

Impactos ambientales sobre el recurso hídrico producidos por la
minería de carbón en Colombia, una revisión bibliográfica

Laura Valentina Avellaneda Beltrán

Programa de Ingeniería Ambiental
Facultad de ingeniería Ambiental y Civil
Universidad Antonio Nariño
Bogotá D.C.
2023

Impactos ambientales sobre el recurso hídrico producidos por la minería de carbón en Colombia, una revisión bibliográfica

Laura Valentina Avellaneda Beltrán

Documento presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero ambiental

Director: Jessica Cifuentes
Codirector Metodológico: Lyda Yiced Machuca Rojas

Programa de Ingeniería ambiental
Faculta de ingeniería Ambiental y Civil
Universidad Antonio Nariño
Bogotá D.C.
2023

IMPACTOS AMBIENTALES SOBRE EL RECURSO HÍDRICO PRODUCIDOS POR LA MINERÍA DE CARBÓN EN COLOMBIA, UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

ENVIRONMENTAL IMPACTS ON THE WATER RESOURCE PRODUCED BY COAL MINING IN COLOMBIA, A LITERATURE REVIEW

Avellaneda Beltrán, Laura Valentina.

¹ Universidad Antonio Nariño, Colombia, lavellaneda97@uan.edu.co

Resumen: La minería de carbón en Colombia ha generado impactos económicos positivos, como el aporte al PIB nacional, las exportaciones, el pago de regalías, la generación de empleo y la contribución al suministro de energía del país, no obstante, también se menciona que la práctica excesiva de la minería de carbón ha desencadenado impactos ambientales negativos en el suelo, aire, flora, fauna y recurso hídrico, siendo originados por las malas prácticas de esta industria y se agudizan por la minería legal e informal. La revisión bibliográfica abarca temas sobre los impactos ambientales producidos por la minería de carbón en Colombia en el recurso hídrico. La metodología utilizada fue de tipo cualitativa, con ayuda del análisis, síntesis de información y datos, utilizando herramientas para la recopilación de los mismos. Por medio de una búsqueda de información rigurosa en bases de datos científicas se logró identificar 123 artículos que fueron evaluados por medio de un software para posterior uso en la ejecución del proyecto, implementando el uso de la herramienta digital Parsifal para realizar una revisión sistemática de la bibliografía hallada, lo que permitió sintetizar y seleccionar la información en un menor tiempo. El objetivo de esta revisión bibliográfica es presentar de manera clara y sintetizada los impactos ambientales producidos por la minería de carbón en Colombia en el recurso hídrico, así como las posibles medidas que se pueden tomar para reducir estos impactos. En cuanto a los resultados, se encontró que la minería de carbón en Colombia tiene un impacto significativo en el recurso hídrico, ocasionado una disminución de la calidad, cantidad del agua, lo que afecta a la fauna y flora de la zona. Además, se identificaron diversas medidas que permitan reducir los efectos negativos de la minería de carbón sobre el recurso hídrico, como la implementación de tecnologías más limpias y la creación de planes de manejo ambiental.

Palabras claves: minería de carbón, recursos hídricos, contaminación, impacto ambiental negativo, explotación minera, contaminantes producidos por la minería

Abstract: Coal mining in Colombia has generated positive economic impacts, such as contribution to the national PIB, exports, royalty payments, employment generation and contribution to the country's energy supply, however, it is also mentioned that the excessive practice of coal mining has triggered negative environmental impacts on soil, air, flora, fauna and water resources, being originated by the bad practices of this industry and aggravated by legal and informal mining. The bibliographic review covers topics on the environmental impacts produced by coal mining in Colombia on water resources. The methodology used was qualitative, with the help of analysis, synthesis of information and data, using tools for data collection. By means of a rigorous search of information in scientific databases, 123 articles were identified and evaluated by means of software for later use in the execution of the project, implementing the use of the digital tool Parsifal to perform a systematic review of the bibliography found, which allowed synthesizing and selecting the information in less time. The objective of this bibliographic review is to present in a clear and synthesized manner the environmental impacts produced by coal mining in Colombia. As for the results, it was found that coal mining in Colombia has a significant impact on water resources, causing a decrease in the quality and quantity of water, which affects the fauna and flora of the area. In addition, several measures were identified to reduce the negative effects of coal mining on water resources, such as the implementation of cleaner technologies and the creation of environmental management plans.

Key words: Coal mining, water resources, pollution, negative environmental impact, mining exploitation, pollutants produced by mining

INTRODUCCIÓN

El carbón en el sector económico es considerado como una de las principales fuentes del país, es por esto que cada vez genera más demanda su extracción y producción, teniendo en cuenta que este mineral simboliza el 54% de las exportaciones mineras colombianas y alrededor de 154.000

puestos de trabajo directa e indirectamente a través de sus cadenas de producción (Agencia nacional de minería, 2021).

La minería carbonífera en Colombia se considera una industria con vistas al desarrollo y progreso del país además representa una gran oportunidad económica benéfica para el mismo. Teniendo en cuenta el censo minero realizado entre 2010 y 2011 Colombia por sus elevadas unidades de producción minera de las cuales se estima una cifra aproximada equivalente a 14.357, los departamentos con mayor participación en la industria están encabezados por Boyacá con un porcentaje de 18.5%, de seguido Antioquia, Cundinamarca y Bolívar, este grupo representa alrededor del 70% de las unidades de producción minera del País, no obstante, solo el 50% de estas son a pequeña escala y el 17% cuentan con título minero, desencadenando falencias en sus actividades operacionales en materia ambiental originando impactos negativos en el medio ambiente y en poblaciones aledañas (Rodríguez Aparicio & Vergara Buitrago, 2021).

En el transcurso de los años 2012 y 2020, en Colombia la producción fue estimada anualmente en 83,9 millones de toneladas, por ello el País se establece como el primer productor de carbón en América Latina y es posicionado en el undécimo puesto a nivel mundial, con lo cual consigue estar dentro de los primeros cinco exportadores de carbón del mundo (Bustamante Ortega et al., 2021).

Las principales industrias dedicadas a tal actividad se han centrado en los grandes beneficios económicos que este mineral aporta al país, sin tener en cuenta que a raíz de estas contribuciones se han desencadenado impactos negativos con altas repercusiones en el medio ambiente especialmente en fuentes hídricas (Bustamante et al, 2021).

En el entorno social, las personas que viven cerca de las zonas donde se realiza la extracción de carbón enfrentan impactos derivados de los diversos procedimientos asociados con esta actividad. Estas repercusiones se manifiestan en posibles riesgos para la salud, alteraciones en el entorno visual, desplazamiento de comunidades y afectaciones al medio ambiente.

Por consiguiente la elaboración de la presente revisión deriva de la necesidad de identificar la influencia de la minería del carbón y los impactos ambientales negativos generados en cuerpos hídricos de Colombia, por medio del análisis y recopilación de información con ayuda del software

Parsifal, el cual es reconocido como una herramienta diseñada para ayudar a investigadores a realizar revisiones de literatura confiables, la siguiente búsqueda y síntesis de información ampliará el conocimiento de esta temática y contribuirá a buenas prácticas de manejo y ampliación de líneas de investigación en materia ambiental. Los aportes esperados a la culminación de este se exponen como la ampliación y síntesis de información relevante sobre los impactos ambientales generados por la industria carbonífera en Colombia (Lillo,2006).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La minería de carbón es una actividad esencial para Colombia, teniendo en cuenta su gran participación económica en el territorio y su amplio tributo sobre el sector social en las regiones productoras. El sector de la minería de carbón en los últimos años ha traído consigo diversos beneficios para el país, durante el transcurso de los años 2016 a 2020 mostró alrededor del 1% del producto interno bruto (PIB) nacional y el 16% de las exportaciones de Colombia, junto a esto contribuye a el pago de regalías, generación de empleo y suministra alrededor del 7% de las necesidades energéticas del país. La demanda de la extracción de este mineral cada vez es mayor ya que es un suministro esencial para la mayoría de las industrias como siderúrgica, papelera, cementera, química y de producción de coque (Bustamante et al, 2021).

Teniendo en cuenta los impactos económicos positivos anteriormente mencionados, se ha generado una práctica excesiva de la minería de carbón lo cual ha desencadenado impactos ambientales negativos en: suelo, aire, flora, fauna y recurso hídrico, siendo originados por las malas prácticas de esta industria y se agudizan por la minería legal e informal; algunos estudios realizados a cuerpos hídricos del país aseguran que varias minas de carbón muestran fallas técnicas en el manejo adecuado del recurso hídrico y adicionalmente se presenta liberación de elementos tóxicos como: plomo, arsénico y mercurio, en los procesos mineros (Unidad de planeación minero energética & Universidad de Córdoba, 2015).

Por lo tanto, es importante identificar y analizar los impactos generados a partir de la minería de carbón con el fin de informar a las partes interesadas sobre estos, en busca de alternativas para la sostenibilidad de los procesos realizados en donde se destaca la prevención, mitigación, minimización y compensación de los impactos ambientales negativos, con el propósito de

propender a la conservación de las fuentes hídricas, por lo tanto se plantea la siguiente incógnita ¿Cuáles son las afectaciones sobre el recurso hídrico que produce la minería de carbón en Colombia?

ESTADO DEL ARTE

El desarrollo del Carbón en Colombia surge a partir de la revolución industrial en el siglo XX y se desarrolla de forma semejante con la geología del país, más adelante, a partir del 1948 el servicio geológico del ministerio del País impulsa el conocimiento del carbón y el estudio en diferentes zonas del mismo, entre ellas Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca y Boyacá. En 1975 se efectúa la primera publicación entre el Ministerio de minas e INGEOMINAS en el cual es posible conocer todas las zonas de Carbón en el país, entre 1977 y 1992 surgieron empresas encargadas del desarrollo, la administración y la exploración del carbón en el país denominadas Carbocol, Ecocarbón y Minercol respectivamente, seguido de este periodo se tiene en cuenta la parte legal de los títulos mineros y el control de las explotaciones (Umaña & Jorge, 2014).

La nación cuenta con una legislación extensa relacionada con la extracción de carbón, abarcando aspectos mineros, ambientales y de derechos humanos. Este conjunto de normativas se formula con y para la comunidad que se dedica diariamente a la actividad minera del carbón en Colombia. La revisión de las normas mineras es esencial para obtener licencias ambientales, realizar estudios de impacto ambiental y adquirir títulos mineros. Estos requisitos deben ajustarse para su aprobación y constituir el primer paso obligatorio en la tramitación de un título minero. De esta manera, se establecerá un control ambiental inicial más riguroso que el actual sobre las operaciones de las empresas mineras (Bohórquez Rozo, 2019).

El desarrollo de la rigurosidad minera a nivel de normativa en el país se produjo a raíz de las innumerables afectaciones producidas mediante la minería de carbón, desencadenando efectos contaminantes sobre el medio ambiente relacionados especialmente al recurso hídrico, el cual presenta el más alto nivel de afectación. Algunos de los impactos de la minería sobre las fuentes hídricas están dados por: remoción de acuíferos, acidificación del agua, alteración de la dinámica fluvial, pérdida de masas de agua y alteraciones en el régimen hidrogeológico (Lillo, 2006).

El ciclo hidrológico se considera primordial en los efectos de la lluvia ácida en el medio, los efectos específicos relevantes se reflejan en la acidificación de las fuentes hídricas (poniendo en riesgo la proporción de los ecosistemas acuáticos) y en aguas subterráneas por procesos de lixiviación y percolación, problemas con la fauna acuática, daños a flora y el aumento de deterioro en las edificaciones urbanas. Los acuíferos corren un alto riesgo de penetración, aumentando la solubilidad de los metales tóxicos y disminuyendo las fuentes de abastecimiento de agua potable (IDEAM,2010).

Las afectaciones a los factores asociados con el recurso hídrico están relacionados con los efectos contaminantes resultantes en las etapas que se encuentran vinculados con los procesos carboníferos, según el documento de soporte del sector minero energético y su relación con el medio natural, emitido por la unidad de planeación minero-energética (UPME). Reconoce que la etapa inicial del origen del mineral se define como la exploración geológica, la cual ocasiona impactos ambientales en el recurso hídrico no tan significativos como variación en corrientes hídricas superficiales debido a que esta tiene un lapso de tiempo establecido, por el contrario en la etapa de la explotación se contemplan afectaciones a fuentes hídricas más relevantes como las variaciones en la calidad físico-química del agua, alteración y afectación a aguas subterráneas, debido a su amplio tiempo de labor (Unidad de planeación minero energética, 2015).

