

Factores personales y organizacionales en fallas por error humano: análisis en procesos críticos de minería aurífera venezolana

Personal and organizational factors in human error failures: analysis in critical processes of Venezuelan gold mining

Varela, Andrónico^{1*}; Labrador, Rafael²

¹Universidad Nacional Experimental del Táchira,
San Cristóbal, Táchira, Venezuela.

²Universidad de Los Andes,
San Cristóbal, Táchira, Venezuela.

*avarelac01@gmail.com

Resumen

La evolución de los procesos industriales ha traído consigo un aumento en sus niveles de productividad y calidad, pero también ha generado nuevas exigencias operacionales y riesgos que pueden afectar el cumplimiento de metas cada vez más exigentes, así como la seguridad de personas, instalaciones y medio ambiente. Esto se pone de manifiesto en las empresas de minería aurífera ubicadas en el Arco Minero del Orinoco, un entorno caracterizado por procesos con bajos niveles de automatización, altos riesgos operativos y condiciones laborales retadoras. La investigación desarrollada se centró en el estudio de los factores personales y organizacionales asociados a las fallas por error humano ocurridas en los procesos críticos de las empresas mineras de la zona. La metodología, enmarcada en el paradigma positivista, bajo un enfoque cuantitativo con diseño bibliográfico de tipo documental descriptivo, partió del análisis de las fallas documentadas en los registros del área de operaciones de la planta, para determinar los puestos de trabajo críticos, las fallas de mayor impacto y las causas raíz asociadas a errores humanos, las cuales se categorizaron y analizaron bajo el marco de la neurociencia y la ingeniería. Los resultados indican que los procesos de Extracción Primaria y Molienda son los más críticos, las causas raíz de los errores humanos se concentran en la omisión de instrucciones (48%), la falta de competencias (41%) y la carencia de procedimientos documentados (30%). La investigación concluye que el error humano en el contexto minero no es un evento aislado, sino una propiedad emergente de un diseño sociotécnico precario que afecta la conducta del personal responsable de la operación y el mantenimiento de los procesos en términos de actitud y aptitud, haciéndolos vulnerables a errores por desacoplamiento perceptivo y brechas de competencias.

Palabras clave: factores personales y organizacionales, error humano, empresa minera.

Abstract

The evolution of industrial processes has led to increased levels of productivity and quality; however, it has also generated new operational demands and risks that can jeopardize the achievement of increasingly stringent goals, as well as the safety of personnel, facilities, and the environment. This is particularly evident in gold mining companies located in the Orinoco Mining Arc, an environment characterized by low levels of automation, high operational risks, and challenging labor conditions. The present research focused on studying the personal and organizational factors associated with human error failures occurring in the critical processes of mining companies in the region. The methodology, framed within the positivist paradigm under a quantitative approach with a descriptive documentary-bibliographic design, began with an analysis of documented failures in plant operations records. This allowed for the identification of critical job positions, high-impact failures, and root causes associated with human error, which were categorized and analyzed through the lenses of neuroscience and engineering. The results indicate that Primary Extraction and Grinding are the most critical processes. The root causes of human errors are primarily concentrated in the omission of instructions (48%), lack of competencies (41%), and

the absence of documented procedures (30%). The research concludes that human error in the mining context is not an isolated event, but rather an emergent property of a precarious sociotechnical design. This design adversely affects the conduct of personnel responsible for operations and maintenance in terms of attitude and aptitude, making them vulnerable to errors caused by perceptual decoupling and competency gaps.

Keywords: personal and organizational factors, human error, mining company.

1 Introducción

Las exigencias a las que están sometidos los procesos industriales en la actualidad demandan la mejora continua de sus sistemas, a fin de alcanzar mayores niveles de confiabilidad, productividad y seguridad. Las instalaciones industriales hoy en día están equipadas con dispositivos y sistemas que permiten la automatización y el control avanzado de los procesos, pero el análisis de accidentes en las organizaciones revela que, para alcanzar mayores niveles de confiabilidad, aún se requiere una amplia mejora en lo que respecta a la seguridad, particularmente en el área de factores humanos y organizacionales (Zarei et al., 2021).

