



Pronóstico de la Mortalidad Minera Subterránea en Colombia 2005-2022

Juan Camilo Barrera - jcbarreras@libertades.edu.co &
Mateo Vargas - mvargasp02@libertadores.edu.co¹
John González Veloza - jjgonzalezv02@libertadores.edu.co²

Facultad de Ingeniería y Ciencias básicas, Fundación Universitaria Los Libertadores, Bogotá, Colombia.

Received: June 21th, 2022. Received in revised form: June 23th, 2022. Accepted: June 24th, 2022

Abstract

Mining activities in Colombia represent 53% of emergencies resulting from the exploitation of minerals such as gold and coal in underground mines. Throughout this study, we seek to identify whether the contingency measures for the 2005-2012 and 2013-2022 periods will be applied and will affect mortality rates over time. Therefore, historical analysis is carried out supported by a database provided by the mining authority, with a sample size (n=936), represented in the four departments with the greatest impact on the analysis (Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, and Norte de Santander), to prevent possible emergencies, based on an ARIMA prediction model, whose optimal selection criterion was the Akaike, with a Mae test-type error margin of deaths per month of (4.7) and with this determine the degree of effectiveness of the measures adopted.

Keywords: Emergency, Mortality, Mining Titles, Illicit mining, Extraction, SARIMA MODEL

Resumen

Las actividades de minería en Colombia representan el 53% de emergencias producto de la explotación de minerales como el oro y el carbón en minas subterráneas. A lo largo de este estudio se busca identificar si las medidas de contingencia para los periodos 2005-2012 y 2013-2022 se aplicaron y afectaron los índices de mortalidad a través del tiempo. Por lo tanto, se realiza un análisis histórico soportado con una base de datos suministrada por la autoridad minera, con un tamaño de muestra (n=936), representados en los cuatro departamentos con mayor impacto en el análisis (Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander), con el fin de prevenir posibles emergencias, a partir de un modelo de predicción ARIMA, cuyo criterio de selección óptimo fue el akaike, con un margen de error tipo *Mae test* de fallecidos por mes de (4.7) y con este, determinar el grado de efectividad de las medidas adoptadas.

Palabras clave: Emergencia, Mortalidad, Títulos Mineros, Minería ilegal, Extracción, Series de Tiempo, Modelo SARIMA

¹ Estudiantes de la Especialización en Estadística Aplicada modalidad presencial.

² Asesor metodológico y Profesor especializado en el área de Series de Tiempo.

Introducción

La actividad del sector minero en Colombia para el año 2021 representó el 1.91% del PIB total con un aporte del sector en regalías de 1.9 billones de pesos, producto de la explotación de los recursos naturales no renovables, en el marco de la contraprestación de las zonas concesionadas y explotadas para tal fin. No obstante en contraste con los recursos percibidos por este sector en las cifras de la economía del país, para el periodo 2005 - 2012 y 2013 - 2022 se reportaron 1644 emergencias mineras con una fatalidad de 1771 muertes de las cuales 936 muertes corresponden a la mortalidad presentada en 4 departamentos del país a saber, Antioquia; Boyacá; Cundinamarca y Norte de Santander representando el 53% de la tasa de fallecidos, como resultado de las actividades de explotación minera, teniendo como características en común que dichas fatalidades corresponden con el tipo de minería aplicada, en este caso, minería subterránea y respecto de los minerales de oro y carbón, tomando como base el comportamiento histórico de emergencias mineras desde el año 2005 a 2022. (Agencia Nacional de Minería, 2022).

Contrastando este comportamiento histórico de mortalidad minera en el país, el cual se encuentra por encima de algunos países de Latinoamérica, por ejemplo, Perú, el cual registra un nivel de fatalidad de 321 muertes en el cual se incluyen todas las actividades de explotación minera representando un 18% de mortalidad frente a Colombia para el período de 2007 a 2012. (Collantes & Arroyo, 2017).

En este sentido, según informe de la Defensoría del Pueblo, se señala que existe mayor probabilidad de riesgo de accidentalidad minera en la denominada minería artesanal, ya que esta actividad no se encuentra regulada y por tal motivo no cumple con los requerimientos técnicos, sociales y ambientales para el desarrollo de dichas actividades, así como de activación de protocolos que garantice la seguridad de las personas que desarrollan dichas actividades, y que esta condición de riesgo a su vez permea en zonas donde hay un reconocimiento legal, debido a que gran parte de la accidentalidad está directamente relacionada con comportamientos humanos inseguros, producto de la ausencia o falta de capacitación en esta actividad. (Defensoría del Pueblo, 2015).

Con el fin de contrastar estos reportes, en el artículo se evidenciará gráficamente que la diferencia entre minas ilegales y legales, si de cantidad de mortalidad se trata, la variación que presentan no es significativa e incluso en el departamento de Boyacá (2013-2022) los títulos mineros reportaron mayor cantidad de mortalidad si se compara con la cantidad de mortalidad reportado en minas ilegales.

Por consiguiente, el presente análisis pretende a través del comportamiento histórico de las emergencias reportadas por la autoridad minera desde el período de 2005 a 2022, generar insumos que permitan mitigar el comportamiento reflejado para dicho período, que para tal fin se planteará un modelo estadístico que permita pronosticar las emergencias y su nivel de fatalidad en la minería subterránea en Colombia. En la ***tabla 1*** se podrán apreciar los departamentos sujetos al estudio y un panorama general del contexto minero en los mismos.

Tabla 1: Radiografía Minera (Casos de estudio)

Departamentos	Títulos Mineros	Minas ilegales Reportadas por emergencia	Principal mineral explotado	%Regalías
Antioquia	1461	29	Oro y metales preciosos (512)	97.0%
Boyacá	1481	28	Carbón (543) Esmeraldas (233)	68,2% 21.9%
Cundinamarca	983	43	Carbón (248)	67.3%
Norte de Santander	633	10	Carbón (283)	98,59%

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Estado de la minería en Colombia; reportados por la Agencia Nacional de Minería (2017).