Algunos estudios realizados a cuerpos hídricos del país aseguran que el efluente minero residual usado en la extracción del mineral antes mencionado está contaminando arduamente los afluentes de algunos municipios del País, los cuales son empleados para la agricultura, el estudio apunta que hay un elevado índice de exposición a razón de los altos niveles de sólidos, metales y sales halladas en los afluentes (Transformación minera, 2011).

Considerando una concentración elevada de metales pesados en cuerpos de agua del país, se han llevado a cabo investigaciones con el fin de evaluar la magnitud del impacto causado por las operaciones mineras relacionadas con la extracción de carbón.

En el área de influencia al norte de Colombia, realizando una medición de los niveles de algunos metales pesados entre ellos cobre, cadmio, Vanadio y plomo en 21 muestras de agua lluvia, la contaminación del sitio se refleja que el agua lluvia no cumple con las normas de calidad, tanto a

nivel nacional como internacional, ya que los parámetros de pH y por tanto no es apta para el ingesta humana (Argumedo, 2017).

El término desarrollo sostenible busca un equilibrio entre las necesidades de crecimiento económico y desarrollo social, manteniendo un manejo adecuado de los recursos no renovables. Siendo la única forma en que pueden satisfacerse las necesidades de la población sin disminuir los recursos de las generaciones futuras, por ende, es importante garantizar una minería de carbón sostenible y amigable hacia el entorno para la conservación del recurso hídrico (Asociación Colombiana de Minería., 2019).

MARCO REFERENCIAL

Para conceptualizar el tema es primordial comprender el concepto de carbón y cómo se relaciona con la actividad minera, este se define como un material de origen natural, es una roca sedimentaria que, según su origen, permite la aglomeración de materia mineral y orgánica, dentro de las características de este mineral se destaca su color negro por lo cual dispone de poca capacidad de reflejar luz, otra característica principal es su capacidad generadora de calor y por consiguiente se considera como un material combustible, con base en lo descrito con anterioridad el carbón puede definirse como una roca sedimentaria, biogénica, compuesta, predominante por materia orgánica, de color negro y combustible (Umaña & Jorge, 2014). Por su parte, la minería se determina como una actividad económica la cual realiza procesos de extracción y explotación de los minerales que se encuentran en el suelo y el subsuelo, siendo esencial para la vida de toda sociedad. (Transformación Minera, 2017) A continuación, se definen algunos conceptos relevantes para comprender los impactos generados por la minería de carbón

Recursos hídricos

Son fuentes de agua aprovechables producidas, este recurso es esencial para la vida en el planeta, ya que es útil en diferentes actividades sean domésticas, agrícolas e industriales. (Universidad privada del norte, 2022).

Contaminación hídrica

La contaminación hídrica es aquella alteración o modificación en sus características organolépticas, físicas o químicas, estas ocurren como resultado de actividades humanas o procesos naturales que podrían tener consecuencias tales como rechazo, enfermedad o muerte a quien la consume. Generalmente la contaminación hídrica ocurre en vertimientos, por derrames de desechos lo que provoca la degradación del agua y una modificación en su calidad (Segura Triana, 2007).

Impacto ambiental positivo

Son acciones desarrolladas en beneficio al medio ambiente con el fin de corregir, mitigar y prevenir los efectos negativos de las actividades humanas (García, 2019).

Impacto ambiental negativo

Se define como alteraciones al entorno que traen efectos adversos tanto al medio natural como a la salud, este trae consigo contaminación al planeta teniendo en cuenta el suelo, agua aire (García, 2019)

Explotación industrial minera

Proceso de extracción y transformación de los minerales, así como la actividad encaminada a la disposición y desarrollo de las áreas que abarca el depósito mineral (Ministerio de minas y energía, 2003).

Exploración

Búsqueda de acopios de minerales por medio de actividades llevadas a cabo para dar a conocer la existencia, cantidad y calidad del depósito en un sitio específico (Ministerio de minas y energía, 2003).

Calidad del agua

Es la agrupación de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, la condición del recurso se mide en tres campos: Hidrodinámica, fisicoquímica y biológica (Segura Triana, 2007)

Contaminantes producidos por la minería

La minería de hulla tiene una alta capacidad de polución, esta depende de su origen de extracción, existen diferentes tipos de residuos que afectan en poca y gran proporción el medio ambiente, dentro de los contaminantes de este proceso se encuentran (PM10 y PM2.5), formado por elementos orgánicos volátiles, gases de invernadero, que pueden desplazarse hasta la superficie poniendo en riesgo el medio ambiente; Los contaminantes de la industria del carbón pueden ser: Compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos alifáticos, gases de efecto invernadero, óxidos, metales (Galeano Páez et al., 2020).

OBJETIVOS

GENERAL

Realizar una revisión bibliográfica de los impactos ambientales generados sobre el recurso hídrico a causa la minería de carbón en Colombia

ESPECÍFICOS

- Conocer los impactos ambientales a fuentes hídricas producidos por la minería de carbón en Colombia.

- Analizar las estrategias aplicadas en Colombia para la minimización, mitigación, compensación y remediación de impactos hacia el recurso hídrico ocasionado debido a la minería de carbón
- Efectuar un artículo de divulgación con el fin de informar a todas las partes interesadas sobre las afectaciones de la minería de carbón a fuentes hídricas

METODOLOGÍA Y DISEÑO MUESTRAL

La metodología que se llevará a cabo en esta revisión bibliográfica será de tipo cualitativa, con ayuda del análisis y síntesis de información y datos, usando herramientas para recopilación de datos, dentro de ellos el software Parsifal, reconocido como una herramienta diseñada para ayudar a investigadores a realizar revisiones de literatura confiables, de igual manera se contará para la realización del proyecto con los recursos electrónicos proporcionados por la Universidad Antonio Nariño a los estudiantes para realizar la respectiva búsqueda de artículos científicos en bases de datos científicas (Rodríguez Sedano, 2019).

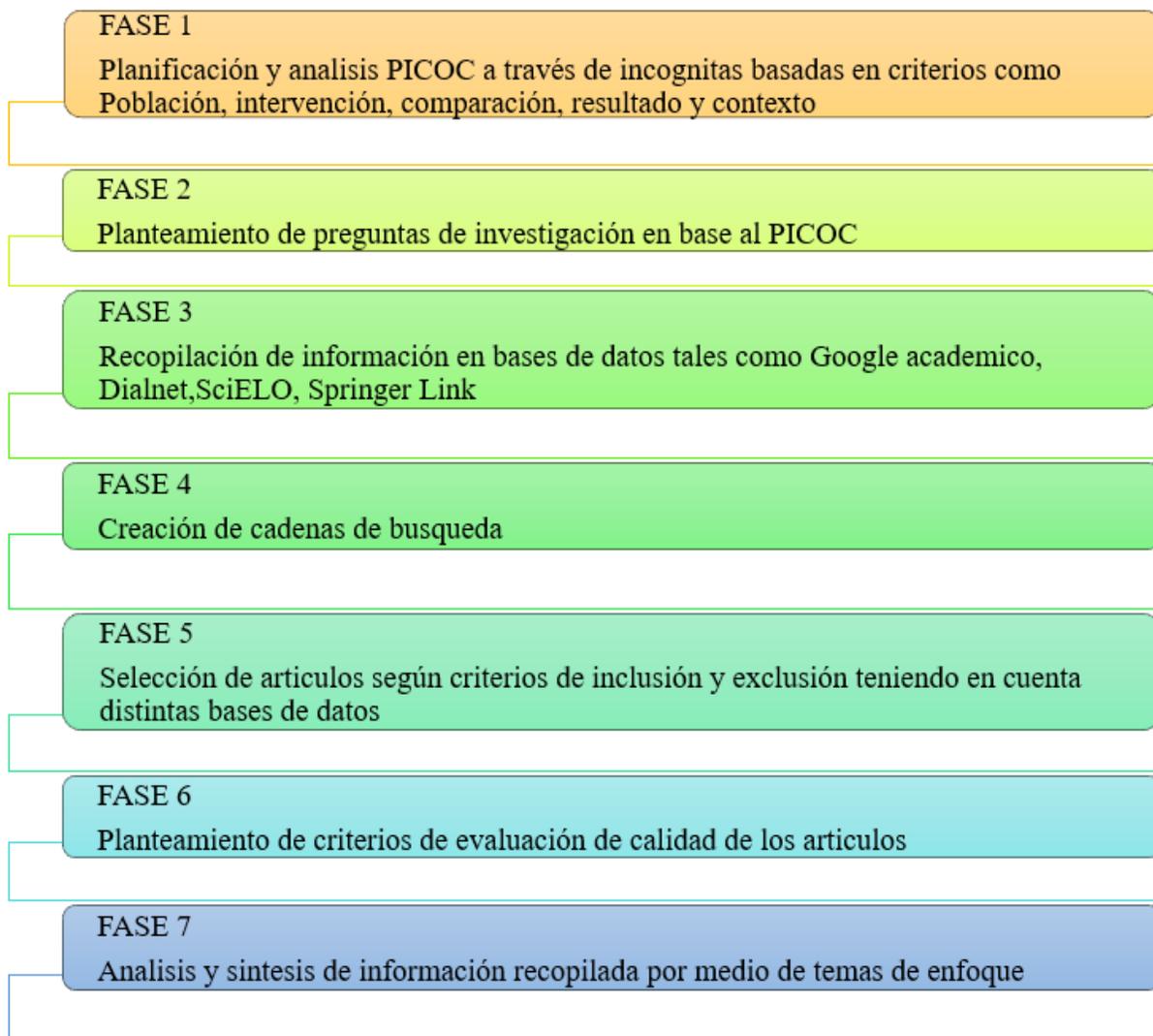
La siguiente revisión bibliográfica está basada en una investigación documental la cual está fundamentada a través de instrumentos existentes y con ellos realizar una selección apropiada de material para estudio, esto permite a los investigadores recopilar, interpretar y plantear nuevos documentos (Muguira, 2023).

Para efectuar esta indagación bibliográfica planteada a partir de los impactos generados a los recursos hídricos por la industria de la minería de carbón en Colombia, se realiza una búsqueda de información en bases de datos como Dialnet, Google académico, Redalyc, Refseek, SciELO, Springer link, EBSCO host, en esta búsqueda bibliográfica se recopilaron 123 artículos los cuales fueron evaluados por medio de un software para posterior uso en la ejecución del proyecto.

Con el fin de realizar una revisión sistemática de la bibliografía hallada se implementa el uso de la herramienta digital Parsifal, la cual permite sintetizar y seleccionar la información en un menor tiempo, por otro lado como resultado obtenemos la síntesis para planificación de información y así obtener resultados concretos.

Figura 1

Fases metodológicas para el desarrollo del proyecto



Nota: Elaboración propia

Fase 1

Planificación

Análisis PICOC

En la planificación se tiene en cuenta un protocolo el cuál toma como base los objetivos del proyecto y enseguida enfocándose en el análisis PICOC, dentro de sus siglas podemos identificar los siguientes términos: Population, Intervention, Comparison, Outcomes, Context, este término permite analizar, incluir o excluir diversos artículos tomados de las bases de datos.

Figura 2

Planteamiento de criterios e incógnitas en base al PICOC

Criterios	Incógnitas
<ul style="list-style-type: none">• Población• Intervención• Comparación• Resultado• Contexto	<ul style="list-style-type: none">• ¿Para quien?• ¿En qué?• ¿Con qué?• ¿Qué?• ¿Cuál?

Nota: Elaboración propia

Fase 2

Preguntas de investigación en base a los criterios del PICOC

Dentro de este ciclo de la metodología se plantean incógnitas sobre la investigación las cuales serán el cuestionamiento base del tema de estudio que se desea responde

Las incógnitas que se plantean serán de tipo cuantitativa las cuales pueden estar categorizadas en preguntas de investigación de tipo descriptivas, comparativas o relacionales (Narváez, 2023).

