



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“TÉCNICAS EN LA OPERACIÓN DE VOLADURA Y SU  
IMPACTO EN LA REDUCCIÓN DE GASES EN MINAS DE  
LATINOAMÉRICA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA ENTRE  
2009 – 2019”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

**Bachiller en Ingeniería de Minas**

**Autor:**

Jeyner Smith Layza Acevedo

**Asesor:**

Ing. Mg. Lic. Erick Paul Aguilar Ynocente

Lima - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

A Dios por darnos toda la sabiduría y haber bendecido y guiado nuestro camino en momentos difíciles como los que estamos pasando actualmente en todo el mundo.

A nuestra familia por su apoyo constante e incondicional, sus enseñanzas y su esfuerzo inquebrantable para formar en nosotros personas de bien para esta sociedad.

## AGRADECIMIENTO

A nuestro asesor Mg. Ing. Erick Paul Aguilar Ynocente por haberme aconsejado y orientado en todo este tiempo con sus asesorías constantes.

Agradecimiento a mi alma mater Universidad Privada del Norte, la que me albergo durante este tiempo de estudios.

## Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	8
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b>	11
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>	19
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	24
REFERENCIAS	26

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión según las palabras clave utilizadas**

**Tabla 2. Características de estudios**

**Tabla 3. Inducción de categorías**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 01. Matriz de registro de artículos.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 02. Porcentajes y tipos de publicación.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 03. Porcentajes y origen de los documentos científicos.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 04. Características de los estudios.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 05. Porcentajes y años de la publicación.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 06. Introducción de categorías.....</b>	<b>22</b>

## RESUMEN

En la operación de Voladura en minerías de Latinoamérica la presencia de la emisión de gases contaminantes son problemas constantes. Estos gases de efecto invernadero son causados por una mala combustión, detonación o por el uso incorrecto de algunos agentes de voladura. Tener un control de estas emisiones de gases ha conllevado a la aplicación de nuevas técnicas y tecnologías a grandes empresas mineras. Una de ellas es la aplicación de agentes de voladura gasificado para reducir los gases nitrosos generados. Por ello el presente estudio, de revisión sistemática de la literatura, es definido como un método sistemático teniendo como objetivo conocer las nuevas técnicas en la operación de voladura para reducir el porcentaje de emisión de gases en minería entre los años 2009 y 2019. Se identifica, evalúa y sintetiza información de fuentes principales de revisión como Google académico, Scielo, Redalyc, Dialnet y Reserchgate. Para llegar al proceso de selección al inicio de esta investigación se obtuvo con una selección primaria de 36 artículos, los cuales se filtraron por criterio de desarrollo científico, y se descartaron otros artículos tomando como criterio la antigüedad máxima de 10 años, por ello se tuvo finalmente 20 artículos que componen esta revisión.

**PALABRAS CLAVES:** Operación Voladura, Minería en Latinoamérica, Emisión de gases

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En minería la escala de emisión de gases registran niveles importantes que actualmente vienen impactando en diferentes regiones del planeta. Esto producto de la preocupación mundial por la concentración atmosférico de gases de efecto invernadero y su relación con el cambio climático, actualmente existen debates y negociaciones a niveles de estado que buscan reducir las emisiones de gases.

La emisión de gases en la minería, mayoritariamente es el dióxido de carbono y dióxido de nitrógeno, esto se asocian con el consumo de energía a cada paso de la cadena de producción, desde la fase de exploración de la minera hasta la producción del metal refinado, aunque habría que considerar que cada operación minera tiene sus propias características (Oyarzun J. & Oyarzun R., 2011). Entonces, siendo la minería reconocida como una actividad intensiva en el uso de energía, la tasa de consumo actual y a futuro de energía y los mayores niveles de comercio internacional de minerales, entro otros factores, incrementarán el potencial de la minería en la emisión de gases (Nelson & Schuchard, 2009).

La voladura en las minas se simplifica normalmente a un ciclo de diseño, medición y comparación. Sin embargo, actualmente este es un proceso reiterativo e interactivo, con constantes evaluaciones a través de indicadores de gestión y medición del desempeño. En toda empresa minera esta presentes el uso de explosivos de manera general. Tanto es así, que el uso de estos materiales los hace muy peligrosos si no se manipulan de acuerdo a las normas establecidas. Su mal uso es la causa de muchos accidentes graves y peligrosos, es por esto que conocerlos y estudiarlos nos dan una ventaja a la hora de relacionarnos con ellos (Castilla & Herrera, 2011).

Los explosivos convencionales y los agentes explosivos poseen propiedades diferenciadoras que los caracterizan y que se aprovechan para la correcta selección,



atendiendo al tipo de voladura que se desea realizar y las condiciones en que se debe llevar a cabo. Las propiedades de cada grupo de explosivos permiten además predecir cuáles serán los resultados de fragmentación, desplazamiento y vibraciones más probables. Las características más importantes son: potencia y energía desarrollada, velocidad de detonación, densidad, presión de detonación, resistencia al agua y sensibilidad. Otras propiedades que afectan al empleo de los explosivos y que es preciso tener en cuenta son: los humos, la resistencia a bajas y altas temperaturas, la desensibilización por acciones externas (Morillo Macas Edgar Leonardo, 2015)

En la empresa minería Yanacocha durante el año 2010, se presentó un problema en la generación de gases tóxicos como resultado de las voladuras. Se identificó que las causa de este problema fue la mala práctica operacional al momento de realizar el carguío por parte del operador del camión mezclador de explosivos, así como de la calidad misma del explosivo (Yorhinio Nestor León, 2013). Como podemos ver la operación de voladura y arranque es una fuente muy importante de emisión de gases contaminantes, las características técnicas y propiedades del tipo de explosivo determina la calidad explosiva de mayor calidad y rendimiento en términos de velocidad de detonación, mejora la fragmentación y que, al mismo tiempo, maximiza la productividad en el proceso de operación.