Es de resaltar que la ANM como autoridad, tiene como responsabilidad la seguridad minera en términos de prevención de la accidentalidad, así como la de garantizar una minería con responsabilidad social, ambiental y productiva, a través del Grupo de Seguridad y Salvamento Minero, sobre el total de los títulos mineros otorgados en el país, para la exploración y explotación minera, por otra parte se indica que frente a las emergencias presentadas en zonas de minería ilegal, los entes responsables de dicha intervención de emergencias, son competencia directa de las alcaldías y gobernaciones, frente a las zonas donde se presenten dichas emergencias. (Agencia Nacional de Minería, 2022).

Por otra parte, se indica que la ANM a través de la figura de Fiscalización Minera, tiene como competencia implementar el conjunto de actividades y procedimientos, cuyo único fin es el de garantizar el cumplimiento de la normatividad minera, en el marco de (Seguridad e higiene minera y ambiental), en los contratos de exploración y explotación de recursos naturales no renovables, así como la de determinar los volúmenes de producción, sin afectar la conservación de los recursos objeto de la actividad minera por parte del concesionario y de igual manera dicha autoridad debe garantizar la aplicación de las mejores prácticas de exploración y producción, teniendo en cuenta los aspectos técnicos, operativos y ambientales, que para este estudio se realizan a través de los seguimientos producto de las visitas de fiscalización integral, en el marco de una minería responsable cumpliendo con los aspectos técnicos definidos en la fase contractual, frente a los planes mineros aprobados, así como la del cumplimiento de aspectos como el de seguridad e higiene en la actividad minera. (Agencia Nacional de Minería, 2022).

Cabe señalar que el propósito de este artículo tiene como objeto analizar el comportamiento de mortalidad minera en los cuatro departamentos con mayores cifras de fatalidad y productividad.

Metodología

Este artículo fue elaborado en tres fases estructurales, entre las cuales se pueden indicar las siguientes: en la primera de ellas se realizó una búsqueda bibliográfica sobre documentos que nos permitieran identificar las causas de accidentalidad y emergencia minera, en el proceso de explotación, así como

su relación con el tipo de mineral extraído y la gravedad y/o fatalidad reportada frente a lo contemplado en el decreto 1886 de 2015, por el cual se establece el Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras, según el método de explotación, que para este análisis se concentró en el ejercicio de labores subterráneas.

En un segundo momento se requirió a la autoridad minera, a través de derecho de petición, una base de reporte de la emergencia minera, la cual se suministró por parte de la (ANM), desde el período de 2005 hasta el 01 de mayo de 2022, en este sentido para esta fase se realizó la depuración y análisis de la información de la base suministrada, identificando las variables de mayor incidencia en relación con las estadísticas más preponderantes, en el marco de las emergencias y fatalidades por método de explotación subterránea, con el fin de que nos permitiera identificar y responder el ¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Dónde? y el ¿Por qué?, se ocasionaron dichas emergencias y explicar las razones determinantes de los índices de fatalidad en el desarrollo de estas actividades. (Agencia Nacional de Minería, 2022).

Finalmente, en un tercer momento, este consistió en correlacionar la información de la base de datos de emergencias y fatalidades reportadas en la base de datos denominada “Sabana de accidentalidad 2005 a 2022”, organizando las fechas de ocurrencia de menor a mayor de la forma (día, mes, año), así como la de definir las variables más determinantes para el presente artículo, como involucrados, fallecidos, departamentos que para este análisis se concentró en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander, por lo tanto de igual manera, se identificó el mineral explotado su modalidad es decir Legal(título minero) e ilegal, así como el método de explotación que según lo analizado se concentró en la minería subterránea. (Galvis Ocampo, Oviedo, & Franco, 2021).

El anterior ejercicio se realizó a través del software Python, en el cual se utilizaron algunos modelos estadísticos como el modelo de pronóstico ARIMA, a través del método de series de tiempo, el cual permitió establecer el número de emergencias y fatalidades ocurridas en un período de tiempo ya transcurrido, para finalmente evaluar el grado de predicción de la tasa de mortalidad minera y su comportamiento en años futuros, en relación directa a las medidas adoptadas por la autoridad minera, en el marco de la activación de protocolos de seguridad y su incidencia, en el comportamiento de la ocurrencia de las emergencias y su potencial mortalidad.

Por lo anterior, se realiza un análisis de las diferentes variables de la base de sabana de accidentalidad, en la cual se observa que gran parte de la mortalidad minera, se concentró en 4 departamentos mencionados anteriormente, en los cuales se presentó una variación del comportamiento de la tasa de mortalidad, entre los períodos de 2005 a 2012 y 2013 a 2022, ya que para este último período se creó y estableció a la Agencia Nacional Minería, como autoridad minera del país, debido que para las vigencias anteriores al año 2013, dicha competencia de la seguridad Minera, era asumida por el Servicio Geológico Colombiano; por tanto para este estudio a su vez se analiza las medidas de contingencia adoptadas por las autoridades competentes en dichos departamentos, observando que para el período 2013 a 2022 se registra información en la base de datos en la cual se evidencian las observaciones presentadas en relación a la activación de medidas de contingencia registradas en la base de referencia.