Fase 3

Búsqueda de información en las respectivas bases de datos

Al tener clara la temática base de nuestra línea de investigación se procede a seleccionar bases de datos confiables

Tabla 1

Selección de bases de datos

BASES DE DATOS
Dialnet
Google Académico
Redalyc
Refseek
SciELO
Springer Link
EBSCOhost
Repositorio Universidad Nacional

Nota: Elaboración propia

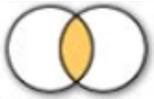
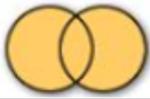
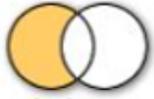
Fase 4

Creación cadenas de búsqueda

La elaboración de cadenas de búsquedas son de gran utilidad ya que permiten realizar búsquedas avanzadas, filtrar contenido y recopilar información de manera eficaz y concisa, dentro de estas se hace uso de los operadores booleanos, estos usan la conexión de ciertos términos para precisar o ampliar los resultados dentro de ellos se encuentran AND, OR y NOT

Tabla 2

Descripción operadores booleanos para creación de cadenas de búsqueda

OPERADOR	DESCRIPCIÓN	
AND (intersección)	Disminuye y caracteriza la búsqueda	
OR (unión)	Amplia la búsqueda	
NOT (exclusión)	Prioriza la locución siguiente	

Nota: Elaboración propia

Fase 5

Criterios de inclusión y exclusión

En esta etapa de la metodología se requiere determinar aspectos primordiales para la delimitación de criterios de búsqueda y selección de artículos

- Criterios de inclusión
 1. El artículo debe proceder de fuentes confiables

2. El artículo se debe encontrar en inglés o español
- Criterios de exclusión
 1. No incluir artículos en otro idioma que no sea inglés o español
 2. No incluir artículos que no contengan información relevante para la investigación.

Fase 6

Criterios de evaluación de calidad de los artículos

Al seleccionar y filtrar los artículos según la búsqueda de información es primordial realizar una evaluación a cada uno de ellos teniendo en cuenta que todos los artículos cuentan con aspectos relevantes distintos, con lo anterior, la calidad de algunos textos será mayor o inferior. Para su evaluación se tendrá en cuenta algunas preguntas y respuesta base. Luego de seleccionar la información de acuerdo a nuestro criterio cada artículo contará con un puntaje el cuál determinará la calidad de cada uno respectivamente siendo 1.0 una pésima calidad y 5.0 la mejor calidad

Tabla 3

Criterios de evaluación de calidad de los artículos

Preguntas	Respuestas	Puntuación
¿El artículo proviene de bases de datos confiables?	El artículo fue encontrado en bases de datos confiables.	1.0
¿El artículo contiene información relevante para la investigación?	El artículo contiene información clara, concisa y útil para mi investigación.	1.0
¿La información de procedencia del artículo es clara?	El artículo muestra datos como fecha de creación, publicación, autores y demás datos de interés.	1.0

¿El artículo fue creado entre los años 2010 y 2023?	El artículo se encuentra en el rango de tiempo de interés.	1.0
¿El artículo se encuentra en el idioma de interés?	El artículo se encuentra en inglés o español.	1.0
PUNTUACIÓN TOTAL		5.0

Nota: Elaboración propia.

Fase 7

Teniendo en cuenta las preguntas de investigación anteriormente propuestas se busca abordar la población involucrada y las variables de estudio, para esto es necesario desglosar el tema principal en distintas ramificaciones para llegar al tema inicial de estudio.

RESULTADOS

Fase 1

Análisis PICOC

Al establecer la dirección del proyecto a través de la planificación, se logró definir la orientación de la investigación. Esta orientación está fundamentada en la población objetivo, los temas de intervención, las áreas en las que es factible comparar la búsqueda de información, el resultado esperado y el contexto en el que se pretende aplicar.

Tabla 4

Resultados de los criterios e incógnitas creadas en base al PICOC

PICOC		
CRITERIO	INCÓGNITA	RESULTADO
Población	¿Para quién?	Población interesada en la búsqueda información sobre los impactos ambientales generados por la minería de carbón en fuentes hídricas en Colombia
Intervención	¿En qué?	Impactos ambientales negativos sobre el recurso hidrico generados por la industria carbonífera
Comparación	¿Con quién?	Impactos generados a la atmósfera por extracción de carbón en Colombia
Outcome (Resultado)	¿Qué?	Artículo de divulgación
Contexto	¿Cuál?	Académico

Nota: Elaboración propia.

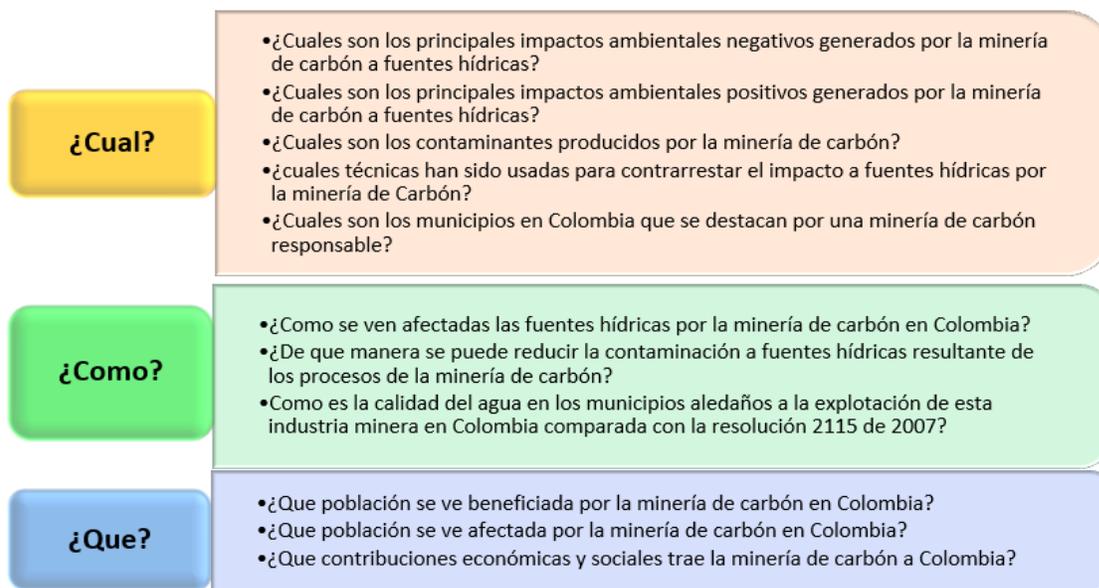
Fase 2

Preguntas de investigación en base a los criterios del PICOC

La búsqueda de información tuvo como base las preguntas de investigación con un enfoque principal en el impacto de la minería de carbón sobre el recurso hídrico en Colombia; estas tablas tuvieron una orientación por el análisis del PICOC y son de utilidad como herramienta para desarrollar las siguientes fases de la búsqueda bibliográfica.

Figura 3

Planteamiento de preguntas de investigación



Nota: Elaboración propia

Fase 3

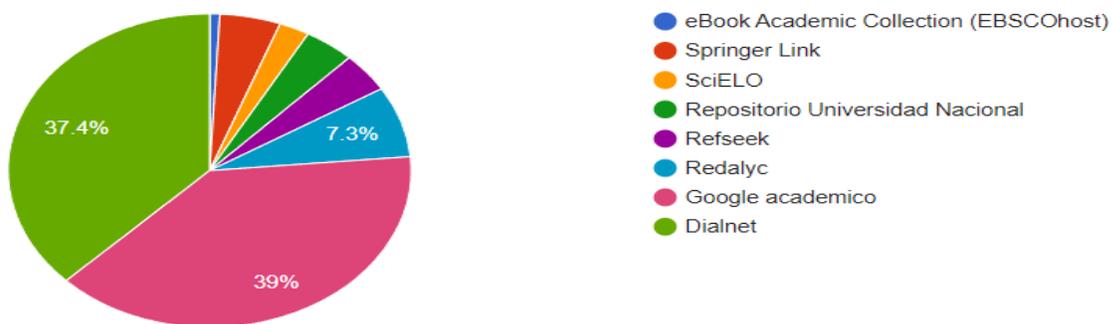
Búsqueda de información en las respectivas bases de datos

Dentro de las bases de datos podemos encontrar la información de manera sintetizada y organizada, dentro de ellas se encuentran datos recopilados en un mismo contexto, estos pueden ser filtrados y de acuerdo a esto pueden obtenerse distintos porcentajes de búsqueda

Respecto a las bases de datos elegidas se realizó una representación porcentual demostrando que un porcentaje de 39% y 37.4% en los bancos de datos Google académico y Dialnet respectivamente

Gráfica 1

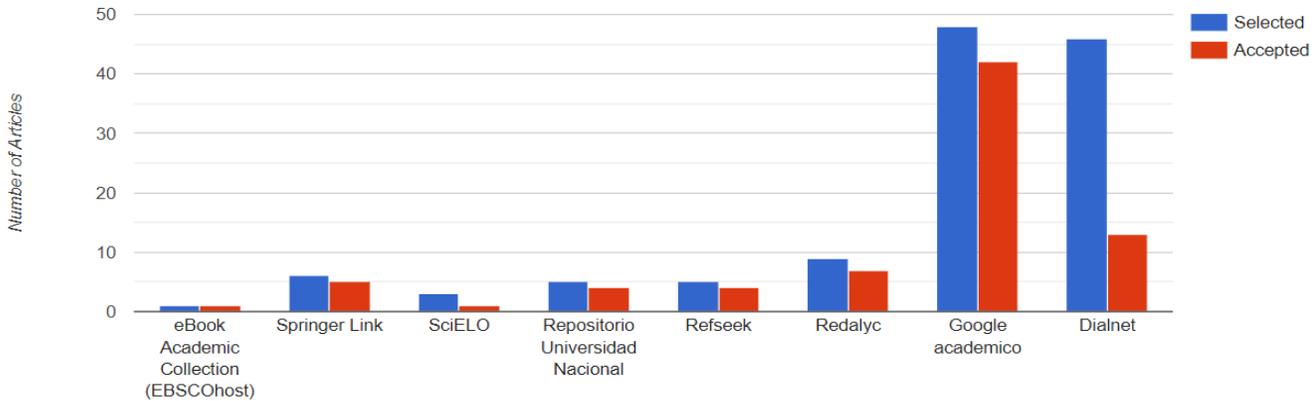
Representación porcentual de artículos por fuente



Nota: Elaboración propia.

Gráfica 2

Artículos aceptados por fuente



Nota: Análisis de datos obtenidos por medio del software Parsifal.

Fase 4

Creación cadenas de búsqueda

Para realizar la revisión en las bases de datos se utilizaron las cadenas de búsqueda propuestas, no obstante los resultados fueron muy extensos en cada una, por tanto se usaron filtros para disminuir el tiempo de búsqueda como criterios relacionados con los impactos generados a las fuentes hídricas por la minería de carbón en Colombia, se usaron términos de búsqueda establecidos para hallar la información requerida en las distintas bases de datos.

Se obtuvieron un total de 124 artículos, libros y documentos que están relacionados con el objeto estudio, de estos 46 fueron encontrados en la base de datos Dialnet, 48 en Google Académico, 9 en Redalyc, 5 en Refseek, 3 en SciELO, 6 en Springerlink, 5 en el repositorio de la universidad nacional y 1 publicación en EBSCOhost.

