



El empleo
es de todos

Mintrabajo

II Congreso Nacional de Gestión del Riesgo en Seguridad Minera.

2020



El empleo
es de todos

Mintrabajo

Modelo jerárquico de causalidad de los accidentes mineros mortales en Colombia, basado en 100 investigaciones de accidentes mineros.

Gloria Catalina Gheorghe

Gerente de Seguridad y Salvamento Minero
Agencia Nacional de Minería

Ing. de Minas y Metalurgia

Especialista en Seguridad y Medio Ambiente Minero

Especialista en Gerencia en Salud Ocupacional

Aspirante al título de Magister en Seguridad y Salud en el Trabajo



Tabla de Contenido

1. Introducción
2. Metodología
3. Resultados y Discusión
4. Conclusiones
5. Recomendaciones
6. Bibliografía
7. Invitación



1. Introducción

Cifras de mortalidad minera
en Colombia en el periodo
2005 a agosto del año 2020

Fuente ANM

TOTAL ACCIDENTES
MORTALES

1001

TOTAL MUERTES

1600

Subterránea

1.024

89,1 %

Cielo abierto

174

10,9 %

Carbón



Oro de filón



Oro de aluvión



Otros minerales



Esmeraldas



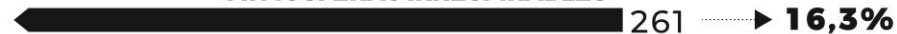
FALLAS GEOMECÁNCIAS



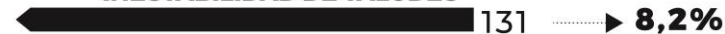
EXPLOSIONES



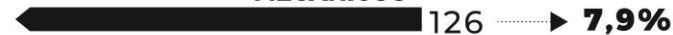
ATMOSFERAS IRRESPIRABLES



INESTABILIDAD DE TALUDES



MECÁNICOS



INUNDACIONES



OTRAS CAUSAS



CAIDAS DE DIFERENTE NIVEL



ELÉCTRICO

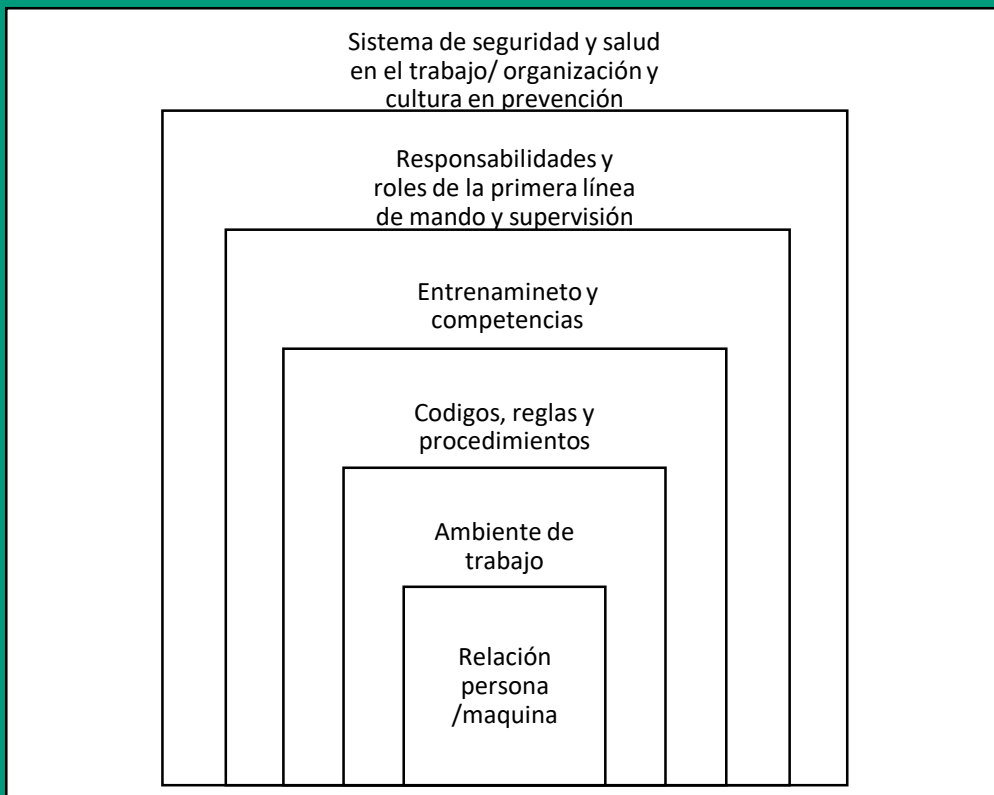




1. Introducción

Modelos de causalidad de accidentes

El error humano **no es la causa** de los accidentes, es la consecuencia de los factores que predisponen que se cometan



Factores que predisponen el error humano (Geoff et al,2009)

Los accidentes no son comúnmente causados por una sola falla o error si no por la confluencia de toda una serie o cadena de errores. [Ren et al, 2008]

El error humano basado en las competencias, es el más común de los comportamientos inseguros. (Patterson et al 2010).

Las condiciones inseguras de las reglas y regulaciones de una organización influyen en los comportamientos inseguros del operario, en las condiciones inseguras de los equipos y en las condiciones inseguras del ambiente de trabajo. [Zhang et al. 2016]

Los accidentes mineros por explosiones no deben ser atribuidos solo al error humano, fallas en los equipos o condiciones ambientales; son el resultado de la interacción entre diferentes factores de riesgo de un complejo sistema socio técnico.. [Zhang J. et al 2019]



1. Introducción

Objetivo de la investigación: Construir un modelo jerárquico de causalidad de accidentes mineros mortales en Colombia a partir de 100 investigaciones de accidentes mineros conducidos por la ANM entre el 2014 y agosto del año 2020.