Minería en Colombia

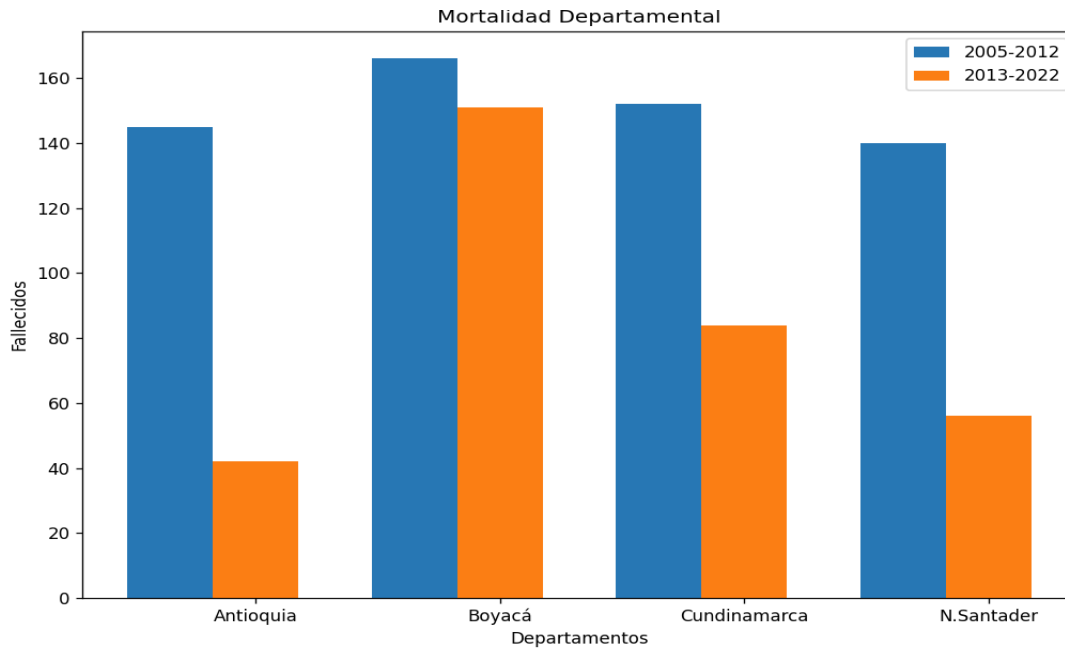
A la luz de las disposiciones contempladas para la prevención de los riesgos en las labores mineras subterráneas y su cumplimiento, las cuales se encuentran reglamentadas en el Artículo 1, 9 y 34 del decreto 1886 de 2015, en el que se señala por una parte, cuales deben ser los procedimientos establecidos para la ejecución de las labores subterráneas, entendidas en su generalidad como las medidas que permitan identificar y priorizar la intervención de riesgos tanto potenciales como existentes, y la capacitación continua de los trabajadores en el desarrollos de sus actividades, así como la implementación de las investigaciones de los accidentes mortales, con el fin de establecer las

medidas correctivas necesarias por parte de la autoridad competente. (Ministerio de Minas y Energía, 2015).

En este sentido y en contraste con la normatividad contemplada en el marco de la prevención de la accidentalidad minera, es importante señalar que el país aún no cuenta con altos estándares de seguridad industrial y salud, así mismo se indica que la investigación generada en temas de seguridad minera es muy limitada, lo que a su vez redundaría en una escasa capacidad de gestión de los riesgos y la identificación de sus posibles causas, ya que los eventos de riesgo o emergencia no son causados comúnmente por una sola falla o error, sino que son el resultado de la interacción entre varios factores de riesgo, es decir que el error humano no es la única causa de estos eventos, sino puede ser a su vez la consecuencia de dichas interacciones. (Gheorghe, 2020).

De igual manera como lo plantearía (Gheorghe, 2020), un accidente es asociado comúnmente como un factor impredecible e inevitable, pero puede a su vez ser una lección producto de los eventos o muertes ocasionadas, visto no como un factor repentino o aleatorio, sino como un factor predecible y prevenible, por tal motivo dicha autora permite comprender porque se debe reemplazar el término de accidente por suceso, evento o emergencia minera. En la figura 1 se puede apreciar y comparar los reportes de accidentalidad en los 4 departamentos de mayor impacto y el contraste antes y después de la intervención de la ANM.

Figura 1: Índice de Mortalidad Departamental para los períodos de 2015 a 2022



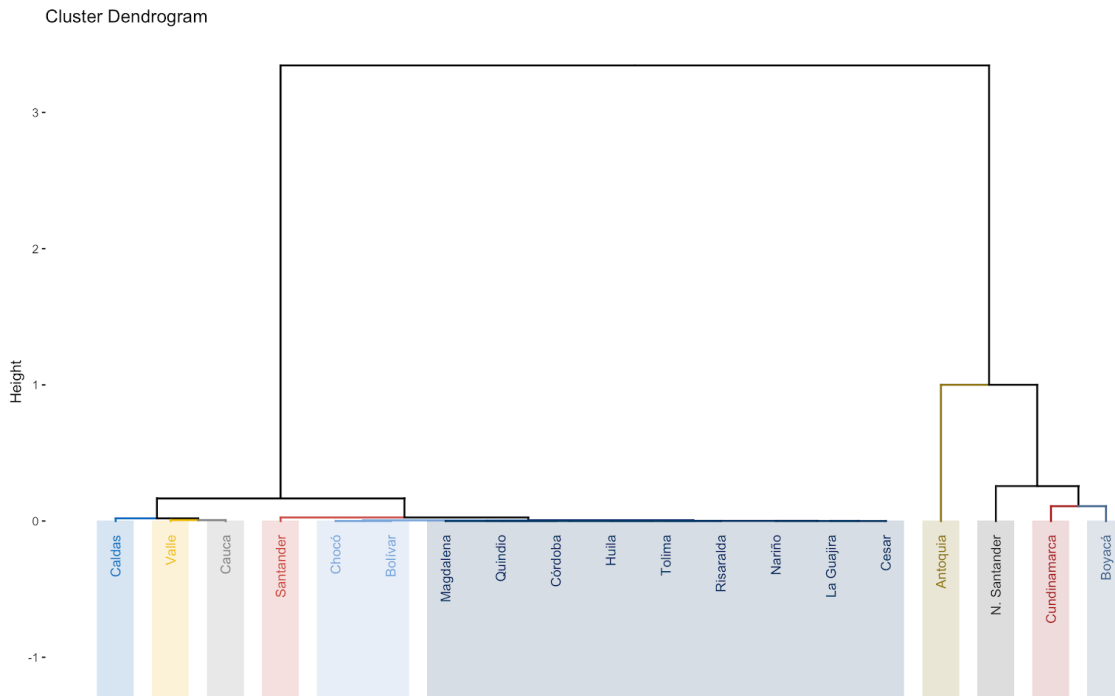
Fuente: Elaboración propia con base en datos reportados por la ANM Sabana de accidentalidad Minera 2005-2022