Tabla 5

Resultados de búsqueda en bases de datos por medio de cadenas de búsqueda

BASES DE DATOS	Nº DE PUBLICACIONES ENCONTRADAS	CADENAS DE BUSQUEDA
Dialnet	46	("impacto ambiental del recurso hídrico" AND "minería de carbón en Colombia") ("minería de carbón en Colombia" AND "recurso hídrico") ("Impactos ambientales negativo" AND "minería ilegal en Colombia") ("Impactos ambientales positivos" AND "minería legal en Colombia") ("Afectaciones a fuentes hídricas" AND "minería de carbón en Colombia") ("minería de carbón" AND "ríos, océanos, mares") ("explotación minera" AND "afectaciones a fuentes hídricas") OR ("recurso hídrico")
Google Académico	48	
Redalyc	9	
Refseek	5	
SciELO	3	
Springer Link	6	
EBSCOhost	1	
Repositorio Universidad Nacional	5	
TOTAL	123	

Nota: Elaboración propia

Fase 5

Criterios de inclusión y exclusión

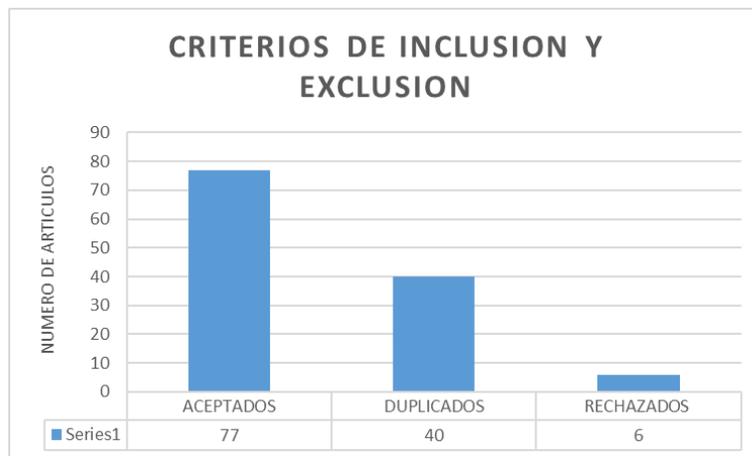
Los artículos hallados fueron destacados por medio de criterios de exclusión e inclusión y a partir de esto fueron evaluados para respectiva aprobación o desaprobación para una alta eficacia en la búsqueda de información de la misma manera se tomó en cuenta los años de publicación de cada artículo para selección de cada uno.

Al llevar a cabo la exploración en diversas bases de datos, utilizando las cadenas de búsqueda correspondientes, se logró determinar el porcentaje de utilización de cada fuente. En el transcurso de la investigación fueron identificados modelos exactos que pudieron ser incorporados siguiendo

los criterios de inclusión y exclusión como ha sido demostrado en ejemplos anteriores.. En total, se detectaron 40 documentos duplicados, se aceptaron 77 y se rechazaron 6.

Gráfica 3

Artículos filtrados para la investigación



Nota: Elaboración propia

Tabla 6

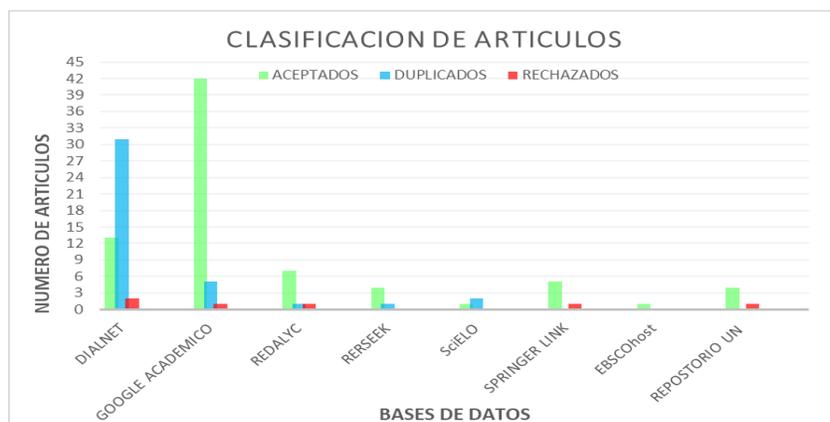
Clasificación de artículos según bases de datos (aceptación, duplicados y rechazados)

	ACEPTADOS	DUPLICADOS	RECHAZADOS
DIALNET	13	31	2
GOOGLE ACADEMICO	42	5	1
REDALYC	7	1	1
RERSEEK	4	1	0
SciELO	1	2	0
SPRINGER LINK	5	0	1
EBSCOhost	1	0	0
REPOSTORIO UN	4	0	1

Nota: Elaboración propia

Gráfica 4

Clasificación de artículos según bases de datos (aceptación, duplicados y rechazados)

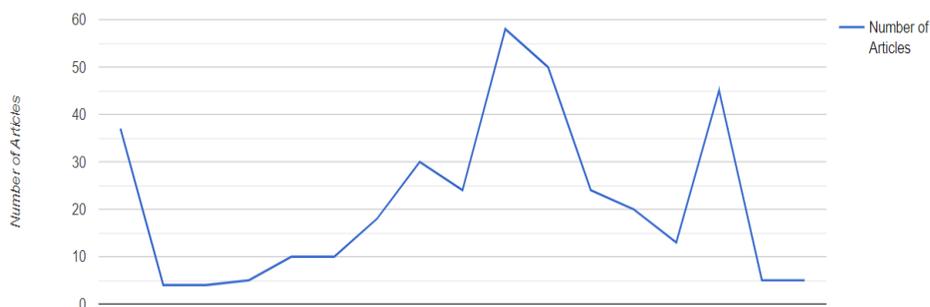


Nota: Elaboración propia

El proceso de búsqueda se limitó en un periodo de tiempo comprendido entre el año 2000 y 2023, sin embargo se encontraron publicaciones de años anteriores con bases teóricas primordiales para la investigación, la demostración presenta una tendencia creciente exceptuando el trienio de 2018 y 2020 durante los cuales se redujo el número de publicaciones, en el año 2016 se realizaron el mayor número de publicaciones (58 documentos), de seguido los años 2017 (50 documentos) y 2021 (45 publicaciones).

Gráfica 5

Artículos finales por año



Nota: Análisis de datos obtenidos por medio del software Parsifal

Fase 6

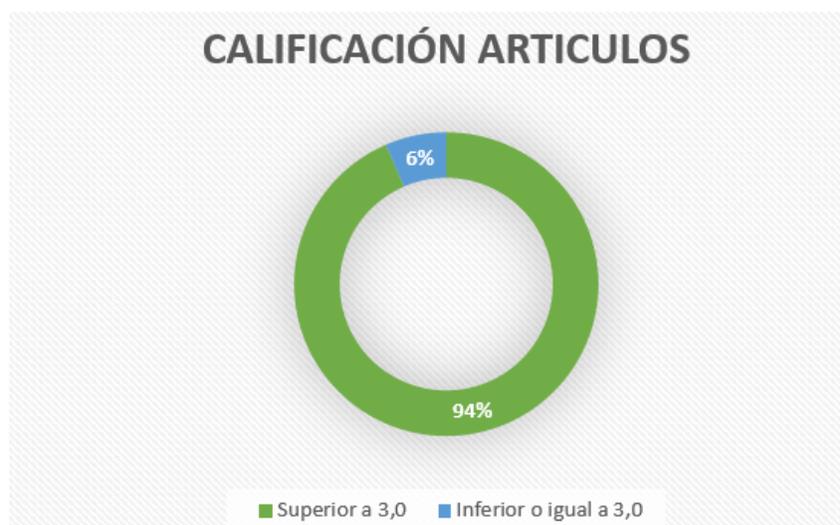
Criterios de evaluación de calidad de los artículos

La evaluación de los artículos se definió de acuerdo a distintas variables las cuales deben cumplir algunas características para considerar la calidad de la información suministrada en cada artículo, con el fin de recopilar información para el análisis objetivo de cada uno de ellos.

Las fuentes de información usadas para la revisión bibliográfica muestran un alto nivel de confiabilidad puesto que en el análisis de los criterios de evaluación de calidad observados en la gráfica el 94% indica una condición superior al 3.0 en una escala de 1.0 a 5.0.

Gráfica 6

Criterios de evaluación de calidad de los artículos



Nota: Elaboración propia.

Fase 7

Temas de enfoque

De acuerdo a las preguntas de investigación se consideran temas de enfoque de la búsqueda de información

1. Situación económica, social y ambiental de la minería en Colombia.

Al poder identificar los distintos beneficios económicos y sociales que trae dicha actividad económica al País es posible precisar y definir los impactos ambientales negativos desencadenados a partir de esta.

2. Marcos legales, políticas y normas regulatorias de la minería de carbón en Colombia en materia ambiental.

Con base a la investigación sobre el impacto sobre el recurso hídrico se desea identificar las políticas implementadas en materia normativa de acuerdo a la regulación, uso responsable y protección al recurso hídrico y de la misma forma conocer los marcos legales para la exploración y explotación del carbón en Colombia

3. Zonas con mayor actividad minera de Carbón en Colombia

A partir de la información recopilada en las bases de datos podemos conocer las zonas más vulnerables a la industria carbonífera y con más afectaciones al recurso hídrico en sectores aledaños a ellas

4. Principales contaminantes resultantes por procesos productivos de la minería de Carbón

El conocimiento de los principales actores en la contaminación y degradación de fuentes hídricas a raíz de la minería de carbón es importante ya que nos permite conocer los alcances de estos contaminantes, las formas de recuperación y remediación de los impactos generados.

5. Uso del recurso hídrico en la cadena productiva del carbón en Colombia

El agotamiento de recursos naturales no renovables en este caso el agua es considerada como impactos ambientales negativos es por esto que deriva la importancia de precisar la huella hídrica de la industria carbonífera en Colombia.

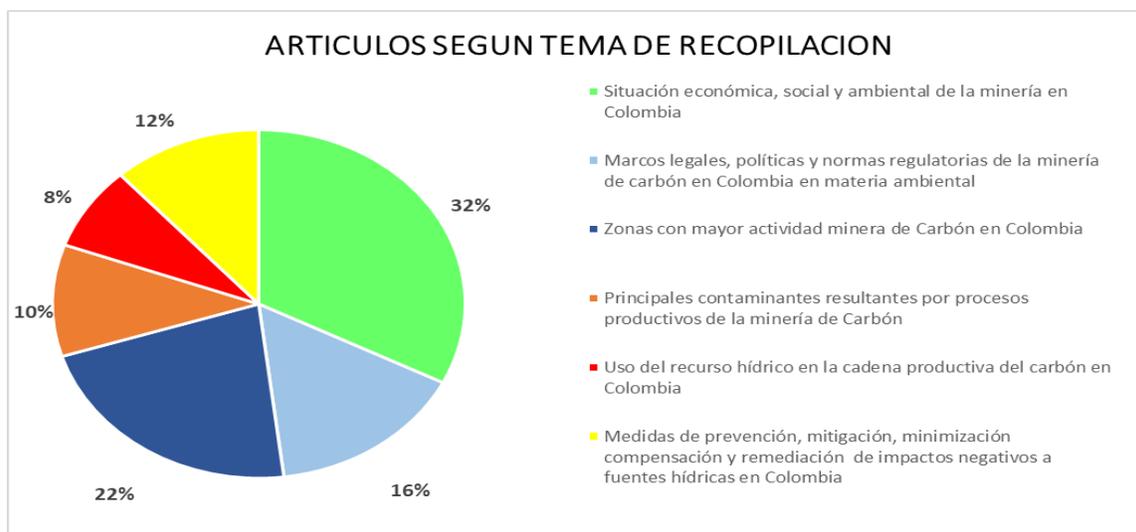
6. Medidas de prevención, mitigación, minimización compensación y remediación de impactos negativos a fuentes hídricas en Colombia

Al conocer los impactos negativos sobre el recurso hídrico por la minería de carbón en Colombia es primordial relacionarse con los términos descritos en el título para plantear soluciones a la problemática que desencadena los impactos negativos en fuentes hídricas del territorio y así poder tener un estudio previo para futuras líneas de investigación.

Teniendo en cuenta el número de artículos hallados se plantean temas de recopilación los cuales fueron completados en base a la información de cada uno de ellos, a continuación se representa el porcentaje de uso de cada artículo para cada sección.

Gráfica 7

Distribución porcentual de publicaciones usadas por temas de enfoque de investigación



Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que para esta búsqueda bibliográfica es necesario recopilar información de los distintos ejes temáticos que incluye el compendio de información para el tópico objeto denominado impactos ambientales sobre el recurso hídrico producidos por la minería de carbón en Colombia, se procede a realizar una distribución porcentual de estos, evidenciando en la **gráfica 7** que el mayor porcentaje de artículos (32%) se relacionan con el eje de la situación económica, social y ambiental de la minería en Colombia, dicho de otro modo la mayor parte de este análisis está vinculada con este segmento de la línea de investigación.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Minería de carbón

La minería de carbón se entiende como la extracción de un mineral en específico del subsuelo para poder obtener beneficios económicos, dicha actividad se realiza en las siguientes etapas:

Figura 3

Etapas de la actividad minera de carbón



Fuente: Elaboración propia adaptado de (Agencia Nacional de Minería ANM, 2022).