Se utilizó ISM (interpretative structural modeling) para construir el modelo jerárquico de los factores de riesgo de los accidentes mineros mortales. El ISM es un medio por el cual se puede imponer orden a las complejas relaciones entre los elementos de un sistema. El método es interpretativo porque el grupo de juzgamiento decide donde y como los elementos están relacionados, estructural porque una estructura completa es extraída de las relaciones bases de un set de elementos. [Sushil, 2012.]

Estadística descriptiva para analizar variables de la base de datos de emergencias mineras.

Consideraciones éticas: Investigaciones de accidentes es información pública, investigación a título personal. Se tiene en cuenta la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. La presente investigación se considera sin riesgo, ya que se hará empelando datos secundarios.



1. Metodología

A. Análisis a través de estadística descriptiva de la información contenida en la base de datos de emergencias mineras

B. Selección de las 100 investigaciones de los accidentes mineros mortales

C. Revisión de cada uno de los informes de investigación de accidentes y alimentación de la base de datos de causalidad

D. Aplicación del enfoque del ISM

1) *Identificación de los factores de riesgo representativos*: De acuerdo con la frecuencia de los factores de riesgo identificados en las investigaciones.

2) *Construcción de la matriz de adyacencia de factores de riesgo para los accidentes mineros mortales (A)*: Se construye contestando la pregunta: ¿usted cree que el factor de riesgo i directamente influye en el factor de riesgo j ? Si el factor de riesgo F_i directamente afecta el factor de riesgo F_j , entonces $A(F_i, F_j) = 1$ en la matriz de adyacencia, de lo contrario $A(F_i, F_j) = 0$ ($1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq n$). La matriz fue juzgada por un grupo de seis expertos y la investigadora. la matriz final es la moda de las siete matrices.



1. Metodología

- 3) *Matriz de accesibilidad de factores de riesgo (R):* Se construye utilizando la regla de interacción transitiva basada en matriz de adyacencia. Si el factor de riesgo F_i puede vincularse con el factor de riesgo F_j y F_j puede vincularse con el factor de riesgo F_k , entonces el factor de riesgo F_i puede inevitablemente vincularse con F_k .
- 4) *Determinación de los niveles de partición del modelo jerárquico de los factores de riesgo y construcción el diagrama ISM.* ISM software, es un software creado por los doctores Dr. B. Broome y Dr. Mi Hogan.