Departamentos significativos

En la figura 2 se pretende evidenciar bajo una estructura tipo dendograma las relaciones que, según las variables extraídas, se pueden relacionar entre los departamentos de estudio, según: (Cantidad de minas legales e ilegales) y así mismo (Cantidad de involucrados, lesionados y fallecidos en accidentes mineros). Por lo cual, el análisis observado y previamente expuesto, es que 4 de los 19 departamentos de Colombia ofrecen mayor variedad y cantidad de datos en lo que a emergencia minera se refiere, tanto en minas legales e ilegales. En este sentido, se evidencia que, aunque no comparten un grupo particular y asociado de información, tienden a demostrar que las vertientes de la figura que los asocia con sus particularidades y la distancia con respecto de los otros departamentos es que, aunque presentan cifras de accidentalidad, estos no son tan altas.

A su vez las agrupaciones a destacar de este dendograma son las de Chocó junto con Bolívar y 9 departamentos como; (Magdalena, Quindío, Córdoba, Huila, Tolima, Risaralda, Nariño, La Guajira, Cesar), ya que estos son departamentos que como se demuestra más adelante, con el paso de los años han mantenido un comportamiento similar en cuanto a accidentalidad se refiere, sin representar picos altos o bajos y adicionalmente la apertura de nuevos títulos mineros o incluso la aparición de nuevas minas ilegales. (Agencia Nacional de Minería, 2022).

Figura 2: Agrupaciones por departamentos con mayor Accidentalidad Minera en Colombia 2005 -2022



Fuente: *Elaboración propia con base en datos reportados por la ANM Sabana de accidentalidad Minera 2005-2022- Dendograma Departamental.*

Por otra parte, departamentos como Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander son una muestra representativa cuyo factor en común es que, en términos de mortalidad minera, cuentan con mayor número de minas ilegales y minas legales. En síntesis, puede comprobarse que, a mayor número de minas, mayor número de productividad, por lo cual, mayor será el número de emergencias mineras ocasionadas y por consecuencia puede aumentar la cantidad de mortalidad. (Agencia Nacional de Minería, 2022)

Medidas de contingencia

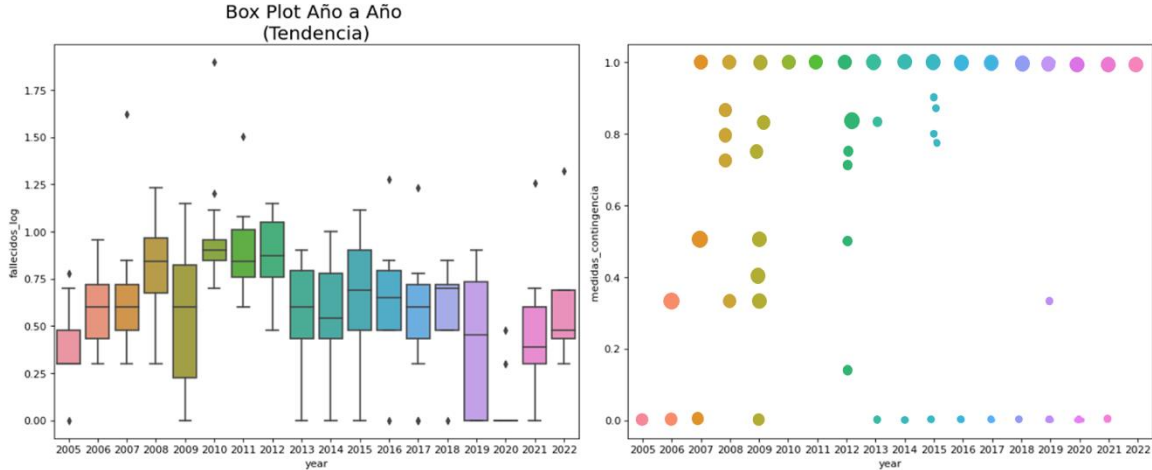
El comportamiento apreciado en las figuras 1 y 2 pueden inferir una situación e inclusive un problema que corresponde a las respuestas de las entidades encargadas para mediar con los accidentes. Se puede apreciar en la figura 3 (cantidad de mortalidad) y la figura 4 (Medidas de contingencia³) que los años con mayor cantidad de fatalidad por emergencia fueron (2007; 2010; 2011).

En suma, fueron 342 casos de mortalidad en minas legales y 99 emergencias en minas ilegales, en las que por una parte no se realizaba un seguimiento permanente de visitas técnicas frente al cumplimiento de la seguridad, especialmente en minas legales y por otra parte en minas ilegales no se contaba con medidas de seguridad en el desarrollo de estas actividades, según lo contemplado en la normatividad minera y esta limitación en la implementación de medidas de contingencia, desencadenó en el incremento de la mortalidad en dichas vigencias; concluyendo de alguna forma que incluso, luego del surgimiento de la Agencia Nacional de Minería (2013) y a pesar de la

³ Las medidas de contingencia es una variable binaria en donde 1 representa que si existieron medidas preventivas y de reacción y cero representa que no se tomaron medidas en absoluto.

disminución significativa de accidentalidad y mortalidad, las respuestas han sido más reactivas que preventivas como se puede observar en siguiente Strip Plot para el período de 2005 a 2022 y los años con datos atípicos en relación a la respuesta de las autoridades competentes en su momento.