Actualmente existen explosivos eco-amigable ya que poseen un mejor balance de oxígeno con ello la presencia de gases nitrosos post-voladura es mínima o nula, teniendo así un cuidado del medio ambiente en las zonas de influencia de la operación minera. Por lo tanto existe alternativas para la reducción y compensación de emisiones de gases, para adquirir ventajas competitivas que permitan, en primera instancia, reducir costos, ganar

competitividad y mejorar su imagen de responsabilidad social, abordando el problema con la misma resolución que se tiene al enfrentar cualquier oportunidad o amenaza estratégica.

Los impactos de la minería, al igual que otras actividades industriales pueden tener un alcance que fácilmente traspasa el ámbito local y regional, alcanzando a otros países por distantes que pueden parecer sus fronteras (Oyarzun J. & Oyarzun R., 2011), por ello, no es un sector aislado y no afecto a los potenciales efectos del aumento de emisiones de gases de efecto, entonces, debe también estar a la par con las tendencias internacionales para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, tendencia que además constituye una oportunidad para buscar e identificar soluciones en pro de la eficiencia energética y/o abastecimiento de energías por fuentes renovables (Gyuris, 2011).

Cómo pregunta de investigación se plantea evaluar ¿Cuáles son las técnicas en la operación de voladura y su impacto en la reducción de gases en minas de Latinoamérica entre 2009 y 2019?, Teniendo como principal objetivo conocer las nuevas técnicas en la operación de voladura para reducir el porcentaje de emisión de gases en minería entre los años 2009 y 2019.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### *Tipo de estudio*

Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica con base en la adaptación de la metodología PRISMA [Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses] (Urrútia y Bonfill, 2010). El cual es definido como un método sistemático, explícito y reproducible para identificar, evaluar y sintetizar la pregunta de investigación establecida: ¿Cuáles son las técnicas en la operación de voladura para reducir el porcentaje de emisión de gases en minería entre 2009 y 2019?. Esto para conducir al siguiente proceso metodológico.

### *Fundamentación de la metodología*

La revisión de la literatura científica es una estrategia de recopilación de información que emerge ante la necesidad de conocer de manera sintética los resultados de las investigaciones. Las revisiones narrativas son el primer proceso desarrollado para tal fin, sin embargo, presentan dificultades, pues la confiabilidad de éste radica en la experticia de los investigadores. Por eso en el presente trabajo se desarrolla una metodología para definir procesos jerárquicos de selección de literatura científica, teniendo en cuenta criterios de calidad y de disminución de sesgos en la selección de los estudios incluidos en las revisiones sistemáticas, de modo que hagan posible integrar la información existente filtrada a partir de dichos protocolos, así como sintetizar los hallazgos para dar recomendaciones respecto a la pregunta formulada.

### *Proceso de recolección de información*

Para garantizar la sensibilidad del proceso de búsqueda se definieron como descriptores los siguientes términos a partir de la pregunta de investigación: Voladura, emisión de gases, minería y explosivos. Por especificidad de la búsqueda de la literatura científica, se combina con términos establecidos (contaminación, gasificación, impactos ambientales, diseño). Igualmente, se define como base de datos especializada para la búsqueda a Reserarchgate y como motor de búsqueda a Scielo; como base de datos multidisciplinario se eligieron Doaj, redalyc, Scopus y como buscador genérico se empleó google académico. Los artículos seleccionados se importaron al software Ms. Excel, para su selección.

### **Criterios de inclusión y de exclusión**

Se incluyen artículos originales publicados en base de datos científicas, en idioma inglés y español, entre los años 2009 y 2019, que describen sobre estrategias o métodos para el control de la emisión de gases ocasionado por la operación de voladura en minería. En cuanto a esta designación, se parte de la premisa de que el proceso de voladura ocasiona gases contaminantes que superan los límites máximos permisibles. Redactados en el idioma castellano, el tipo de publicación seleccionado son artículos de Reserarchgate, scielo, doaj, readalyc y google académico. Dando así una información integrada, existente y filtrada a partir de los descriptores. Y centrándose en las variables de nuestra pregunta de investigación.

Realizando esta metodología expuesta la muestra está formada por 20 publicaciones o unidades de análisis, cuya inclusión se dio a partir de las 3 etapas Preselección, filtro y selección definida como se muestra en la Figura 1. Y toma el criterio de publicaciones realizadas entre 2009 y 2019 como fuente principal de revisión y desarrollo científico.