Equipo de Juzgamiento de la matriz A

1	Juan Eugenio Monsalve.
2	Aura Yomaira Castro
3	Sindy Lorena Herrera
4	Juan Camilo Rojas
5	Snider Javier Molina
6	Yuver Dario Ramirez
7	Catalina Gheorghe



1. Resultados y discusión

Hallazgos significativos: Emergencias y mortalidades 2005 a agosto del 2020, fuente ANM, n= 1413, muertes =1600, Accidentes mortales = 1001, max = 73 muertes

Accidentes mineros por atmosferas irrespirables y por explosiones, $\bar{x} = 33,5$

Mes	f
abril	52
junio	43
marzo	41
mayo	38
agosto	35
julio	35
enero	32
febrero	31
octubre	27
diciembre	24
noviembre	23
septiembre	21

Municipio	f emergencias	f muertos
Cucunuba	80	104
Lenguazaque	68	68
Marmato	66	32
Guacheta	57	63
Sardinata	50	97
Amaga	48	127

Mineral	f (ilegal)	f (legal)
Carbón	250	833
Cobre	0	2
Esmeralda	20	11
Grava o arena	1	16
Oro aluvion	32	8
Oro filon	132	97
Sales minerales, caliza, otros	5	6

Se realizo prueba de asociación con el test del chi cuadrado entre las variables tipo de accidente, mineral, departamento, estado jurídico. Se encontró asociación significativa en todos los caso. $X^2 > 580$ en casi todos los casos



1. Resultados y discusión

Tabla 1. Factores de riesgo con las mayores frecuencias en las investigaciones

FACTOR DE RIESGO		FACTOR DE RIESGO	
JERARQUIA DE DEFENSA /AUSENTE (Categoría de defensa)		CONDICIONES DE LA TAREA O DEL ENTORNO (F. del Trabajo)	
F1	Entrenamiento inicial inadecuado	F13	No hubo supervisión para esta tarea
F2	Entrenamiento continuo	F14	Uso inadecuado de herramientas o equipos
F3	Evaluación de riesgos deficiente	F15	Evaluación de riesgos inadecuado
F4	Monitoreo de gases permanente	F16	No existe procedimientos o protocolo para la tarea
F5	Protocolos de seguridad	F17	Procedimiento inadecuado o no práctico
ACCIONES INDIVIDUALES O DE GRUPO		F18	Porcentaje elevado de gases peligrosos
F6	Supervisión inadecuada	F19	No se cuenta con un plan de ventilación o inapropiado
F7	Identificación deficiente de peligros y riesgos	F20	No se cuenta con un plan de sostenimiento
F8	Instrucción, orientación y/o entrenamiento insuficiente	F21	No se cuentan con condiciones de seguridad en techos, paredes y pisos
F9	No se cuenta con procedimiento para tareas críticas	CONDICIONES DE LA TAREA O DEL ENTORNO (F. humanos)	
F10	No se siguen las reglas de seguridad	F22	Estado emocional, sobre confianza
F11	Trabajador realiza actividad sin conocer los riesgos a los que está expuesto	F23	Creencia de comportamiento (ganar-riesgos)
F12	Percepción equivocada de los peligros	F24	Conocimiento incompleto sobre los riesgos de la tarea
FACTORES ORGANIZACIONALES			
F25	Liderazgo y responsabilidad	F29	Gestión del riesgo en plan de Sostenimiento
F26	Sistema de Gestión en SST	F30	Gestión del riesgo en plan de Ventilación
F27	Capacitación	F31	Gestión del riesgo en Tareas de Alto Riesgo
F28	Procedimientos de Trabajo Seguro		

I

Porcentaje elevado de gases peligrosos (F18)

Procedimientos de Trabajo Seguro (F28)

Uso inadecuado de herramientas o equipos (F14)

no se cuenta con condiciones de seguridad en techos, paredes y pisos (F21)

II

Evaluación de riesgos deficiente (F3)

Procedimiento inadecuado o no práctico (F17)

Percepción equivocada de los peligros (F12)

No se siguen las reglas de seguridad (F10)

Trabajador realiza actividad sin conocer los riesgos a los que está expuesto (F11)

III

No se cuenta con procedimientos para tareas críticas (F9)