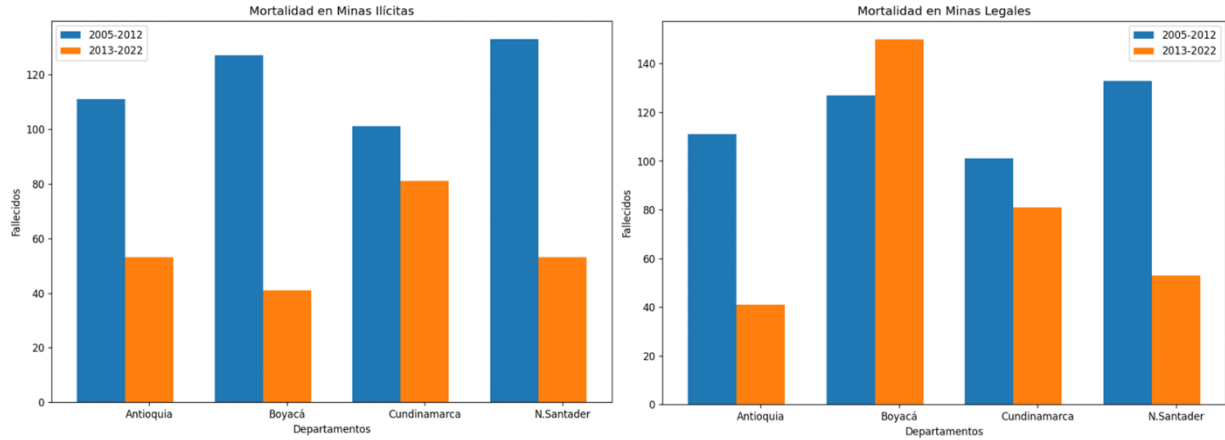
Figura 3: Modelo comparado mortalidad por Departamento: Strip Plot 2005-2022



Fuente: Elaboración propia con base en datos reportados por la ANM Sabana de accidentalidad Minera 2005-2022- Departamental. Tendencia cantidad de mortalidad –Medidas de contingencia

Por otra parte, con el fin de demostrar el comportamiento de la variable de mortalidad, se realiza un análisis comparativo en el cual se discriminan las cifras de mortalidad según tipo de mina (legal e ilegal), así como por tipo de mineral (carbón y oro) en ambos tipos de mina. A continuación, se aprecia el comportamiento de esta variable por departamento con la cual se generan las siguientes discusiones. **Ver figura 4.**

Figura 4: Nivel de Mortalidad comparado entre minas de explotación legal e ilegal para los 4 departamentos de estudio



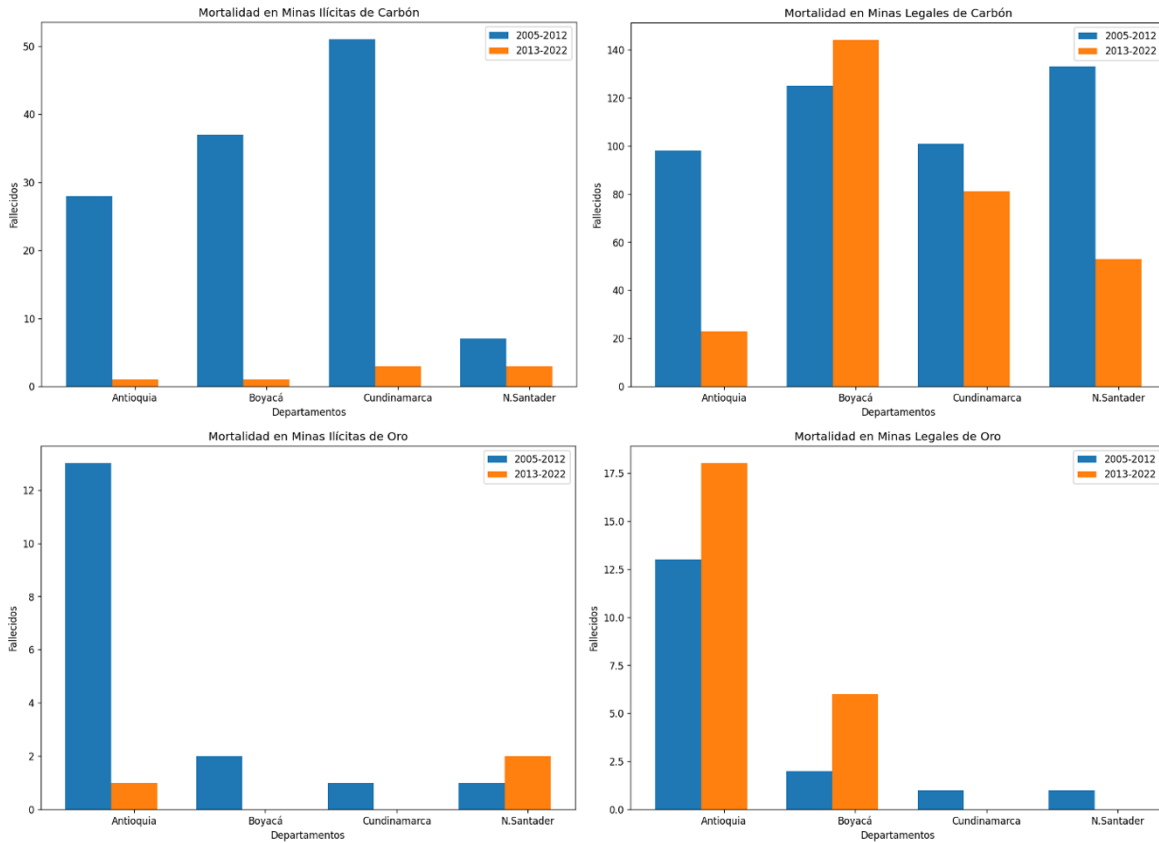
Fuente: *Elaboración propia con base en datos reportados por la ANM Sabana de accidentalidad Minera 2005-2022- Departamental. Mortalidad en minas legales y mortalidad en minas ilegales*

En el primer periodo analizado (2005-2012) tanto para las minas legales como ilegales, las cantidades de mortalidad son mayores al compararlas con las muertes reportadas en el segundo periodo (2013-2022). Aunque la diferencia de las cantidades de mortalidad por tipo de mina no es significativa, se puede evidenciar una tendencia a la baja en tres de los cuatro departamentos analizados, razón por la cual es válido inferir que la aplicabilidad y efectividad de las medidas de contingencia analizadas en la figura 3 lograron disminuir en cierta medida el número de fallecidos por emergencia. Cabe aclarar que estas emergencias fueron todas reportadas en minas subterráneas.