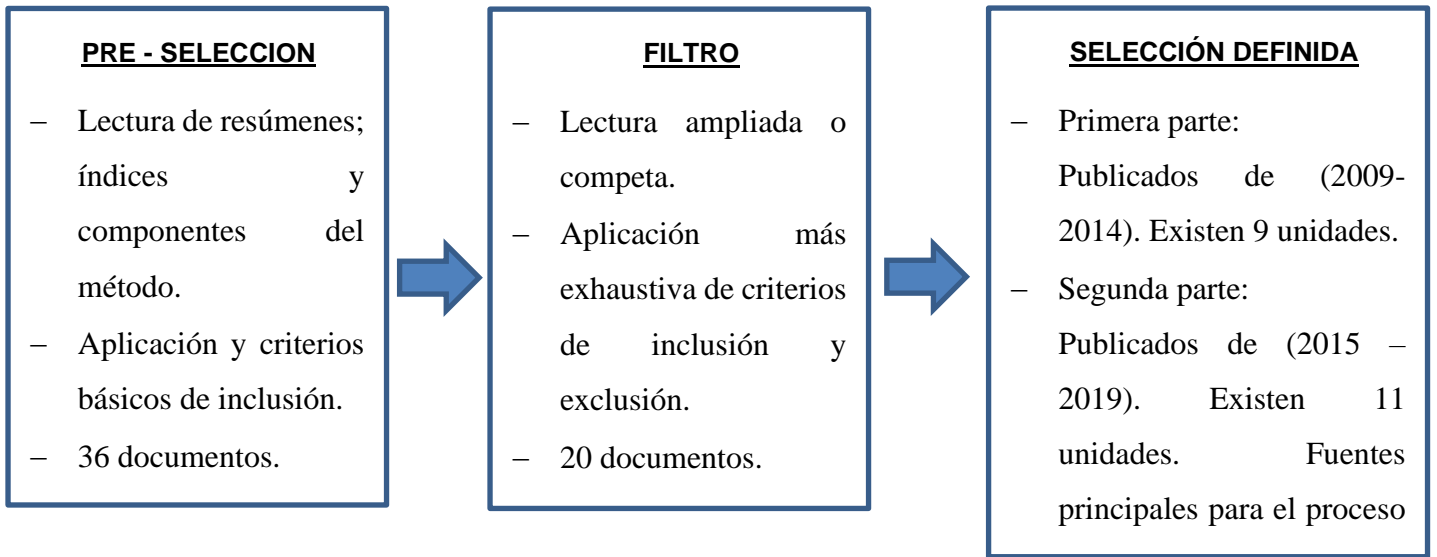


Figura 1. Etapas para la selección.

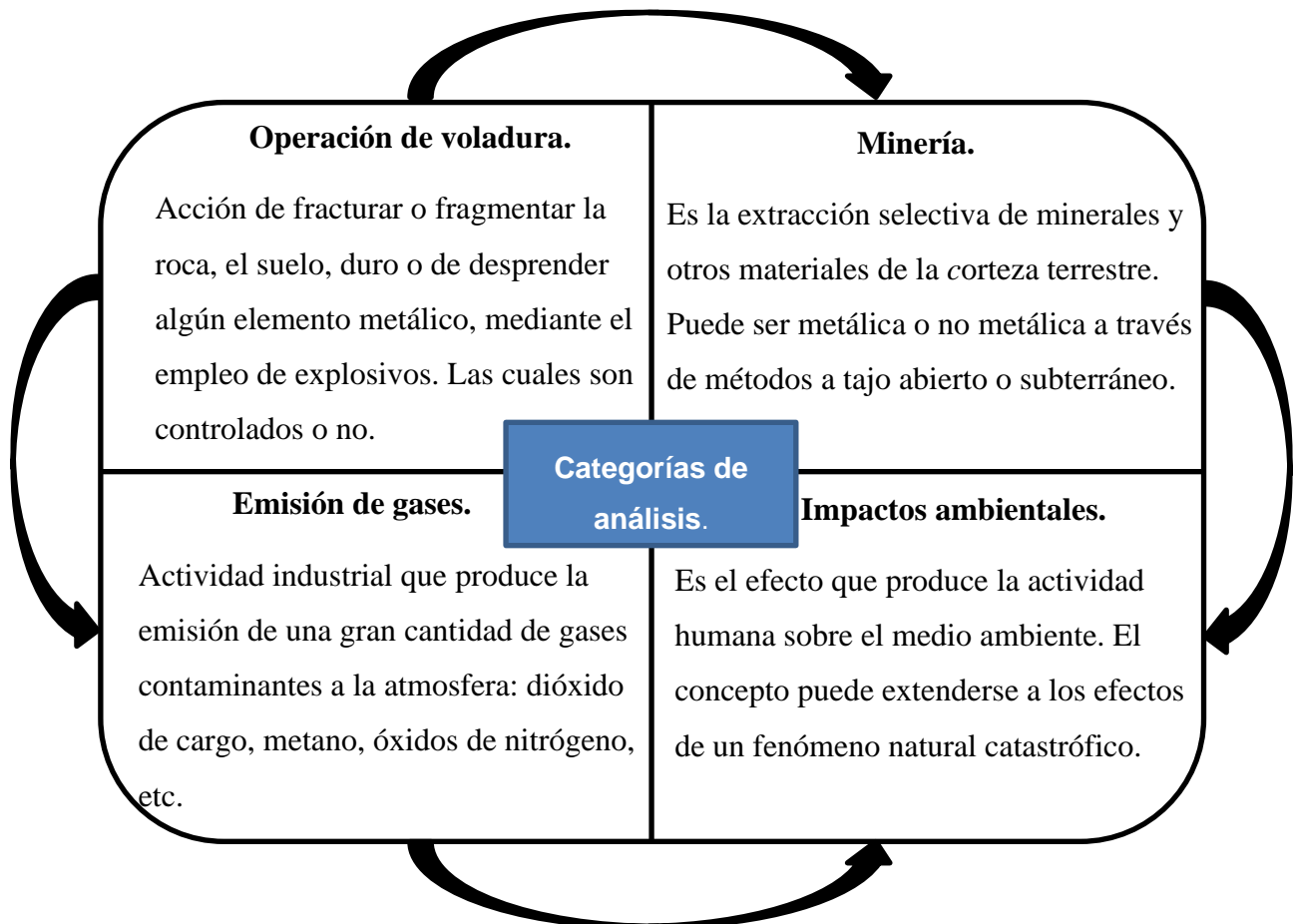


Figura 2. Categoría y sus definiciones.