Capacitación (F27)

IV

Monitoreo de gases permanente (F4)

Conocimiento incompleto sobre los riesgos de la tarea (F24)

No existe procedimiento o protocolo para la tarea (F16)

Gestión del riesgo en tareas de alto riesgo (F31)

Creencia de comportamiento (ganar - riesgos) (F23)

Estado emocional, sobre confianza (F22)

V

No se cuenta con plan de ventilación o inapropiado (F19)

Entrenamiento inicial inadecuado (F1)

Instrucción, orientación y/o entrenamiento insuficiente (F8)

Protocolos de seguridad (F5)

No se cuenta con un plan de sostenimiento (F20)

No hubo supervisión para esta tarea (F13)

VI

Gestión del riesgo en Plan de Ventilación (F30)

Entrenamiento continuo (F2)

Evaluación de riesgos inadecuada (F15)

Supervisión inadecuada (F6)

Gestión del riesgo en Plan de Sostenimiento (F29)

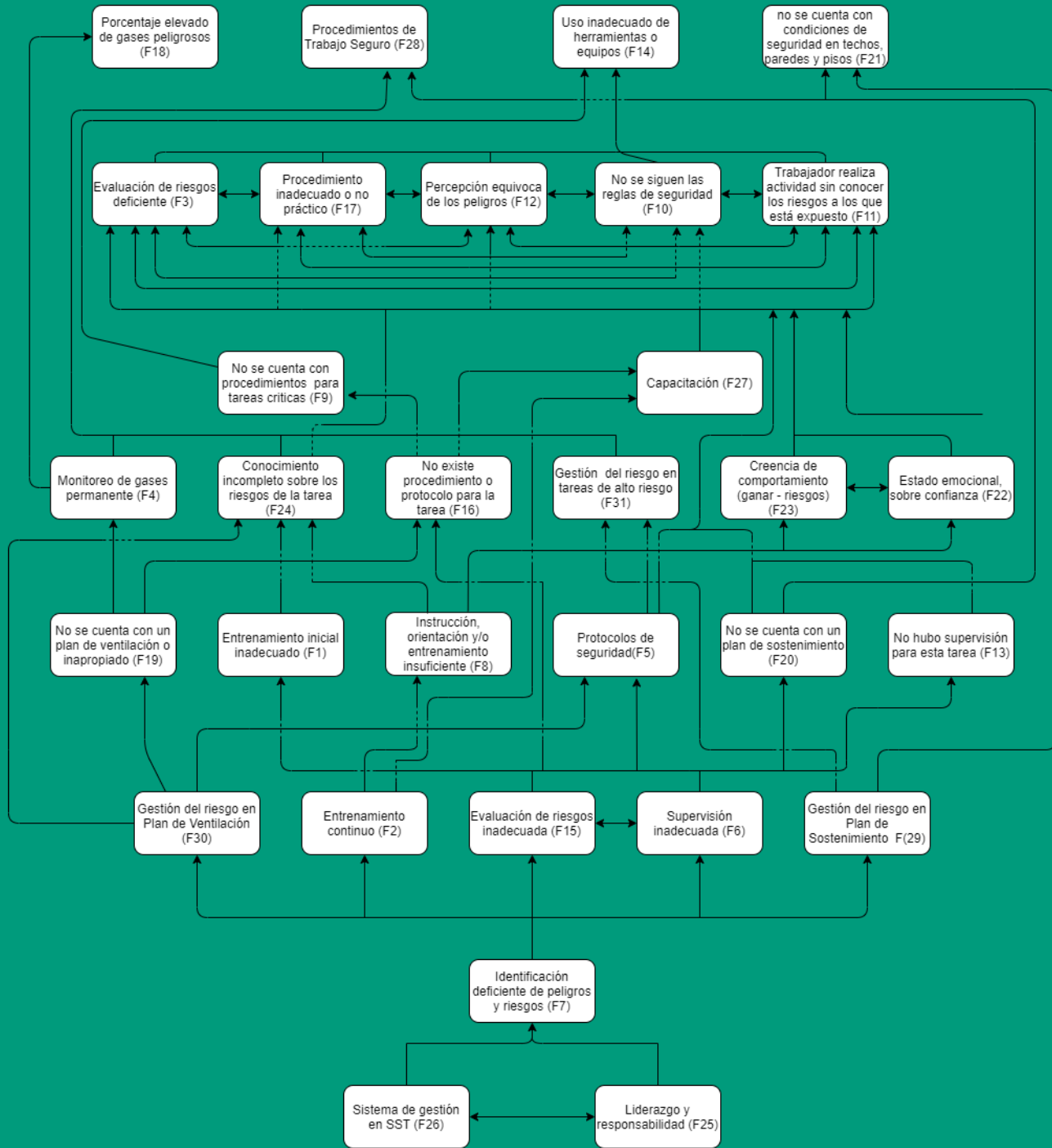
VII

Identificación deficiente de peligros y riesgos (F7)

VIII

Sistema de gestión en SST (F26)

Liderazgo y responsabilidad (F25)





1. Conclusiones

1. En el estudio se identificaron 31 factores de riesgo representativos en la ocurrencia de accidentes mineros mortales.
2. Dos de los factores de riesgo están en la raíz de la causalidad, el SG-SST y el liderazgo y responsabilidad. El compromiso y responsabilidad de todos los niveles, especialmente de los operadores mineros es necesario para la prevención de accidentes. Se debe garantizar que exista además un representante técnico competente.
3. Cuatro factores son causas directas o inmediatas para la ocurrencia de los accidentes: 1. No se cuentan con condiciones de seguridad en techos, paredes y pisos, 2. porcentaje elevado de gases peligrosos (ambos factores del ambiente de trabajo), 3. Uso inadecuado de herramientas o equipos (es un factor de trabajo relacionado con el análisis de trabajo seguro, con una adecuada evaluación de riesgos y peligros) y 3. Procedimientos de trabajo seguro.



1. Conclusiones