A pesar de ello, es notable el comportamiento de Boyacá en las minas legales, cuyas cifras de mortalidad aumenta del primer al segundo periodo en 9%. Este comportamiento se justifica porque tanto en agosto del año 2021 y febrero del año 2022 hubo dos accidentes por explosión y fallo en la respuesta de las autoridades competentes para dar respuesta a las operaciones de rescate.

De aquí que, de acuerdo con el tipo de explotación y mineral explotado Ver figura 5, en las cual se incluyen cuatro gráficas de barras, se puede inferir la siguiente información: por una parte, se tiene que en minas de carbón subterráneas han muerto 1193 personas (72.2%) y en minas de oro subterráneas murieron 219 personas (13.3%) de las cuales 111 de las muertes ocurrieron en explotaciones ilegales en las que según Gheorghe (2020) no existieron medidas preventivas para el control de aguas, causando inundaciones. Sin embargo, es plausible notar que la tendencia de fatalidad por emergencia disminuye considerablemente desde el 2013, año en el que se constituye la agencia Nacional de Minería.

Figura 5: Nivel de mortalidad por Mineral en Minería legal e ilegales 2005 a 2022.



Fuente: *Elaboración propia con base en datos reportados por la ANM Sabana de accidentalidad Minera 2005-2022-Departamental. Mortalidad en minas legales y mortalidad en minas ilegales para la explotación me minerales como el carbón y el oro.*

De igual manera, con referencia a esos tipos de minas y el tipo de mineral, es válido hacer referencia a las explosiones como factores que representan el mayor margen de accidentalidad en relación a los datos atípicos reflejados. A saber, al menos el 52% en el índice de mortalidad en el segundo periodo, se divide de esta forma: Boyacá (minas legales de Carbón) y Antioquia (minas legales de oro). (Agencia Nacional de Minería, 2022). El aporte subyacente a partir del corte de 2013 se hace evidente cuando en las minas de oro, los registros de mortalidad por emergencia se aproximan a cero y cuando en las minas de carbón se aprecia, una disminución general de las cifras de mortalidad en ese segundo periodo de 2013 a 2022 salvo los casos mencionados.

Modelo ARIMA

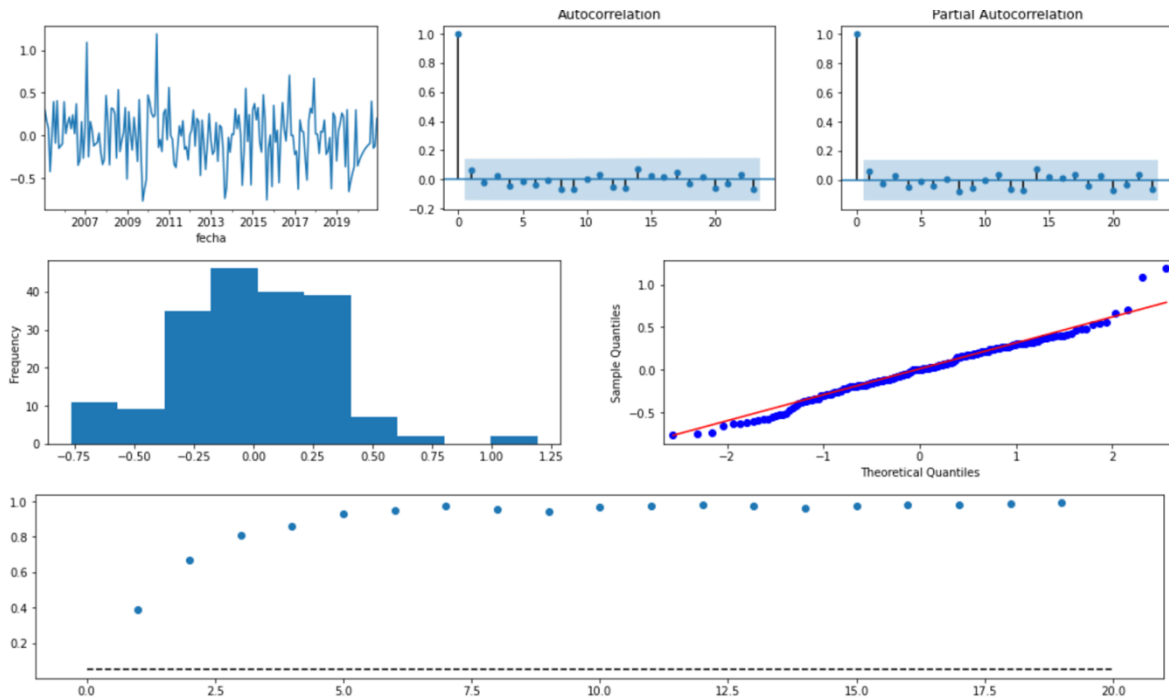
Para concluir con el análisis y ofrecer en la medida de lo posible, algunos escenarios que permitan prevenir o controlar emergencias mineras, se recurrió a la realización de algunos modelos predictivos ARIMA para determinar el mejor modelo y recrear un posible pronóstico.

Se evaluaron al menos 5 modelos ARIMA considerando diferentes medidas de calidad, destacando como principal el criterio de Selección Akaike (AIC) por sus siglas en inglés, el cual por su valor de comparación (191,1) y por el principio de parsimonia permitieron hacer una explicación e interpretación más sencilla y aproximada de las variables y el pronóstico del modelo ARIMA más representativo (0,1,0).