Se organizaron en una tabla, cuya versión final fue consensuada entre los investigadores (Tabla 1). Para analizar la producción científica en relación con las categorías de análisis, se agruparon los trabajos en cuatro áreas de relevancia en la literatura sobre los términos autorregulado: 1) sobre su naturaleza, 2) sobre su evaluación, 3) sobre los resultados experimentales y 4) sobre el impacto ambiental producido por la emisión de gases.

**Tabla 1:**

*Artículos incluidos en la revisión según las palabras clave utilizadas*

<b>Título</b>	<b>Fuente</b>	<b>Diseño Metodológico</b>	<b>País</b>	<b>Breve resumen</b>
Parámetros explosivos para muestras de carbón (Antioquia, Colombia)	Rafael Fuentes, Jorge Molina y Astrid Blandón (2018)	Correlacional - Experimental & cuantitativo.	Colombia	Mediante análisis próximos, granulométricos, pruebas de temperatura mínima de ignición, límite inferior de explosividad y severidad de la explosión; se propone identificar cuál carbón produce el polvo más explosivo.
Estudio de las sobrepresiones de ondas de choque de un explosión utilizando dinámica de fluidos computacional	M. L. Costa Neto, G. N. Doz. (2017)	Descriptivo - Experimental & cuantitativo	Brasil	Realiza una evaluación de las sobrepresiones de onda expansiva utilizando un software de dinámica de fluidos computacional. Análisis de fenómenos. a medida que se realiza la reflexión de las ondas de choque y los efectos de canalización.
Análisis y diseño de la operación de perforación y voladura en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada	Díaz Martínez, Juan calor y Jiménez Builes Jovani (2012)	Correlacional - No experimental.	Colombia	Crea una interfaz, por medio de la cual se ingresan la densidad del explosivo, diámetro e inclinación de la perforación, resistencia a la compresión de la roca y dimensiones del banco. Para obtener el valor de las variables más importantes que acondicionan el diseño de la operación de perforación y voladuras.

<p>Evaluación ambiental asociada a la explotación del yacimiento de materiales de construcción la inagua, Guantnamo, Cuba</p>	<p>Naisma Hernández Jatib y Mayda Ulloa Carcasés (2013)</p>	<p>Descriptivo - No experimental &amp; cualitativo.</p>	<p>CUBA</p>	<p>Evalúa el impacto ambiental que produce la explotación del yacimiento de calizas La Inagua y elaborar el plan de medidas correctoras para minimizar los efectos negativos y compatibilizar la actividad minera con la protección del medio ambiente.</p>
<p>Efecto del gas en la velocidad de onda de corte de suelos arenosos densificados con explosivos</p>	<p>Carlos Alberto Vega Posada, Alfonso Mariano Ramos Cañón (2016)</p>	<p>Descriptivo - Experimental</p>	<p>Colombia</p>	<p>Presentan los resultados de ensayos triaxiales monotónicos realizados en muestras de suelos arenosos gaseosos medianamente densos, para evaluar el efecto del gas ocluido en la respuesta a la velocidad de onda de corte en arenas densificadas con explosivos.</p>
<p>Evaluación del riesgo de explosividad del gas metano en minería subterránea de carbón, caso de la cuenca del Sinifaná, Colombia</p>	<p>Camilo Andrés Ortega Ramos, Triana Margarita Franco Bonfante (2017)</p>	<p>Descriptivo - No experimental - Cualitativo</p>	<p>Colombia</p>	<p>Se realizaron mediciones de concentraciones de metano durante el arranque en minas a lo largo de la cuenca del Sinifaná, a partir de las cuales se realizaron perfiles y correlaciones para determinar los factores más influyentes para las acumulaciones de gas y por ende explosiones</p>
<p>Los sensores químicos y su utilidad en el control de gases contaminantes</p>	<p>Luis Escalona, Lisbeth Manganiello, (2012)</p>	<p>Revisión - Descriptivo</p>	<p>Venezuela</p>	<p>En el presente trabajo se presenta una extensa revisión de las principales investigaciones desarrolladas en el área de los sensores Químicos y su aplicación en el control de gases en ambientes sensibles a la contaminación.</p>

Influencia de las propiedades de los explosivos en el arranque de rocas	P. Ramírez Oyanguren (2009)	Revisión - Descriptivo	España	En la selección de un explosivo, sobre el cual se basa una performance de voladura, la elección depende fundamentalmente del costo y propiedades del explosivo y de su adaptabilidad a los tipos de materiales a ser arrancados.
Evidencias del choque térmico en partículas de polvo después de una explosión en minería de carbón	Jorge Martín Molina Escobar, Astrid del Socorro Blandón Montes (2014)	Correlacional - Experimental & cuantitativo.	Colombia	Determina las temperaturas alcanzadas y el grado de transformación del polvo de carbón durante explosiones en dos minas subterráneas, se tomaron tanto muestras de los mantos de carbón originales, como las resultantes de la explosión del polvo de carbón.
Optimización del sutiraje con explosivos en capas anchas de carbón	Luis Alberto López García (2016)	Revisión - Descriptivo	España	La utilización de un explosivo tipo II, según reglamentación española, es la mejor opción para garantizar la rotura y hundimiento del mineral. El respeto a la carga límite en las condiciones de utilización, las buenas prácticas que garantizan el confinamiento del explosivo y la detonación instantánea de todas las cargas, son suficiente garantía para los nuevos disparos.
Análisis de las consecuencias de la combustión de metano en un Encabezado de perro minado	Magdalena Tutak, Jarosław Brodny (2019)	Correlacional - No experimental.	Polonia	Investigación para predecir las consecuencias causadas por Combustión de metano en las partidas de minas. Análisis fue determinar los efectos de la combustión de metano