4. Se encontraron 25 causa indirectas. La secuencia de los factores de riesgo en el árbol muestra como las decisiones incorrectas y las condiciones ambientales desfavorables están condicionadas, influenciadas por el conjunto de las reglas de juego del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Los riesgos no son inherentes, ni el error humano la causa en la cual debe concluir una investigación es el inicio.

5. El ISM es un modelo que representa con claridad la estructura y las relaciones entre los componentes de un sistema. Sin embargo es pobre para identificar el nivel de influencia y sentido positivo o negativo de un factor de riesgo sobre otro, por lo tanto siempre es importante complementar el análisis con otros modelos.

6. Asociados a fallas geomecánicas (como derrumbes, caída de roca, colapso del frente) han muerto 453 personas, debido a explosiones han muerto 402 personas. Fallas geomecánicas y explosiones suman el 53.6% de las muertes. Las fallas geomecánicas son el accidente más frecuente en la minería en Colombia, 493 registros que equivalen al 34.9% y las explosiones el accidente más catastrófico, solo en cinco explosiones han muerto 148 personas. De las 182 explosiones subterráneas que se han presentado, 145 han estado asociadas a metano y/o polvo de carbón.



1. Recomendaciones

1. Son indispensables en la gestión de los riesgos mineros los controles asociados a garantizar una atmósfera minera segura, el control de polvo de carbón y la prevención de accidentes por falla geomecánicas. Todo lo cual debe tener una base de diseño ingenieril, seguimiento permanente y la capacitación de los trabajadores.
2. Los accidentes mineros y las muertes si pueden prevenirse, si se asume la responsabilidad de los operadores mineros, se realiza una adecuada y acertada identificación de riesgos y peligros, se implementan controles de ingeniería como plan de ventilación y sostenimiento, programas de mantenimiento de equipos y herramientas, se realiza supervisión entendida como un seguimiento para la toma de decisiones y se imparte entrenamiento continuo a los trabajadores que los lleven a adquirir habilidades para su trabajo y una adecuada percepción de riesgos y se establecen procedimientos adecuados.