Según la Junta de Castilla y León (2021), se identifican dos grandes métodos de extracción denominados minería a cielo abierto o minería subterránea.

En la técnica de la minería superficial o a cielo abierto se debe excavar el terreno para poder obtener el mineral, en algunos casos cuando la zona a tratar es muy dura es necesario realizar perforaciones para introducir respectivamente explosivos para mayor movilidad de la capa rocosa, esta técnica suele tener costos operacionales inferiores respecto al método de la minería subterránea, es aplicable en yacimientos de poca profundidad. Por lo contrario la minería subterránea tiene costos de operación mayores y se deben tener en cuenta factores geológicos e hidrológicos, esta extracción se lleva a cabo por medio de tres métodos: cámaras y pilares, tajos largos o técnicas de hundimiento de carbón.

Situación económica, social y ambiental de la minería en Colombia.

Colombia se destaca por sus extensas reservas de carbón con alta calidad respecto a sus características térmicas, teniendo en cuenta el informe de Estadísticas de Energía mundial 2020, el País tiene participación del 50% en las reservas de carbón en Latinoamérica y el 0.6% a nivel mundial por lo cual se posiciona como el onceavo tenedor de reservas de carbón bituminoso y antracita en el mundo, según la Agencia Nacional de Minería Colombia cuenta con 1.586 millones de toneladas de recursos respecto a este mineral, dando lugar a la utilidad de este mineral por lo menos a 20 años aproximadamente, dentro de esta producción se puede encontrar el carbón térmico y metalúrgico usados principalmente como fuente de combustible y reductor químico en transformaciones industriales respectivamente (Bustamante Ortega et al, 2021). Por otra parte se produce el carbón antracita o también denominado hulla, usualmente usado para la obtención de energía, este tipo de mineral es uno de los más representativos debido a su alto valor comercial y aunque Colombia no tiene grandes reservas de este es uno de los pocos Países productores del mismo, gracias a las cualidades de los minerales producidos en Colombia anteriormente mencionados el País tiene una amplia participación en las exportaciones nacionales y en América latina, dentro de los mayores importadores de carbón podemos encontrar Países como Turquía , Holanda y Estados Unidos (Leguizamo Castellanos & Ruiz Rodríguez, 2018).

La industria carbonífera realiza aportes significativos en Colombia los cuales se evidencian en cifras macroeconómicas y del mismo modo en el crecimiento económico y social de los territorios productores de carbón (Bustamante Ortega et al, 2021).

En Colombia se emiten altas cifras de títulos mineros, teniendo en cuenta que la actividad minera abarca en gran proporción el cumplimiento de uno de los objetivos de desarrollo económico del País (Pérez O & Betancur, 2016).

Al presentarse un balance generalizado de la economía del País, especialmente en la producción de carbón se encontró que este representó el 0.7% del producto interno bruto y el 13 % de las exportaciones del País, de la misma manera el campo de la minería de carbón contribuye al financiamiento del Estado por su participación en impuesto de renta y pagos de regalías. Así mismo el carbón contribuye al desarrollo industrial para la producción de coque, energía eléctrica del País en un 9% y alrededor del 30% en el consumo final energético de las industrias Colombianas, de la

misma manera que este sector carbonífero trae contribuciones al País, dicha actividad tiene tributo en el crecimiento económico regional teniendo en cuenta las exportaciones regionales y la generación de empleo, dicho sector en el año 2019 generó alrededor de 130.000 empleos, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado estos beneficios sociales reduce la población con necesidades básicas insatisfechas (NBI) las cuales abarcan servicios públicos, vivienda, economía y educación (Bustamante Ortega et al, 2021).

Las exigencias energéticas actuales y futuras de Colombia dependen en gran proporción de la minería de carbón, según el Plan energético nacional 2020-2050, en el año 2019 el tributo de este mineral era del 7% de la demanda energética del país y según proyecciones basadas en distintos estudios contemplados según Bustamante Ortega et al (2021), este sector realiza proyecciones para satisfacer estas necesidades energéticas en un porcentaje entre el 5% y el 7% para el año 2050.

A raíz de estos numerosos beneficios económicos y mejora en la calidad de vida de la población se ha generado importantes impactos ambientales negativos en el ámbito ambiental y social ya

Que la población expuesta a estas prácticas mineras han presentado riesgos a la salud reflejados en enfermedades respiratorias, trastornos en el sistema locomotor (DME) y auditivo, nódulos malignos principalmente gástricos (Acosta Delgado, 2014) entre otras, estas afecciones a la salud vienen de la mano con impactos negativos al medio ambiente que genera alteraciones en suelo, aire, agua flora y fauna.

Afectaciones sobre el suelo.

Este recurso es primordial para el balance de los ecosistemas, actúa como agente filtrador, amortiguador y además preserva las fuentes hídricas subterráneas y superficiales ya que contrarresta la inserción de sustancias nocivas, por otra parte es fundamental para las actividades para el desarrollo económico y social.

El suelo se denomina como un recurso natural no renovable, esto quiere decir que su recuperación conlleva un tiempo prolongado o nulo en algunos casos debido a la pérdida de sus propiedades físicas y químicas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015). Al llevar a cabo las actividades mineras se generan distintos contaminantes, evidenciados en altas concentraciones

de metales y metaloides peligrosos tales como arsénico, manganeso, zinc, plomo y titanio, estos presentan un gran potencial de filtración en el suelo lo que desencadena la reducción de la materia orgánica y la disminución de la filtración del suelo, de igual modo, se genera afectaciones en la estructura del suelos a raíz del movimiento o ruptura de tierras modificando la textura y la granulometría del mismo impidiendo el crecimiento de plantas e impactando la retención de agua (García, 2004).

El método de la minería subterránea está estrechamente relacionado con la degradación física del suelo debido al hundimiento de la superficie por la extracción de sustancias y la minería a cielo abierto presenta extensas remociones en las capas del suelo y subsuelo modificando el uso del mismo (España Hoyos & Serna Córdoba, 2016).

Afectaciones en la atmósfera.

La contaminación atmosférica producida por la minería de carbón se correlaciona con material particulado, gases, polvos y brumas. El agente contaminante de la minería subterránea se produce principalmente por la emisión de gases liberados por el lajamiento de la roca y gases resultantes de la voladura de la roca, dado que para este proceso se usa principalmente explosivos, por lo contrario, en la minería superficial se genera un impacto a la atmósfera superior, puesto que se generan emisiones de partículas generadas a lo largo de todo el proceso ya sea por la manipulación del mineral o por efecto del viento con respecto a las pilas de material acumulado (Unidad de planeación minero energética, 2020).

Las partículas emitidas se mantienen en suspensión en el ambiente en función de las propiedades del material particulado (composición, textura, humedad, dureza y granulometría), por otra parte la ignición del mineral genera gases y vapores dañinos como el dióxido de azufre que es principal contribuyente de la lluvia ácida ocasionando la acidificación de lagos y suelos; del mismo modo emisiones de dióxido de carbono y metano que cooperan a efectos invernadero causantes del cambio climático (Rodríguez Aparicio & Vergara Buitrago, 2021). Otros impactos que se pueden contemplar es el ruido producido por la maquinaria usada para la extracción, transporte y molienda, por su parte las ondas aéreas generadas por las explosiones de las voladuras y ondas de presión que generan vibraciones (Lillo J, 2006).

Afectaciones a la flora.

En la fase de la minería denominada excavación se realiza la remoción de todo tipo de flora existente en la zona de estudio ya que debe quedar libre para la debida extracción, además se genera una deforestación acelerada en la cual se ve amenazadas especies partícipes de cada zona, dicha tala excesiva radica en la mayoría de casos de la minería ilegal, debido a que no se tiene en cuenta de la obtención de permisos necesarios de tala buscando menores costos de producción y evadiendo el pago de tasas y aranceles forestales que esta actividad requiere (Geoinnova, 2018).

Por otra parte las técnicas usadas para llevar a efecto la actividad minera usan químicos para la lixiviación del terreno por medio del uso de cianuro, mercurio y ácido sulfúrico las cuales presentan un índice de toxicidad alto, lo anteriormente mencionado obstaculiza el desarrollo de varias especies vegetales debido a que la presencia de sustancias químicas en el área de crecimiento de la planta altera los procesos vitales de la misma (Velasquí, 2018).

Afecciones a fauna

La minería de carbón en Colombia impacta directamente la fauna acuática y terrestre de las zonas aledañas a la actividad carbonífera, la deforestación que se realiza para las labores de sostenimiento de la minera reduce las condiciones aptas del hábitat para las especies que habitan en estas zonas. Dentro de la ejecución de los procesos de minería se produce modificaciones del terreno, exceso de ruido lo cual produce pérdida de biodiversidad originadas por los cambios bruscos en las condiciones de vida para las especies o hábitat natural, obligándolos a realizar un desplazamiento forzado para la supervivencia de los mismos; los animales buscan la adaptabilidad en otros entornos para evitar las acciones antropogénicas y así poder encontrar nuevas formas de alimentarse y reproducirse. Cabe mencionar que en este proceso algunas especies son vulnerables a sus depredadores y pierden la vida en esta movilidad reduciendo el tamaño de la población y perdiendo la variabilidad genética de cada una de ellas (Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad, 2023).

Afectaciones al recurso hídrico

El agua dulce disponible corresponde a un 0.77% de los recursos hídricos del planeta; El 75 % del agua dulce está presente en sólo cinco países (Garay Salamanca, 2013). Colombia está posicionado como uno de los diez países con mayores reservas de recurso hídrico en el mundo, no obstante actividades antropogénicas como la minería de carbón ha disminuido la disponibilidad y la calidad de este recurso relacionada directamente con contaminación de aguas superficiales y daño en acuíferos o aguas subterráneas. En la investigación del recurso en algunos municipios del país se presenta evidencia muestras de agua fuera de los rangos normativos para la calidad de la misma, por tanto es claro el impacto negativo producido por la actividad sobre el recurso, las afectaciones sobre la calidad del recurso hídrico en la minería de carbón se presenta de varias formas, en primer lugar se produce una exposición resultante de la generación de residuos mineros que contienen altas concentraciones de sulfuros que producen acidez al exponerse al aire, en segundo lugar al adicionar elementos químicos a los procesos de minería los cuales son altamente contaminantes, un ejemplo de estos contaminantes es el cianuro que originan restos muy alcalinos, los residuos altos en acidez y de alcalinidad se diluyen en corrientes de aguas superficiales y esto genera contaminación de aguas subterráneas, dichas acciones no solo causas contaminación al recurso también reducen las fuentes hídricas e incluso disminuye la calidad del mismo reduciendo las condiciones de salubridad, los principales efectos adversos al líquido resultantes de la actividad minera son los drenajes y aguas ácidas, uso de químicos, sedimentos, restos rocoso y polvos (Garay Salamanca, 2013).

Drenaje ácido

El drenaje ácido se define como vertimientos con niveles inferiores de PH y altas contaminación de metales y sulfatos (Forigua Quicasán et al., 2017) tal drenaje suele tener contacto con el agua lluvia, cuando se genera movilización de este compuesto tiende a generar afectaciones a fuentes hídricas superficiales y de igual modo a suelos, generando infiltraciones y llegando a afectar la calidad del recursos en acuíferos, este efecto contaminante se denomina el más predominante debido a que se presenta en las etapas del proceso de extracción , en mayor participación en la etapa de exploración y en la fase culminante de la mina es decir el cierre de esta (Urbano Mora, 2019).

Cambios en la dinámica fluvial

La práctica de la minería de carbón continuamente realiza alteraciones en la dinámica fluvial tanto en su composición como en su evolución, las afectaciones a este flujo se dan por mala regulación del mismo (CIREF, 2016), dentro de las variaciones de este flujo de agua se pueden comprender variabilidad en los niveles de erosión y sedimentación, adhesión de fragmentos en la corriente, aumento de sedimentación aguas abajo, modificación en el diseño de la corriente fluvial e incremento de la carga en suspensión, cuando hay significativas alteraciones en la dinámica fluvial se producen impactos adversos como redireccionamiento de los cuerpos de agua y mayores probabilidades de inundaciones en zonas aledañas (Lillo, J. 2006, 7 13).