				en la composición de la atmósfera minera y la física parámetros de la mezcla de gases generada en este proceso
Detección y monitoreo de gases subterráneos de minas de carbón en Lakhra Coal Minas, Pakistán	Niaz Muhammad Shahani 2018	Descriptivo - No experimental - Cualitativo	Pakistan	Evaluación del sistema de ventilación eficiente. Las ubicaciones de las minas con alta concentración de gases pueden suministrarse con aire adecuado o deben cerrarse de forma permanente y aislarse del entorno de trabajo. Se ha encontrado que la concentración de gases detectada puede causar serios problemas de salud o incluso accidentes fatales, por lo tanto, se ha sugerido un sistema de ventilación adecuado para la mina.
La red WSN experimental para monitoreo subterráneo H2 Abundancia en la atmósfera de la Mina Karnasurt Lovozero en capas Intrusión Alcalina	Asavin A. M., Puha V.V., Baskakov S.S. (2019)	Correlacional - Experimental & cuantitativo.	Rusia	Desarrolla y opera equipos especializados basados en mini-MDM hidrógeno sensores y la tecnología de telecomunicaciones WSN para monitoreo a largo plazo de contenido de hidrógeno en el medio ambiente
Gases de efecto invernadero e intensidad energética de las operaciones mineras de granito y roca en Tailandia: Un caso de construcción de rocas industriales	Suthirat KITTIPONG VISES*, Orathai CHAVALPARIT, Chakkaphan SUTTHIRAT (2016)	Descriptivo - No experimental - Cualitativo	Tailandia	Evalúa sistemáticamente los gases de efecto invernadero (GEI) y la intensidad energética de las operaciones de extracción de rocas de granito en Tailandia y también identificar una gama de opciones factibles para minimizar sus emisiones de GEI.
Uso potencial de revestimientos delgados para rociar para gestión de gas en	Z. Li*, S. Saydam*, R. Mitra*, and D. Chalmers* (2015)	Revisión - Descriptivo	Australia	Revisa los desafíos actuales de gestión de gas y Discutir el uso potencial de TSL como una herramienta de gestión de gas en

carbón subterráneo minas				minas subterráneas de carbón. Esto puede implicar reducir la migración de gas al excavaciones / caminos, mejorando el drenaje de gas en la costura y evitando Combustión espontánea. Algunas áreas potenciales para futuros trabajos de investigación son identificados
Aplicación de flexigel en voladuras de control	DANIEL CHAMBI OCSA (2018)	Correlacional - Experimental & cuantitativo.	Perú	Determinar los beneficios de la aplicación del Flexigel, en voladuras de control, además de la influencia que tiene la distribución de energía del explosivo dentro del taladro, controlando el daño inducido al macizo rocoso y mejorando la fragmentación en la zona del taco.
EMISIONES DE CH <sub>4</sub> : MINERÍA DE CARBÓN Y MANEJO	William Irving (USEPA) and Oleg Tailakov (Russia Coalbed Methane Center). (2009)	Correlacional - Experimental & cuantitativo.	Rusia	Evalúa la cantidad de metano (CH <sub>4</sub> ) liberado durante la extracción de carbón depende de una serie de factores, los más importantes de los cuales son el rango de carbón, la profundidad de la capa de carbón y el método de minería.
Uso potencial de revestimientos delgados para rociar para gestión de gas en carbón subterráneo minas	Z. Li*, S. Saydam*, R. Mitra*, and D. Chalmers* (2015)	Revisión - Descriptivo	Australia	Revisa los desafíos actuales de gestión de gas y Discutir el uso potencial de TSL como una herramienta de gestión de gas en minas subterráneas de carbón. Esto puede implicar reducir la migración de gas al excavaciones / caminos, mejorando el drenaje de gas en la costura y evitando Combustión espontánea. Algunas áreas potenciales para futuros trabajos de investigación son identificados

Fuente: *Elaboración Propia*

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Proceso de selección de estudios.

Un total de 36 artículos se identificaron como candidatos potenciales para la revisión a partir de la búsqueda en las diferentes bases de datos. La aplicación del primer criterio de exclusión arrojó 5 que fueron excluidos. Los 31 restante fueron analizados de manera preliminar tomando como criterio de la antigüedad máxima de 10 años, seleccionando de esta forma 26 que cumplían con este criterio. Por último y más importante se descartaron otros artículos tomando como criterio la claridad de contenido, por ello se tuvo finalmente 20 artículos que componen esta revisión. Este proceso de selección se muestra a continuación en la siguiente figura 3 y el registro de los estudios seleccionados se muestra en la figura 4.