1. Recomendaciones

3. El rol de todas las partes interesadas es fundamental para un sector minero con aun fuerte cultura de prevención de los accidentes. Los profesionales sector deben actuar con rectitud y colocar en la balanza los valores (vida vs producción), debemos aportar desde la ingenieríaa la solución de problemas. Universidades compartidas con formar estos profesionales y con investigar. La construcción de conocimiento a través la investigación fundamental para controlar lo riesgo mineros y Colombia debe avanzar en tener investigación continua, una política de formalización minera que tanga como uno de su pilares la seguridad minera. Una autoridad minera muy técnica, diligente y anticipada a las situaciones que puedan generar accidentes.



6. Bibliografía

Aven, T. (n.d). On how to define, understand and describe risk. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(6), 623-631.

Chen, H., Qi, H., & Feng, Q. (2013). Characteristics of direct causes and human factors in major gas explosion accidents in Chinese coal mines: Case study spanning the years 1980–2010. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(1), 38–44.

Feyer, A., & Williamson, A. (1991). A classification system for causes of occupational accidents for use in preventive strategies. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 17(5), 302-311. Retrieved March 29, 2020, from www.jstor.org/stable/40965909

Heyman, B., & Brown, P. (2013). Perspectives on ‘the lens of risk’ interview series: interviews with Tom Horlick-Jones, Paul Slovic and Andy Alaszewski. *Health, Risk & Society*, 15(6/7), 494-510.

Kauffman, S.A. (1993). *The origins of order: Self-organization and selection in evolution*. Oxford: Oxford University Press.

Kong, B., Li, Z., Yang, Y., Liu, Z., & Yan, D. (2017). A review on the mechanism, risk evaluation, and prevention of coal spontaneous combustion in China. *Environmental science and pollution research international*, 24(30), 23453–23470.

Mullen, J. (2004). Investigating factors that influence individual safety behavior at work. *Journal Of Safety Research*, 35(3), 275-285. doi:10.1016/j.jsr.2004.03.011



6. Bibliografía

- Shen, L. Y., Song, X. N., Wu, Y., Liao, S. J., & Zhang, X. L. (2016). Interpretive structural modeling-based factor analysis on the implementation of emission trading system in the Chinese building sector. *Journal of Cleaner Production*, 127, 214–227.
- Simpson, G., Horberry, T. & Joy, J. (2009). Understanding human error in mine safety. Farnham: Ashgate.
- Tong, R., Yang, Y., Ma, X., Zhang, Y., Li, S., & Yang, H. (2019). Risk Assessment of Miners' Unsafe Behaviors: A Case Study of Gas Explosion Accidents in Coal Mine, China. *International journal of environmental research and public health*, 16(10), 1765. <https://doi.org/10.3390/ijerph16101765>
- Wang, J., & Yan, M. (2019). Application of an Improved Model for Accident Analysis: A Case Study. *International journal of environmental research and public health*, 16(15), 2756.
- Wang, X.M., Fu, G., Zhu, K., Yin, W. T., Liu, X. Y., Shao, P. C., & Li, R. F. (2015). Causes analysis of gas explosion accident from perspective of equipment and facilities classification. *Safety in Coal Mines*, 46(11), 241–244 (in Chinese).
- Xue, Y., Liu, Y. L., & Zhang, T. T. (2013). Research on formation mechanism of coupled disaster risk. *Journal of Natural Disasters*, 22(2), 44–50 (in Chinese).
- Yin, W. T., Fu, G., Yang, C., Jiang, Z. N., Zhu, K., & Gao, Y. (2017). Fatal gas explosion accidents on Chinese coal mines and the characteristics of unsafe behaviors: 2000–2014. *Safety Science*, 92, 173–179.
- Zhang, J., Xu, K., You, G., Wang, B. and Zhao, L. (2019), Causation Analysis of Risk Coupling of Gas Explosion Accident in Chinese Underground Coal Mines. *Risk Analysis*, 39: 1634-1646.



IV ENCUESTRO NACIONAL DE SOCORREDORES MINEROS
"Prevención y Control de Explosiones Subterráneas"

Conectados en línea para Salvar Vidas

NOVIEMBRE 27 /2020





El empleo
es de todos

Mintrabajo

Gracias

Contacto:

Gloria Catalina Gheorghe
gloria.gheorghe@anm.gov.co