Pérdida de masas de agua

Dentro de este ámbito es posible abordar grandes problemáticas como posicionamiento o invasión de lagos, embalses y pérdida de masas glaciares (Lillo, J. 2006, 7 13). En las actividades carboníferas se genera una gran demanda en el recurso hídrico generando disminución del mismo por excesos beneficios propios de sus actividades generando una privación de derechos a varias comunidades de las áreas cercanas de estos procesos. Esta escasez se ve reflejada en algunas provincias según la vocera de Fuerza Mujeres Wayuu Angélica Ortiz expresa que “En total, 17 fuentes hídricas en La Guajira se han secado debido la actividad minera de la empresa El Cerrejón” (Contagio Radio, 2016).

Alteraciones en el régimen hidrogeológico

Las modificaciones en este régimen produce cambios drásticos en el nivel freático, variaciones en la recarga y movilidad de flujos subterráneos debido a efectos de barrera, drenajes inducidos, formas de infiltración limitada, modificaciones del relieve y deforestación (Lillo, J. 2006, 7 13). En el caso de la minería a cielo abierto se realiza procesos de deforestación para la continua etapa de explotación afectando el recurso hídrico de las áreas de influencia; para el proceso subterráneo se elaboran galerías subterráneas las cuales son productoras de desestabilizaciones en el régimen de aguas de las sedimentaciones dando paso a nuevos canales para el flujo de agua, así mismo el

bombeo por medio de los pozos es posible generar una disminución en niveles freáticos y degradación en la flora cercana (Estrucplan Consultora S.A., 2012).

Contaminación química del agua

La movilización de los contaminantes químicos se da principalmente por la movilización de los mismos en los drenajes ácidos de la mina así mismo por lixiviación y cianuración (Lillo, J. 2006, 7 13). Los contaminantes más participativos son el cianuro y el ácido sulfúrico acidifican el agua y el plomo y mercurio la fauna acuática tiende a absorberlo produciendo la muerte de especies (Martínez, 2021)

Marcos legales, políticas y normas regulatorias de la minería de carbón en Colombia en materia ambiental.

Para todo proceso de industrialización es necesario trazar una guía normativa y legal para preservar el bien común de toda la comunidad y la preservación y conservación de los recursos naturales por tanto las normas en el sector minero debe garantizar la mejora continua en las actividades de extracción del carbón buscando un correcto uso de él, dentro de la normativa se debe tener en cuenta aspectos geológicos y demográficos para la selección de la zona a tratar y se debe considerar que al realizar los estudios previos teniendo en cuenta la normatividad debe primar la protección a la diversidad de flora, fauna y preservar los recursos hídricos, el recurso suelo y aire en búsqueda de un bien colectivo y un balance en los demás aspectos sociales y económicos para la búsqueda de un desarrollo sostenible por lo anterior es importante los estudios de impactos ambientales e implementación de programas de manejo y recuperación ambiental para la mitigación o la compensación de los impactos negativos producto de la actividad (Díaz R et al., 2018).

Según la Agencia nacional de minería se entiende por trámite ambiental a el desarrollo de actividades ante la autoridad ambiental para consentir el uso, beneficio y desplazamiento de los recursos naturales renovables o para el avance de obras o proyectos dentro de la jurisdicción, para el otorgamiento de permisos y licencias en el caso del mineral (carbón) se solicita ante entidades como la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) para explotación con

proyecciones mayores o iguales a 800.000 ton/año o en la Corporación Autónoma Regional (CAR) para explotación con planificación menor a 800.000 ton/año).

Trámites ambientales para la actividad carbonífera

Licencia ambiental: Permiso que asigna la autoridad ambiental para la puesta en obra de un proyecto que pueda ocasionar afectaciones a los recursos renovables o modificaciones al entorno, esta se debe solicitar en construcción, montaje y explotaciones de actividades mineras (Agencia Nacional de Minería, 2020).

Permiso de prospección y explotación de aguas subterráneas: Autorización concebida para realizar la exploración que comprende perforaciones de pruebas que obstruyan o implique la búsqueda de agua subterránea (Agencia Nacional de Minería, 2020).

Concesión de Aguas superficiales y subterráneas: Facultad otorgada emitida por la autoridad ambiental para el uso de cauces superficiales y flujos subterráneos en zonas propias o aledañas, este permiso es necesario obtener para abastecimiento y mantenimiento de la mina (Agencia Nacional de Minería, 2020).

Aprovechamiento forestal: Se refiere a la modificación de productos de un bosque o zona con flora extensiva, el otorgante minero debe solicitar el permiso de aprovechamiento forestal previo a la etapa de exploración (Agencia Nacional de Minería, 2020).

Permiso de vertimiento, emisiones atmosféricas y ocupación de cauces: Son los permisos otorgados para realizar disposición de residuos líquidos producidos a base de tal actividad minera previo a un tratamiento, emisiones a la atmosféricas comprendidas dentro de los límites permisibles establecidos en la normatividad ambiental y uso y aprovechamiento del recurso hídrico con actividades beneficiosas para la conservación del cauce en uso (Agencia Nacional de minería, 2020).

Tabla 7

Normatividad ambiental adaptada para el recurso hídrico con respecto a la minería de carbón en Colombia

Decreto 1449 de 1977-Artículo 1	Normatividad sobre la conservación de los recursos naturales renovables (Díaz R et al., 2018).
Decreto 1541 de 1978-Artículo 1	Reglamentación sobre las normas asociadas con el recurso hídrico en todas sus formas <ul style="list-style-type: none"> ● Pertenencia de las aguas, cauces y riberas consecuente con el balance económico y social ● La regulación de aguas y declaración de reservas de agotamiento ● Limitaciones para el aprovechamiento de recurso hídrico para toda la población ● Aspectos para el montaje de obras que garanticen el uso correcto y eficiente del recurso ● Protección de aguas y protección de los distintos recursos dependientes de este ● Sanciones por transgresión de las obligaciones adquiridas (Díaz R et al., 2018).
Decreto 1681 de 1978- Artículo 1	Conservación y aprovechamiento de recursos hidrobiológicos y el medio hídrico teniendo en cuenta su manejo justo (Díaz R et al., 2018).
Decreto 2105 de 1983	Tratamiento de recurso hídrico para el consumo humano (Díaz R et al., 2018).
Decreto 1594 de 1984- Artículo 1	Uso del recurso hídrico superficial y subterráneo (Díaz R et al., 2018).

Ley 79 de 1986-Decreto 79 de 1986	Zonas de reserva forestal para la conservación y preservación del agua (Díaz R et al., 2018).
Conpes 1750 de 1955	Policías ambientales (Díaz R et al., 2018).
Decreto 901 de 1997	Tasas retributivas por el uso directo e indirecto del agua como destinatario de los vertimientos (Díaz R et al., 2018).
Ley 373 de 1997	Programa para el uso eficiente y ahorro de agua (Díaz R et al., 2018).
Decreto 302 de 1997	Implementación de maquinaria de bajo consumo del recurso (Díaz R et al., 2018).
Decreto 475 de 1998	Reglamentación de métodos para la calidad de agua potable (Díaz R et al., 2018).
Decreto 1729 de 2002	Reglamentación sobre cuencas hidrográficas (Díaz R et al., 2018).

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Díaz R et al., 2018).

Teniendo en cuenta la normatividad en el ámbito social, económico y ambiental se procede a expedir el título minero en el cual el estado otorga la facultad de exploración y explotación de los recursos naturales minerales. La Ley 685 de 2001 otorga la concesión minera. Mediante el Decreto 4134 de 2011 se origina la Agencia Nacional de Minería y se le asigna la labor de realizar el control y el seguimiento a los contratos de concesión y títulos mineros para la exploración y explotación del mineral y en cuanto a las licencias ambientales la Autoridad Nacional de licencias ambientales también ejerce funciones de seguimiento a autorizaciones y procedimientos ambientales ambientales (Unidad de restitución de tierras & Agencia nacional de minería, 2015).

Zonas con mayor actividad minera de Carbón en Colombia

Teniendo en cuenta las amplias reservas de carbón en Colombia estimadas en 15.000 millones de toneladas representa el 90 % del carbón metalúrgico y el 47% el carbón térmico en Sudamérica y el Caribe. Se expone que el 90% de la producción de carbón se tiene en cuenta en el Cesar y la Guajira destacándose principalmente por la extracción de carbón a cielo abierto en el Cerrejón y los Cuervos para un posterior uso como carbón térmico permitiendo su comercialización en Santa Marta y bolívar; de seguido el 10% de la actividad corresponde a zonas mineras como Boyacá, Cundinamarca, Córdoba, Santander, Antioquia y Valle del cauca en las cuales es posible el hallazgo de carbón térmico y para uso siderúrgico para uso local y de exportación, la forma de explotación en estos municipios es de forma subterránea,(Agencia Nacional de Minería, 2013).

Principales contaminantes resultantes por procesos productivos de la minería de Carbón

Según el Ministerio de Salud y Protección social se definen los agentes químico como "elementos y sustancias que, al entrar al organismo, mediante inhalación, absorción cutánea o ingestión puede provocar intoxicación, quemaduras, irritaciones o lesiones sistémicas depende del grado de concentración y tiempo de exposición" (p. 96); estos contaminantes se presentan en algunos estados físicos en las minas de carbón (Gutierrez, 2011).

- Sólidos: Partículas y polvos suspendidos en la atmósfera y su tamaño se presenta con un tamaño entre 0.1 y 25 micras de diámetro, estas se pueden reflejar debido a la separación de materiales sólidos (Sandoval Torres & Murcia Hurtado, 2022).
- Humos: Son fibras sólidas suspendidas en el aire presentadas con un tamaño menor a 0.1 micras y se producen en la etapa de combustión (Sandoval Torres & Murcia Hurtado, 2022).
- Líquidos: Se tienen en cuenta sustancias producidas por la condensación con un tamaño entre 0.01y 10 micras (Sandoval Torres & Murcia Hurtado, 2022).
- Gases: "Son sustancias de tamaño molecular que se presentan en estado físico teniendo en cuenta la temperatura y la precipitación ordinaria (25°C Y 760 mmHg)" (Sandoval Torres & Murcia Hurtado, 2022).
- Vapores: "Son sustancias en estado gaseoso de tamaño molecular que a temperatura y presión ordinarias se encuentran en estado sólido o líquido" (Gutierrez, 2011, pp.103-104).

Metales presentes en aguas contaminadas por minería de carbón

Según estudios realizados sobre zonas de mayor influencia de las mineras de Carbón en Colombia se presentan concentraciones de plomo, zinc, cobre, arsénico, cadmio y vanadio en el agua lluvia de estas zonas, teniendo en cuenta el trabajo de campo realizado por Argumedo se obtiene que el Vanadio y Cadmio se encuentra en concentraciones pequeñas, por esto se concluye que estos contaminantes se producen debido al uso de vehículos de carga pesada que trabajan en función de crudos de petróleo y gasolina. Por otro lado se tiene en cuenta que debido a la combustión del carbón se presentan contaminantes como cobre, cromo, monóxido, arsénico y Selenio, además sus orígenes también se derivan de las quemadas forestales y la remoción de capas para el proceso de exploración mediante voladuras y perforaciones realizadas en la mina, cabe resaltar que todos los contaminantes anteriormente mencionados contribuyen al daño del ecosistema presente en cada área (Argumedo, CD 2017).

Uso del recurso hídrico en la cadena productiva del carbón en Colombia

La huella hídrica señala la cantidad de recurso hídrico usado para la realización de actividades y/o productos beneficiosos para el consumidor o productor del mismo (Tolón Becerra et al., 2013), dentro de los tipos de huellas hídricas se puede encontrar:

Huella hídrica verde

La disminución del recurso hídrico disminuye ya sea por evaporación, evapotranspiración o por absorción por medio de la vegetación; define el consumo de agua que se origina a partir de la precipitación pero que no contribuye a la escorrentía superficial ni a la recarga de acuíferos. Normalmente, este recurso es transpirado por las plantas, lo que potencialmente beneficia el crecimiento de la flora. La "huella hídrica verde" del sector minero tiene menor repercusión que en otros sectores, pero se ve reflejada directamente en la etapa de explotación principalmente en la minería de carbón a cielo abierto por la acción del descapote (Fernandez Scagliusi, 2020).