*Figura 3: Proceso de selección de estudios.*

*Fuente: Elaboración propia del autor*

N°	BASE DE DATOS	Autor / Autores	Año	Título de artículo de investigación
1	Scielo	Rafael Fuentes, Jorge Molina y Astrid Blandón	2018	Parámetros explosivos para muestras de carbón (Antioquia, Colombia)
2	Scielo	M. L. Costa Neto, G. N. Doz Diaz Martinez, Juan caior y Jimenez	2017	Estudio de las sobrepresiones de ondas de choque de un explosión utilizando dinámica de fluidos computacional
3	Dialnet	Builes Jovan	2012	Análisis y diseño de la operación de perforación y voladura en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada
4	Dialnet	Naisma Hernandez Jattib y Mayda Ulloa Carcasés	2013	Evaluación ambiental asociada a la explotación del yacimiento de materiales de construcción la Inagua, Guantánamo, Cuba
5	Dialnet	Carlos Alberto Vega Posada, Alfonso Mariano Ramos Cañón	2016	Efecto del gas en la velocidad de onda de corte de suelos arenosos densificados con explosivos
6	Redalyc	Camilo Andrés Ortega Ramos, Triana Margarita Franco Bonfante	2017	Evaluación del riesgo de explosividad del gas metano en minería subterránea de carbón, caso de la cuenca del Sinifaná, Colombia
7	Redalyc	Luis Escalona y Lisbeth Manganiello	2012	Los sensores químicos y su utilidad en el control de gases contaminantes
8	Researchgate	P. Ramirez Oyanguren	2009	Influencia de las propiedades de los explosivos en el arranque de rocas
9	Redalyc	Jorge Martín Molina Escobar, Astrid del Socorro Blandón Montes	2014	Evidencias del choque térmico en partículas de polvo después de una explosión en minería de carbón
10	Redalyc	Luis Alberto López García	2016	Optimización del sutiraje con explosivos en capas anchas de carbón
11	Researchgate	Magdalena Tutak, Jaroslaw Brodny	2019	Análisis de las consecuencias de la combustión de metano en un Encabezado de perro minado
12	Researchgate	Niaz Muhammad Shahani	2018	Detección y monitoreo de gases subterráneos de minas de carbón en Lakhra Coal Minas, Pakistán
13	Researchgate	Asavin A. M., Puha V.V., Baskakov S.S.	2019	La red WSN experimental para monitoreo subterráneo H <sub>2</sub> Abundancia en la atmósfera de la mina Mina Karnasurt Lovozero en capas Intrusión Alcalina
15	Google Academico	Suthirat KITT IPONGVISES y Orathai CHAVALPARIT	2016	Gases de efecto invernadero e intensidad energética de las operaciones mineras de granito y roca en Tailandia: Un caso de construcción de rocas industriales
16	Researchgate	Z. Li, S. Saydam, R. Mitra, y D. Chalmers	2015	Uso potencial de revestimientos delgados para rociar para gestión de gas en carbón subterráneo minas
17	Google Academico	DANIEL CHAMBI OCSA	2018	Aplicación de flexigel en voladuras de control
18	Google Academico	William Irving y Oleg Tailakov	2009	Emisiones de CH <sub>4</sub> : Minería de carbón y manejo
19	Google Academico	Haoran Zhang	2015	Estudios experimentales de simulación múltiple de gas normas de emisión, distribución y migración en minas sistemas de ventilación y área de golf

*Figura 4: Matriz de registro de estudios.*

*Fuente: Elaboración propia del autor*

### 3.2. Características de los estudios

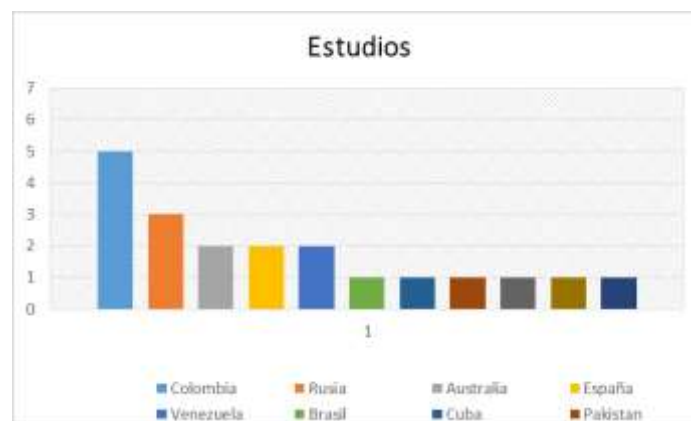
Los documentos seleccionados provienen en número de 5 fuentes internacionales como se observó en la figura 5 y de 11 países. Colombia es el país que más documentos aporta con un total de 5; luego vienen Rusia 3 documentos, España con 2 publicaciones, junto a Venezuela y Australia, con 2 documentos, finalmente, le siguen Brasil con 1 publicación junto Cuba y Polonia, y Pakistan cierra, también Perú y Tailandia con 1 documento, todos estos artículos fueron obtenidos de Revistas de investigación académica y científica, mediante el uso de buscadores como Redalyc, Dialnet, Scielo, Google académico y Researchgate. A continuación, muestra las características de los estudios en la tabla 2 y los documentos hallados en todo el proceso de selección de artículos en la siguiente Tabla 2 y figura 5.