Por lo cual, la expresión matemática del modelo ARIMA (0,1,0) y el análisis con respecto a los residuales en la figura 6, denotan el hallazgo del mejor modelo ajustado para el análisis de las variables seleccionadas y por consiguiente, el pronóstico.

$$\hat{Y}_t = \mu + Y_{t-1}$$

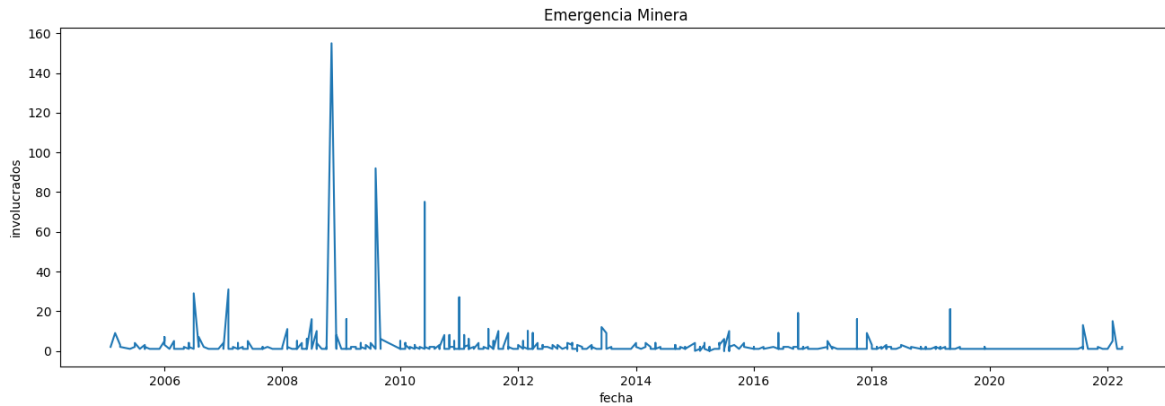
Figura 6: Análisis de residuales del M ARIMA (0,1,0)



Fuente: Elaboración propia con base en datos reportados por la ANM Sabana de accidentalidad Minera 2005-2022-Departamental. Mortalidad en minas legales y mortalidad Modelo ARIMA (0,1,0).

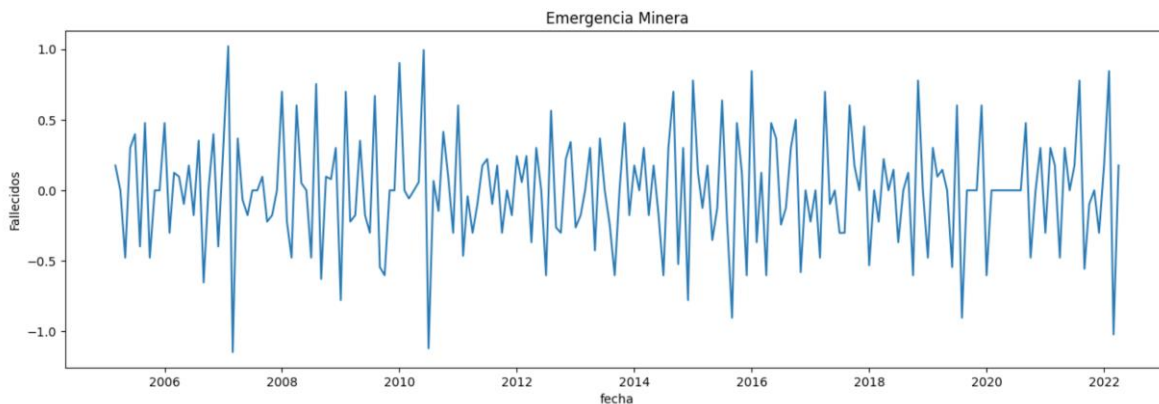
Por otra parte, al comparar las figuras 7 (línea de tiempo no ajustada) y 8 (Modelo ARIMA) se pueden apreciar los picos de los años 2007 y 2010 incluso con el modelo ajustado, años en los cuales hubo explosiones en las minas subterráneas y según registros, no hubo medidas preventivas ni oportunidad para reducir el índice de mortalidad respectivo.

Figura 7: Serie de tiempo no ajustada 2005 a 2022



Fuente: *Elaboración propia con base en datos reportados por la ANM Sabana de accidentalidad Minera 2005-2022- Departamental. – Serie de tiempo no ajustada.*

Figura 8: Serie de tiempo ajustada 2005 a 2022.



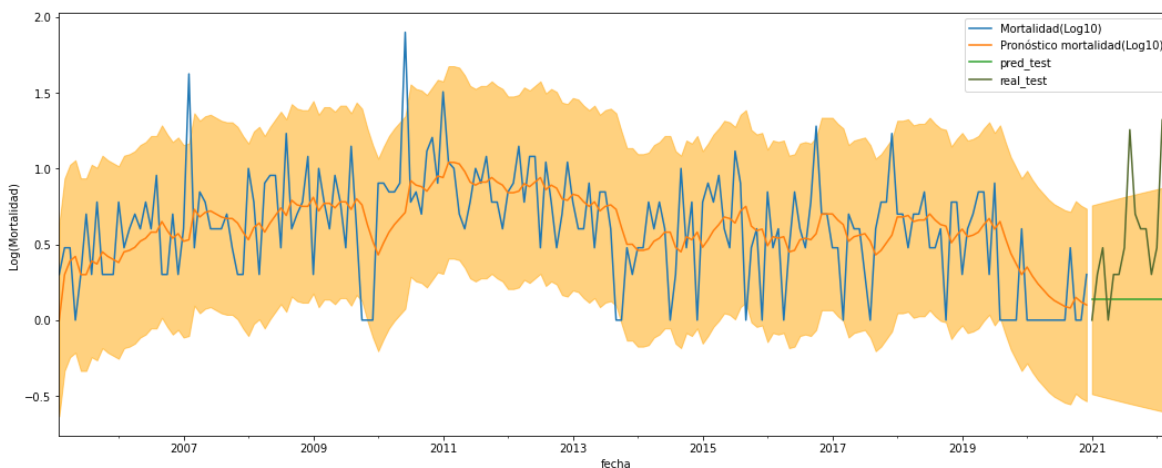
Fuente: *Elaboración propia con base en datos reportados por la ANM Sabana de accidentalidad Minera 2005-2022- Departamental – Serie de tiempo ajustada.*

Por consiguiente, con el modelo ajustado, es viable entonces descartar cualquier tendencia lo que quizá refleja un aporte significativo desde la creación de la ANM en el año 2013. En este sentido, puede apreciarse que el comportamiento de la serie ajustada es estacionaria, la cual permite generar algún pronóstico basado en el modelo ARIMA previamente mencionado.