Huella hídrica azul

Se relaciona con la extracción de agua o volumen de agua superficial o subterránea que se evapora o se incorpora a un producto, de este modo regresa a otra cuenca o se vierte al mar. Esto implica que el agua superficial o subterránea, como resultado de la actividad humana, deje de estar disponible en el medio ambiente del que fue extraída. La huella hídrica azul del sector carbonífero está relacionada con el agua evaporada que se encuentra represada para fines de uso de la actividad, en embalses de fuentes de agua superficiales, del mismo modo involucra la cantidad de agua usada en procesos de transformación del producto para usos comerciales; es importante priorizar los recursos hídricos que no son reincorporados a la cuenca de origen y los que son eliminados a lo largo de las distintas etapas de la minería y también en los procesos de mantenimiento de la mina (Fernandez Scagliusi, 2019)

Huella hídrica gris

La cantidad de agua dulce necesaria para absorber la carga contaminante, considerando las concentraciones de contaminantes en el entorno natural y los estándares de calidad del agua existente, se denomina capacidad de asimilación de agua. Esta capacidad permite cuantificar la contaminación del agua, teniendo en cuenta los contaminantes vertidos por la mina y teniendo en cuenta la concentración del agua natural, la concentración del agua ideal y la concentración del vertido. La importancia de la huella hídrica gris depende de si la disposición de agua contaminada se deposita directamente a fuentes hídricas o realiza un tratamiento del agua. (Fernandez Scagliusi, 2020).

Según estudios realizados por el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM) en el año 2018, se estima que para el llenado de una piscina olímpica es necesario alrededor de 2.500 m³, y el sector de la minería usa alrededor de 267.200 de estas piscinas para sus procesos productivos, representando con alrededor de un 3.5% en la demanda del recurso hídrico. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado deriva la importancia de la cuantificación de la huella hídrica de cualquier proceso de industrialización, ya que tiene la finalidad de convertirse en una herramienta para conocer la magnitud del impacto generado por las actividades antropogénicas y de esta forma obtener datos concretos para la toma de decisiones más sostenibles en búsqueda de la reducción de consumo desmesurado del recurso hídrico y así

poder prolongar la eficiencia de recursos no renovables como el agua. (Asociación Colombiana de Minería, 2020).

Medidas de mitigación, minimización compensación y remediación de impactos negativos a fuentes hídricas en Colombia.

Las afectaciones al recurso hídrico en el sector carbonífero se ven reflejadas debido a diversos factores como la mala disposición de residuos sólidos y líquidos a cuerpos hídricos, la liberación de metales pesados en el proceso de extracción, el inadecuado cierre de mina y la falta de aplicabilidad de legislación ambiental respecto a permisos y licencias ambientales, agudizando la minería ilegal en la cual no se lleva a cabo concesiones de aguas superficiales y subterráneas lo cual genera el agotamiento de los recursos no renovables que van de la mano con el uso excesivo de este recurso para el mantenimiento y limpieza de la mina. Por ello es necesario acudir a la búsqueda de alternativas para la mitigación de este impacto negativo, formas de minimización de esta problemática, opciones de compensación y métodos de remediación a los daños presentes en fuentes hídricas.

La principal forma de prevención a un efecto adverso parte de la educación ambiental al público generador del impacto negativo, las alternativas para la resolución de problemas ambientales son diversas, dentro de ellas se tiene en cuenta la formación de actitudes medioambientales con la capacidad colectiva de reconocer las acciones propias que están generando el daño medio ambiental, para esto es importante informar a la comunidad sobre la importancia del recurso hídrico como un recurso limitado, este se describe como un derecho, pero también es un deber realizar un uso adecuado y racional del mismo en procesos de industrialización.

Algunas medidas de educación ambiental que se han llevado a cabo en diferentes estudios ha sido la implementación de alternativas pedagógicas amigonianas, que consisten en crear estrategias de aprendizaje a partir del diálogo en el cual se tiene en cuenta entrevistas grupales de acuerdo a la experiencia de cada minero para reconocer sus valores, deberes y derechos ambientales y de esta forma crear un aprendizaje participativo de la comunidad aledaña a la mina, los trabajadores de esta y entidades con intelecto ambiental para la creación de conocimientos ambientales, generando espacios de diálogos para la implementación de prácticas en pro de la protección y mejora continua

del medio ambiente; como resultado de este método se obtiene una recolección de ideas como instrumento para alternativas de mitigación de impactos ambiental teniendo en cuenta la opinión de cada una de las partes. (Vargas, 2020).

Toda actividad de industrialización trae consigo efectos adversos al medio ambiente, estos pueden ser menos invasivos con medidas de minimización de impactos negativos, dentro de estas medidas se encuentra la gestión del recurso hídrico de forma responsable, búsqueda de la valorización de residuos resultantes de proceso, mejora continua de la gestión ambiental, cálculo de huella ambiental dentro de ella la huella hídrica que debe ser priorizada para evitar el agotamiento del recurso hídrico, implementación de transporte y maquinaria sostenible, adecuada disposición de residuos sólidos, líquidos y tratamiento de aguas residuales resultantes de los procesos de producción, transporte, comercialización y extracción del carbón (Aqua fundación, 2021).

Las formas de compensación se rigen por medio de la legislación Colombiana, se busca una forma de valoración de los efectos negativos ambientales generados por el proyecto u obra, el autor inicial del proyecto es el encargado de realizar las remuneraciones por medio de la aplicación de tasas retributivas y otros cobros por contaminación, afectaciones y disminución en la calidad y cantidad del agua, estas técnicas de compensación deben tener una duración máxima o equivalente a la duración del proyecto (Alonso et al., 2020), existen otras formas de compensación ambiental como reforestación, actividades con la población aledaña afectada, limpieza de fuentes hídricas entre otras; Cabe resaltar que el plan de compensación debe ser presentado y aprobado por medio de autoridades ambientales como el ANLA (Fortuna, 2022).

Causados ya los daños a las fuentes hídricas existen algunas formas de remediación por medio del tratamiento teniendo en cuenta los contaminantes existentes por la minería de carbón especialmente por metales pesados y drenajes ácidos que son la mayor causa de afectaciones a fuentes hídricas, la remediación o tratamiento de aguas consiste en procesos físicos, químicos o biológicos, algunos tratamientos usados son

1. Electrodialisis

Este método suele tener alta eficacia ya que cumple con la remoción de componentes iónicos por medio de membranas permeables en un campo de electricidad constante, así mismo su técnica de remoción tiene en cuenta láminas de resina de intercambio iónico con la menor permeabilidad posible para los cuerpos hídricos (Caviedes Rubio et al., 2015).

2. Adsorción (método convencional)

Dentro de este proceso son usados elementos con gran capacidad adsorbente dentro de ellos se encuentra el carbón activado, arcillas activadas, óxidos como el magnesio, hidróxido de aluminio y resinas para el intercambio iónico, lo que realiza este método es la adhesión de contaminantes al elemento adsorbente (Spena Group, 2016).

3. Carbón activado

Ha sido demostrada su alta absorción de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en cuerpos de agua, este elemento contiene un amplio espectro de superficie lo cual permite la accesibilidad a distintos reactivos (Caviedes Rubio et al., 2015).

4. Flotación

Son usadas especies iónicas de metal en cuerpos hídricos con cargas residuales mediante el uso de tensoactivos para la eliminación posterior de las especies con cargas contaminantes por medio de burbujas de aire (Caviedes Rubio et al., 2015)

5. Fitorremediación

Mediante el uso de las plantas y los microbios existentes en el suelo se genera una disminución en las concentraciones de los contaminantes o en los efectos adversos a las fuentes de disposición, es usada por sus bajos costos, altos niveles de eficiencia

6. Métodos biológicos pasivos (humedales)

En este método se hace uso de especies biológicas y microorganismos, la eliminación de contaminantes se realiza de forma natural en este método es posible la eliminación de

acidez, sulfatos y metales pesados, la implementación de los humedales es posible naturales o artificiales y estos pueden tener un proceso aerobico o anaerobico, este proceso suele ser completo ya que se presentan procesos de sedimentación, filtración, inmovilización y descomposición química y biológica (Spena Group, 2016).

7. Métodos biológicos Activos-Ingeniería ecológica

Dentro de esta técnica se producen modificaciones en especies biológicas o microbiológicas teniendo en cuenta los contaminantes a remover, estas especies son insertadas en humedales de tipo artificial (Spena Group, 2016).

La importancia de tomar medidas de mitigación es alta ya que el coste de algunas formas de remediación son altos y aunque los niveles de eficacia son altos en algunos casos las alteraciones en el recurso hídricos son irreversibles

CONCLUSIONES

La explotación del carbón ha aportado notables beneficios económicos a Colombia; no obstante, también ha ocasionado importantes impactos ambientales adversos, siendo el recurso hídrico el más perjudicado. Problemas como la contaminación por metales pesados, el drenaje ácido de mina, la modificación de cauces y la reducción de caudales son algunas de las preocupaciones identificadas en ríos y acuíferos de las zonas carboníferas. Estos hechos subrayan la necesidad de una regulación más eficaz de esta actividad para mitigar sus efectos sobre el agua.

Colombia ha progresado en establecer normativas para regular la minería del carbón, incluyendo leyes ambientales y requisitos como licencias ambientales. Sin embargo, persisten deficiencias en la implementación y control, especialmente en la minería ilegal. Es esencial garantizar el cumplimiento de las normas vigentes, supervisar de manera rigurosa los títulos mineros y fortalecer el papel de entidades como la ANLA para prevenir y sancionar impactos ambientales no autorizados. Las licencias ambientales son cruciales para monitorear y exigir medidas de prevención, mitigación y compensación por parte de las empresas mineras. Para abordar los impactos en el recurso hídrico debido a la extracción de carbón, se deben implementar medidas como programas de educación ambiental, reducción en el uso del agua, tratamiento de

vertimientos, compensaciones ambientales y técnicas de remediación de suelos y aguas contaminadas. Un enfoque integral que involucre a empresas, Estado y comunidades es necesario para implementar estas medidas de manera efectiva y proteger este recurso vital, priorizando la prevención sobre la remediación.

Este artículo de divulgación realizado por medio de una revisión bibliográfica rigurosa y sistemática, aporta información relevante y actualizada sobre los impactos ambientales generados por la minería de carbón en Colombia en el recurso hídrico, en este se recopilaron y analizaron datos y estudios científicos que permiten conocer los impactos ambientales de la minería de carbón en Colombia al recurso hídrico y las estrategias aplicadas para minimizar, mitigar y compensar estos impactos.

CONTRIBUCIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de la revisión bibliográfica presentada en este documento, se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

1. Implementar buenas prácticas de manejo ambiental en la minería de carbón en Colombia, con el fin de reducir los impactos negativos en el suelo, aire, flora, fauna y recurso hídrico.
2. Promover la investigación en materia ambiental para ampliar el conocimiento sobre los impactos de la minería de carbón en Colombia y así poder tomar medidas más efectivas para reducir estos impactos.
3. Fomentar la participación de las comunidades cercanas a las minas en la toma de decisiones relacionadas con la minería de carbón, con el fin de garantizar que sus derechos y necesidades sean tenidos en cuenta.
4. Fortalecer la regulación y el control de la minería de carbón en Colombia, con el fin de garantizar que se cumplan las normas ambientales y se eviten prácticas ilegales e informales.

5. Promover la diversificación de la economía en las regiones productoras de carbón en Colombia, con el fin de reducir la dependencia de esta actividad económica y fomentar el desarrollo de otras actividades sostenibles.

En resumen, se recomienda tomar medidas para reducir los impactos ambientales de la minería de carbón en Colombia, promover la investigación en materia ambiental, fomentar la participación de las comunidades y fortalecer la regulación y el control de esta actividad económica.

Las contribuciones de este artículo de divulgación son múltiples, entre ellos:

1. Contribuir al conocimiento sobre los impactos ambientales de la minería de carbón en Colombia en el recurso hídrico.
2. Proporcionar información actualizada y rigurosa sobre las estrategias aplicadas para minimizar, mitigar y compensar los impactos ambientales de la minería de carbón en Colombia.
3. Promueve la reflexión y el debate sobre la necesidad de tomar medidas para reducir los impactos ambientales de la minería de carbón en Colombia.
4. Fomentar la investigación en materia ambiental y la implementación de buenas prácticas de manejo ambiental en la minería de carbón en Colombia.