**Tabla 2:**

*Características de estudios*

Tipo de documento	F	%	Año de publicación	F	%	Revista de Publicación del artículo	F	%
Artículos científicos	20	100	2009	3	15	Innovaciones	15	75
Tesis	-		2012	2	10	Negocios	2	10
Revistas científicas	-		2013	2	10	Revision de literatura	3	15
			2014	1	5			
			2015	2	10			
			2016	3	15			
			2017	2	10			
			2018	3	15			
			2019	2	10			
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>		<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>100</b>

*Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 5: Investigaciones realizadas en cada país.*

*Fuente: Elaboración propia.*



Figura 6: Investigaciones por Buscador de información.

Fuente: Elaboración propia

Como podemos ver en la tabla 2, respecto a los diversos tipos de fuentes de información, Se obtuvo totalmente artículos de revistas científicas en un 100%. Se excluyeron de este análisis a las Tesis de Grado de Repositorios Virtuales. Y también, respecto a los diversos tipos de buscadores de información. Se obtuvo mayoritariamente artículos de Dialnet, el resultado fue 25%, además, con un 20% se obtuvo artículos de Redalyc, al igual que Researchgate y google académico y finalmente Scielo con 15% tal como se muestra en la siguiente figura 6.

### 3.3. Análisis global de los estudios

El análisis de todos los estudios se realiza tomando como partida las categorías de análisis expuestas en la parte de metodología, esto nos lleva a identificar los aportes de cada estudio de investigación expuestos en la parte de discusión o conclusiones en algunos de ellos en la tabla 3 de inducción de categorías se expone los aportes más resaltante direccionadas a este estudio.

**Tabla 3:**

*Inducción de categorías*

Categorías	Aportes
Técnicas en Operación de voladura	<p>El diseño y análisis de la operación de voladura por medio de la aplicación de la programación estructurada es una técnica que permite obtener parámetros diferentes como el porcentaje de emisión de gases simplificada (Díaz, 2012).</p> <p>La técnica de prueba de la sonda BAT es exitosa implementado para recolectar muestras de gas y para medir la respuesta de las presiones de agua de poro durante y después voladura. (García , 2014)</p>
Emisión de gases	<p>En el aire se experimenta un aumento del nivel de ruido por los trabajos de perforación y voladura, transportación y procesamiento, así como de la contaminación por gases como dióxido de carbono. (Hernández, 2013).</p> <p>La emisión de gases se puede notar con la presencia de sensores, donde éstos están ubicados en sitios estratégicos en el área que se quiere monitorear, y están representados de varios tipos para medir variedad de gases. (Jiménez , 2012)</p>
Impacto ambiental	<p>El impacto sobre los componentes ambientales se manifiesta de forma intensa y abarca todo el medio natural y social. Los impactos más significativos ocurren en el desbroce, destape y extracción en minería (Hernández, 2013).</p> <p>Una herramienta cualitativa para realizar la evaluación del impacto ambiental generado por la actividad minera en operación es una forma de predecir como las actividades impactarán sobre el medio ambiente. (Costa, 2017).</p>

*Fuente: Propia del autor*

## CAPÍTULO IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

En las técnicas de operación de voladura estoy de acuerdo, con el autor Garcia porque es más eficiente la técnica de la prueba de la sonda BAT, pero discrepo del Autor Díaz, porque no es tan exacto utilizar la técnica de programación estructurada la cual no es tan eficiente para determinar las emisiones de gases contaminantes solo busca esta programación ser más rápida para mayor producción. Esto porque el algoritmo presentado a diferencia del método tradicional ofrece la operación realizarla de manera más rápida, prácticamente de forma instantánea, donde no es necesario conocer las fórmulas para el cálculo de los diferentes parámetros (Jiménez, 2012) buscando incurrir en el error humano que se tiene por el uso repetitivo de las fórmulas para el cálculos de los parámetros involucrados en el diseño de la perforación y voladura en minería.

En la emisión de gases estoy de acuerdo con los autores Hernandez y Jiménez, ya que la emisión de gases se ocasiona por la operación de voladura, transportación y procesamiento. Lo cual se puede medir por la presencia de sensores.

En el impacto ambiental estoy de acuerdo con el autor Jiménez, ya que el impacto ambiental se da por medio natural, social y las actividades mineras que se realiza en la unidad minera; pero discrepo con el autor Costa, porque el impacto ambiental no solo se da en la actividad minera sino incluye más aspectos. Por ejemplo un aspecto importante es la seguridad del trabajador tener un control de la distribución de presiones e impulsos producidos por la operación de detonación de cargas explosivas (Fuentes, 2018)

### 4.2. Conclusiones

Se concluye entonces que ante la pregunta inicialmente formulada de cuáles son las técnicas en la operación de voladura y su impacto en la reducción de gases en minas de Latinoamerica entre 2009 y 2019, la respuesta luego de haber analizo todo esto es conocer las nuevas técnicas en la operación de voladura para reducir el porcentaje de emisión de gases en minería entre los años 2009 y 2019, se evidencia que las empresas minera para



reducir la emisión de gases utiliza sistemas de monitoreo estos diseños basados en sensores, lideran las aplicaciones en el campo de las determinaciones gases contaminantes.

Otra evidencia como técnica para reducción de emisión de gases es la TSL que presenta beneficios potenciales para gestión de gas en minas subterráneas de carbón. Estos son en la reducción de las emisiones de gases en el sistema de ventilación. Desde su introducción, los TSL han recibido cada vez más atención de la industria minera en todo el mundo debido a los importantes beneficios que aportan, como bajo volumen, rápido aplicación y curado rápido, con gran potencial para reducir el impacto ambiental. Sin embargo, esta tecnología está en desarrollo.

