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8585-6147> Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=rHh09MgAAAAJ&hl=es>

2 Ingeniera Ambiental, Esp. Gestión Ambiental, Grupo de Investigación GIMAD, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Ciudad Tunja, Colombia. E-mail: dianaarias.quintero@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7626-856X> Google Scholar: [Link](#)

3 Ingeniera Ambiental, Grupo de Investigación GIMAD. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Ciudad Tunja, Colombia. E-mail: karoldaniela.medinag@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2879-1249> Google Scholar: [Link](#)

Para citar este artículo: RA Manrique-Abril, Arias Quintero, D. C. y Medina González, K. D. (2022). Ciclo de vida de la explotación de carbón mineral en Paipa, Boyacá. *Revista Luna Azul*, 53, 38-48. DOI: <https://doi.org/10.17151/luaz.2021.53.3>

Esta obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](#)



Código QR del artículo