REFERENCIAS

Acosta Delgado, W. (2014). *Minería del carbón y efectos en la salud: una revisión*

bibliométrica. Repositorio Universidad Nacional.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/49589>

Agencia Nacional de Minería. (2019, March 9). *Carbón*.

<https://www.agn.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/carbon.pdf>

- Agencia Nacional de Minería. (2021). “*Colombia tiene un potencial de exportación ilimitado hacia los mercados internacionales*”: *Presidente de la ANM*. Agencia Nacional de Minería. <https://www.anm.gov.co/?q=colombia-tiene-un-potencial-de-exportacion-ilimitado-hacia-los-mercados-internacionales>
- Alonso, V., Ayala, M., & Chamas, P. (2020). *Compensaciones por pérdida de biodiversidad y su aplicación en la minería: los casos de la Argentina, Bolivia (Estado Plurina*. repositorio .cepal .org. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/194afbe8-262d-49db-a9a3-c40b1e043ee2/content>
- Aqua fundación. (2021). *Acciones para reducir la contaminación del agua*. <https://www.fundacionaqua.org/wiki/reducir-contaminacion-agua/>
- Argumedo, C. D. (2017). *Metales pesados (Cd, Cu, V, Pb) en agua lluvia de la zona de mayor influencia de la mina de carbón en La Guajira, Colom*. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309051244004.pdf>
- Asociación Colombiana de Minería. (2019, 1 24). *La importancia del desarrollo sostenible en la minería*.
- Banco mundial. (2019, August 20). *El deterioro de la calidad del agua reduce en un tercio el crecimiento económico en algunos países, según el Banco Mundial*. Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2019/08/20/worsening-water-quality-reducing-economic-growth-by-a-third-in-some-countries>
- Bohórquez Rozo, I. A. (2019, March 9). *Normatividad para empresas de explotación de carbón en Colombia, sus efectos sociales y ambientales*. Repositorio Unimilitar. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12015/Bohorquez%20Rozo%20Ivon%20Andrea2014.pdf;sequence=1>

- Bustamante Ortega, P. E., García Molano, R. E., Maya Sánchez, O., Rodríguez López, J. F., Tatiana A, T. (2021). *MINERÍA DE CARBÓN EN COLOMBIA*. Ministerio de Minas y Energía.
<https://www.minenergia.gov.co/static/mineriaco/src/document/documento%20carbon.pdf>
- Caviedes Rubio, D. I., Muñoz Calderón, R. A., Perdomo Gualtero, A., Rodríguez Acosta, D., & Sandoval, J. (2015). *Treatments for Removal of Heavy Metals Commonly Found in Industrial Wastewater. A Review*. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432290>
- CIREF. (2016). *¿Qué es y cómo funciona la dinámica fluvial?* Granollers Riu Congost - Granollers. https://riucongostgranollers.cat/wp-content/uploads/2023/03/0164_Que-es-y-como-funciona-la-dinamica-fluvial-R.pdf
- Contagio Radio. (2016, April 6). *Mina de carbón del Cerrejón usa diariamente 17 millones de litros de agua*. Archivo Contagio Radio. <https://archivo.contagioradio.com/mina-de-carbon-del-cerrejon-usa-diariamente-17-millones-de-litros-de-agua.html>
- Contraloría General de la República. (2014). *Minería en Colombia: Daños ecológicos y socioeconómicos y consideraciones sobre un modelo minero alternativo*.
- Corpoguajira-Corporación Autónoma Regional de La Guajira. (2012). *Atlas Ambiental del Departamento de La Guajira. Riohacha*.
- España Hoyos, C. A., & Serna Córdoba, M. (2016). *Impacto ambiental y social de la minería a cielo abierto con maquinaria pesada en el municipio de Condoto, departamento del Chocó, a partir del año 2000*.
<https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2986/Impacto%20ambiental%20y>

%20social%20de%20la%20miner%C3%ADa%20a%20cielo%20abierto%20con%20maquinaria%20pesada%20en%20el%20municipio%20de.pdf?sequence=1

Estrucplan constructora S.A. (2012, April 25). *Los múltiples impactos ambientales de la minería subterránea - NO A LA MINA ESQUEL*. No a la mina.

<https://noalamina.org/informacion-general/impactos-de-la-mineria/item/8757-los-multiples-impactos-ambientales-de-la-mineria-subterranea>

Fernandez Scagliusi, M. d. I. A. (2019, March 9). *WATER USE IN MINING. IN PARTICULAR, THE TWO KINDS OF WATER FOOTPRINT, TWO KEY INDICATORS*.

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/135401/el%20uso%20de%20agua%20en%20la%20mineria.pdf?sequence=1>

Forigua Quicasán, D., Fonseca Forero, N., & Vasquez, Y. (2017). *Acid mine drainage prevention using mushroom compost as organic amendment*. SciELO Colombia.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-34752017000100092&script=sci_abstract

Fortuna, J. S. (2022, September 24). Entrega Final.

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/44578/FortunaHerediaJuanSebastian2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Galeano Páez, C., Espitia Pérez, L., & Salcedo Arteaga, S. (2020). *Minería de carbón y oro: análisis de riesgos en la salud y el ambiente*. Minería de carbón y oro: análisis de riesgos en la salud y el ambiente.

<https://libros.cecar.edu.co/index.php/CECAR/catalog/download/21/78/2150-1?inline=1>

Garay Salamanca, L. J. (2013). *Minería en Colombia, derechos, políticas públicas y gobernanza*.

Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/675/67540024009.pdf>

- García, A. (2004). *Propiedades, clasificación y evaluación de suelos mineros. Implicaciones sobre la ordenación y gestión de terrenos alterados por minería*. Dialnet.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=185166>
- García, A. (2019, May 6). *Qué es impacto ambiental negativo y positivo con ejemplos*. Ecología Verde. <https://www.ecologiaverde.com/que-es-impacto-ambiental-negativo-y-positivo-con-ejemplos-1512.html>
- Geoinnova. (2018, February 28). *Los 10 principales delitos contra la fauna y la flora*.
<https://geoinnova.org/blog-territorio/medio-ambiente-10-principales-delitos-fauna-flora/>
- Guitierrez, A. (2011). *Guía técnica a factores de riesgo ocupacional*. Comunicando Salud.
https://comunicandosalud.com/wp-content/uploads/2019/06/guia_exposicion_factores_riesgo_ocupacional.pdf
- IDEAM-Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. (2010). *EL PROBLEMA DE LA LLUVIA ÁCIDA*. IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/el-problema-de-la-lluvia-acida>
- Junta de Castilla y León. (2021). *Extracción | Energía y Minería |*. Energía y minería en Castilla y León | Energía y Minería. <https://energia.jcyl.es/web/es/energia-mineria-castilla-leon.html>
- Leguizamo Castellanos, A. T., & Ruiz Rodríguez, J. S. (2018, July 1). *MINERÍA DE CARBÓN: LA NUEVA 'JOYA' DE LA ECONOMÍA COLOMBIANA*. | *Boletín Semillas Ambientales*. Revistas Udistrital. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/13621>
- Lilo, J. (2006). *Impactos de la minería en el medio natural*. Efectos ambientales de la minería. https://coymun.weebly.com/uploads/1/0/8/8/10886535/impactos_de_la_miner%C3%ADa_-_javier_lillo.pdf

- Maldonado, Y. (2021, March 11). *Los 10 Beneficios del Carbón más Importantes [2023]*. geología web. <https://geologiaweb.com/recursos-naturales/beneficios-del-carbon/>
- Martínez, P. (2019, March 9). *Water pollution in mining*. <https://www.obela.org/analisis/la-contaminacion-del-agua-en-la-mineri>
- Ministerio de minas y energía. (2003). *Glosario Minero*. Agencia Nacional de Minería. <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- Muguirra, A. (2023). *Tipos de investigación y sus características*. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/tipos-de-investigacion-de-mercados/>
- Narvaez, M. (2023). *Pregunta de investigación: Qué es y cómo realizarla correctamente*. QuestionPro. <https://www.questionpro.com/blog/es/pregunta-de-investigacion/>
- Pérez O, M., & Betancur, A. (2016, April 26). *The impact of mining on the natural environment and current situation of Colombia*. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/4557/455746534005.pdf>
- Rodriguez Aparicio, J., & Vergara Buitrago, P. A. (2021). *Environmental analysis of coal mining in the strategic ecosystem of paramo (Boyacá, Colombia)*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8128470>
- Rodriguez Sedano, F. (2019, March 9). *Parsifal, Uso de herramienta On-line para la elaboración de una revisión sistemática de la literatura (SLR)*. <https://explore.openaire.eu/search/publication?pid=10.5281%2Fzenodo.2603914>
- Sánchez, J. (2020, September 1). *Cómo afecta al medio ambiente la extracción de minerales*. Ecología Verde. <https://www.ecologiaverde.com/como-afecta-al-medio-ambiente-la-extraccion-de-minerales-1118.html>

Sandoval Torres, F. A., & Murcia Hurtado, D. A. (2022). *Risk due to exposure to chemical agents and explosive atmospheres in the coal mines of Tópaga, Colombia*. SciELO Colombia. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1900-38032021000200292

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *¿Sabes cuál es la importancia de los suelos?* Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/sabes-cual-es-la-importancia-de-los-suelos>

Segura Triana, L. E. (2007). *ESTUDIO DE ANTECEDENTES SOBRE LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA EN COLOMBIA*. Academia.edu. https://www.academia.edu/29770726/ESTUDIO_DE_ANTECEDENTES_SOBRE_LA_CONTAMINACION_HIDRICA_EN_COLOMBIA

Spena Group. (2016, November 27). *Tratamiento de Aguas Residuales en Minería - SPENA GROUP* *Tratamiento de Aguas Residuales*. Retrieved November 2, 2023, from <https://spenagroup.com/tratamiento-aguas-residuales-mineria/#1480302933322-620d5241-6f10>

Tolón Becerra, A., Bolívar Lastra, X., & Fernández, V. J. (2013). *WATER FOOTPRINT AND SUSTAINABILITY OF WATER RESOURCES USE*. *HUELLA HÍDRICA Y SOSTENIBILIDAD DEL USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS*. Aplicación al Poniente Almeriense. Estudios previos y medidas de eficiencia. <https://derecho.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41205/61articulo.pdf>

Transformación minera. (2011, December 17). *Contaminación en el río Samacá por el agua residual de minas de carbón*. El Tiempo. Retrieved November 1, 2023, from <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-10917688>

Umaña, M., & Jorge, L. (2014). *El carbón: origen, atributos, extracción y usos actuales en Colombia*. Repositorio Universidad Nacional.

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80036>

Unidad de planeación minero-energética. (2015). *Sector minero energético y su relación con el medio natural*.

Unidad de planeación minero energética. (2020). *Subterránea del carbón 1 análisis ambiental de la minería subterránea*. UPME.

http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/contenid/analisis.htm

Unidad de planeación minero-energética Universidad de Córdoba. (2015). *GUÍA DE ORIENTACIÓN PARA EL MINERO SOBRE EL CORRECTO MANEJO DE VERTIMIENTOS PARA LA MINERÍA DE METALES PRECIOSOS Y DE CARBÓN*. UPME.

http://www.upme.gov.co/SeccionMineria_sp/Guia_orientacion_para_el_minero_correcto_manejo_vertimientos.pdf

Unidad de restitución de tierras & Agencia nacional de minería. (2015). *Cartilla de minería*.

Universidad privada del norte. (2022, July 27). *¿Qué son los recursos hídricos?* Blogs UPN.

<https://blogs.upn.edu.pe/estudios-generales/2022/07/27/que-son-los-recursos-hidricos/>

Urbano Mora, E. (2019, March 9). *Right to Water and Mining In Search of Suitable Mechanisms Protection of the Law*.

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57684/estefaniaurbanom.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vargas, J. T. (2020). *Pedagogía en la educación ambiental para los mineros de la provincia de Ubaté – Cundinamarca*. Repositorio Libertadores.

<https://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/3087>

Velasteguí, P. H. (2018, April 5). *Efectos de la contaminación ambiental en la flora y fauna en el cantón La Maná | Conciencia Digital*. Ciencia Digital. Retrieved November 2, 2023,

from

<https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/view/>

947