Luego de estas conclusiones se tiene que reconocer que se ha presentado algunas limitantes para esta investigación. Esta es la muy poca información en español referente al tema; pero se evidencia un número mayor de estudios en inglés y otros idiomas como por ejemplo el idioma alemán también que presentan las variables de investigación del tema. Además en algunas fuentes de búsqueda de información para poder descargar los artículos nos solicitan un cobro para tener acceso. Para finalizar se recomienda incluir más textos en inglés u otros idiomas.

## REFERENCIAS

- Vega-Posada, C.A.; Ramos-Cañón, A.M. y García-Aristizábal, E.F. (2017). Efecto del gas en la velocidad de onda de corte de suelos arenosos densificados con explosivos. *Revista Tecnura*, 21(51), 67-80. doi: 10.14483/mudistrital.jour.tecnura.2017.1.a05
- Carlos A. Vega Posada, Edwin F. García Aristizábal y David G. Zapata Medina (2014). Monitoreo y muestreo de aguas subterráneas y gases en arenas densificadas con explosivos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, Febrero-Abril, 2014, Universidad de Medellín Medellín, Colombia.
- Ortega-Ramos, Camilo Andrés; Franco-Bonfante<sup>1</sup>, Triana Margarita; Blandón-Montes, Astrid; Molina-Escobar, Jorge Martín (2018). Evaluación del riesgo de explosividad del gas metano en minería subterránea de carbón, caso de la cuenca del Sinifaná, Colombia. *Boletín de Geología*, vol. 40, núm. 1, 2018 Universidad Industrial de Santander, Colombia.
- Escalona, Luís; Manganiello, Lisbeth; López-Fonseca, Martha; Vega, Cristóbal (2012). Los sensores químicos y su utilidad en el control de gases contaminantes. *Revista INGENIERÍA UC*, vol. 19, núm. 1, enero-abril, 2012, pp. 74-88 Universidad de Carabobo Valencia, Venezuela.
- Roberto Parra Z., Grover Apaza M., Afnan Agramont A. (2010). Estimación de factores de emisión de gases de efecto invernadero en una planta de tratamiento de aguas residuales. *Revista boliviana de química volumen 27, no.2 – 2010*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
- Asavin A. M., Puha V.V., Baskakov S.S., Chesalova E.I. y Litvinov A.V. (2019). La red WSN experimental para monitoreo subterráneo H<sub>2</sub> Abundancia en la atmósfera de

la mina Mina Karnasurt Lovozero en capas Intrusión alcalina. Revista de sistemas electrónicos y de información, Volumen 01, Issue 02, Octubre de 2019.

Niaz Muhammad Shahani (2018). Detección y monitoreo de gases subterráneos de minas de carbón en Lakhra Coal Mines-Pakistan. Conferencia Internacional de Carbón de Pittsburgh 2018 Xuzhou, provincia de Jiangsu, China 15-18 de octubre de 2018. Universidad de Minería y Tecnología de China, Xuzhou.

Fredy Rijalba (2015). Influencia de las propiedades de los explosivos en el arranque de rocas. DOI: 10.13140/RG.2.1.2477.7686

Magdalena Tutak y Jarosaw Brodny (2019). Análisis de las consecuencias de la combustión de metano en un perro minado Bóveda. PIO Conf. Ser. : Earth Environ. Sci. 362 012037.

Vega-Posada, C.A.; Ramos-Cañón, A.M. y García-Aristizábal, E.F. (2017). Efecto del gas en la velocidad de onda de corte de suelos arenosos densificados con explosivos. Revista Tecnura, 21(51), 67-80. doi: 10.14483/mudistrital.jour.tecnura.2017.1.a05

Naisma Hernández Jatib, Mayda Ulloa Carcasés y Yuri Almaguer Carmenate (2014). Evaluación ambiental asociada a la explotación del yacimiento de materiales de construcción la inagua, guantánamo, cuba. Luna Azul ISSN 1909-2474 No. 38, enero - junio 2014.

Juan Carlos Díaz Martínez, Melissa guarín Aragón y Jovani Jiménez (2012). Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Setiembre-Diciembre, 2012, Universidad de Medellín Medellín, Colombia.

Rafael Fuentes, Jorge Molina y Astrid Blandón (2018). Parámetros explosivos para muestras de carbón. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Enero-Marzo, 2018, Universidad de Medellín Medellín, Colombia.

M. L. Costa Neto y G. N. Doz (2017). Estudio de sobrepresiones de onda expansiva utilizando el dinámica de fluidos computacional. Ibracon Structures and Materials Journal Volumen 10, Número 3 (junio de 2017) p. 669 - 686 • ISSN 1983-4195

Suthirat Kittipongvises, Orathai Chavalparit y Chakkaphan Sutthirat (2016). Gases de efecto invernadero e intensidad energética de las operaciones mineras de granito y roca en Tailandia: Un caso de construcción de rocas industriales. Tecnologías ambientales y climáticas Diciembre de 2016, vol. 18, págs. 64–75 doi: 10.1515 / rtuect-2016-0014

Z. Li, S. Saydam, R. Mitra y D. Chalmers (2016). Uso potencial de revestimientos delgados para rociar para gestión de gas en carbón subterráneo minas. Escuela de Ingeniería Minera, UNSW Australia, Sydney, Australia. El Instituto de Minería del África Meridional y Metalurgia, 2016. ISSN 2225-6253.

William Irving y Oleg Tailakov (2012). Emisiones de ch<sub>4</sub>: minería de carbón y manejo. Guía de buenas prácticas y gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.