Por lo cual, el pronóstico realizado indica que al tener en cuenta los períodos de 2005 a 2022, en relación al comportamiento de las variables de estudio (mortalidad, medidas de contingencia y tiempo) estas presentan un comportamiento de impacto mínimo con respecto a lo que pasará en los años siguientes según el modelo.

Un factor relevante a tener en cuenta en el análisis del pronóstico es que este presenta un margen de error de 4,7 muertos posibles, es decir fallecimientos por año (Test mae), ya que una de las razones que determina este nivel de error, es producto de las medidas de contingencia implementadas a causa de la pandemia del año 2020. Por lo cual se puede evidenciar que, durante casi un año desde el mes diciembre de 2020 hasta el mes de julio de 2021, en los cuatro casos de estudio, las variables se comportan de manera lineal cercanas al cero (En la gráfica 9 se puede apreciar la línea constante del pronóstico); no obstante, determinar el grado de fatalidad de los accidentes y la cantidad de accidentes por la omisión de medidas preventivas, refleja un margen de error MAE de al menos el 60%.

Figura 9 Pronóstico



Fuente: Elaboración propia con base en datos reportados por la ANM Sabana de accidentalidad Minera 2005-2022- Departamental – Pronóstico de Serie de tiempo.

Conclusiones

Según el análisis del comportamiento histórico de mortalidad minera en Colombia, se evidencia que este se encuentra por encima de la media de algunos países de Latinoamérica, por ejemplo Perú, el cual registra un nivel de fatalidad de 321 muertes entre los años de 2007 a 2012, en la cual se incluyen todas las actividades de explotación minera representada en un 18%, frente al nivel de mortalidad presentado en estos mismos períodos en Colombia, el cual fue de 540 muertes, solo para los minerales de oro y carbón reflejando un porcentaje de mortalidad del 58% sobre la base de 936 del total de muertes en Colombia.

Los minerales como el oro y el carbón, presentan mayor nivel de probabilidad de ocurrencia de emergencia y mortalidad minera, en actividades desarrolladas en minas de tipo subterráneo en Colombia, por lo cual se debe implementar, estrategias de mitigación y prevención del riesgo de accidentalidad como la capacitación, así como el control y seguimiento por parte de la autoridad minera, con el fin de que se cumpla con las medidas adoptadas para la explotación minera por este tipo de minerales.

Se señala que los departamentos con mayor mortalidad en explotación de oro y carbón subterráneo se presenta en: Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander, y por tal motivo requieren una política focalizada, de prevención de accidentalidad y fatalidad minera, en estas zonas del país, que permitan hacer frente a las emergencias y a la mortalidad minera ocasionada, frente a la disponibilidad de recursos con los que cuente la autoridad minera para tal fin.

Finalmente, considerando los resultados del modelo ajustado ARIMA (0,1,0) con el que se realizó el pronóstico de mortalidad de las emergencias mineras reportadas para el análisis de este estudio, se indica que dicho pronóstico no representa un margen de significancia óptimo que permita predecir las cifras de mortalidad futuros por emergencias mineras, ya que este modelo presenta un margen de error de 4,7 muertos posibles por mes, debido a que una de las razones que determinó este nivel de error (Test mae), fue producto de la pandemia del año 2020. Por lo cual se puede evidenciar que, durante casi ocho meses en los cuatro departamentos de análisis, las variables se comportan de manera lineal cercanas al cero, lo cual puede impactar las métricas de evaluación, como también el pronóstico futuro de la mortalidad.

Por lo cual, se recomienda que este estudio pueda servir como punto de partida en el análisis de pronósticos y estrategias, empleando el uso de otras variables y metodologías, que impacten en alternativas de solución, que permitan la prevención y mitigación de la mortalidad por emergencia minera en el país.

Bibliografía

Agencia Nacional de Minería. (20 de Junio de 2022). *Lecciones aprendidas*. Obtenido de ANM: <https://www.anm.gov.co/?q=lecciones-aprendidas>

Agencia Nacional de Minería. (14 de 06 de 2022). *ANM*. Obtenido de Fiscalización Minera: <https://www.anm.gov.co/?q=fiscalizacion-minera>

Agencia Nacional de Minería. (14 de 06 de 2022). *Emergencias Mineras*. Obtenido de https://www.anm.gov.co/?q=emergencias_mineras

Agencia Nacional de Minería. (2022). *Sabana de Accidentalidad 2005-2022*. Bogotá.
Collantes , R., & Arroyo, C. (2017). Accidentes por caída de rocas en la minería subterránea – El caso de la minería peruana. *Departamento de Engenharia de Minas*, 4-11.

Defensoría del Pueblo. (2015). *La Minería sin Control Un Enfoque desde la Vulneración de Derechos Humanos*. Bogotá: Defensoría del Pueblo.

Galvis Ocampo, Y., Oviedo, N., & Franco, G. (2021). *Emergencias y fatalidades mineras subterráneas en Colombia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Gheorghe, G. C. (2020). *Emergencias Mineras Mortales en Colombia (2005-2020): Investigación con Modelo Jerárquico de Causalidad de 100 eventos*. Bogotá: Universidad del Rosario.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Decreto 1886 Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras*. Presidencia de la República.