Diversas investigaciones señalan que la confiabilidad de un sistema industrial está afectada directa o indirectamente, entre un 70% y un 90%, por la influencia de las desviaciones en la gestión del ser humano, las cuales surgen como resultado de la interacción entre múltiples factores, algunos de naturaleza personal y otros de naturaleza organizacional. Esto es particularmente importante en sectores industriales de alto riesgo, como el minero, donde la mayor parte de los accidentes se relacionan con acciones y decisiones humanas en la cadena operativa, y fallas latentes en la organización (González et al., 2022; Labrador et al., 2012; Leveson, 2020; NASA, 2023; Woods y Hollnagel, 2017).

En Venezuela, la explotación aurífera en el Arco Minero del Orinoco se desarrolla en un contexto de baja automatización y elevada hostilidad ambiental, con espacios de trabajo carentes de condiciones ergonómicas adecuadas, servicios básicos deficientes y personal con escasa formación técnica (Salomón et al., 2018); esto sitúa al recurso humano como el eje central de la confiabilidad. La presente investigación analiza cómo la interacción entre la biología del trabajador y el diseño organizacional precipita el error humano en procesos críticos.

2 Marco Teórico

2.1 Perspectiva Sociotécnica del Error Humano.

El error humano no debe conceptualizarse como una causa aislada, sino como un síntoma de problemas sistémicos profundos, en el contexto industrial minero, el

éxito y el error provienen de la misma fuente: la capacidad de adaptación ante un sistema impredecible. Siguiendo el modelo de Reason, las fallas latentes (decisiones gerenciales, diseño de procedimientos, características del puesto de trabajo) crean "agujeros" en las defensas de la organización que permiten que el error activo cometido por la persona (por desatención, desconocimiento u omisión) se materialice en una falla del proceso o en un accidente (Reason, 1990; Hollnagel, 2021; Dekker, 2014)

2.2 Fundamentos Neurocognitivos del Desempeño.

La conducta humana es el resultado emergente de circuitos neuronales que procesan información sensorial, motora y asociativa. El sistema de ganglios basales almacena rutinas automáticas que permiten al cerebro ahorrar energía, mientras la corteza prefrontal gestiona la toma de decisiones consciente. El error ocurre cuando el sistema de hábitos toma el control en situaciones que requieren supervisión lógica, cuando las competencias del trabajador se ven superadas por las demandas de las situaciones que enfrenta, o cuando el estrés inunda el cerebro de cortisol, inhibiendo la flexibilidad cognitiva y provocando respuestas rígidas (Labrador et al., 2012; Kandel et al., 1999, 2021, Inzlicht y Schmeichel, 2012; Purves et al., 2018; Duhigg, 2012; Gehring et al., 2012; Posner, 2012).

2.3 Motivación, Atención y Error Humano.

La motivación depende de la vía mesocorticolímbica; niveles óptimos de dopamina energizan la corteza prefrontal para mantener el foco atencional. Sin embargo, un desequilibrio entre el esfuerzo exigido y la recompensa percibida genera una degradación del control cognitivo. Este fenómeno, conocido como "desacoplamiento perceptivo", provoca que el cerebro deje de procesar estímulos externos críticos para priorizar pensamientos internos, debilitando la señal de Negatividad Relacionada al Error (ERN) y precipitando fallas por desatención (Smallwood y Schooler, 2015; Gehring et al., 2012; Labrador et al., 2012)

2.4 Competencias y Error Humano.

La competencia es un constructo multidimensional que articula recursos personales (conocimientos, habilidades y actitudes) con el contexto profesional para resolver problemas

específicos de manera eficaz. El desempeño humano confiable depende de la aptitud (saber y poder), la cual está determinada por el nivel de desarrollo de las competencias requeridas para el desempeño de la función en el medio laboral. Bajo la perspectiva de la neurociencia, la pericia técnica reside en la consolidación de redes neuronales y en la memoria de largo plazo. Cuando existe un déficit aptitudinal, el cerebro del trabajador no ha desarrollado los esquemas mentales necesarios para interpretar señales críticas, lo que genera una "falla de diseño" en el sistema sociotécnico. La falta de formación técnica impide que estas redes neuronales se activen de forma automática y segura, el error humano emerge entonces cuando la demanda de la tarea supera la capacidad biológica y cognitiva del operario debido a la ausencia de herramientas intelectuales para la ejecución (Alles, 2016; Lazzati, 2012; Le Boterf, 2001; Boyatzis, 2008; Tobón, 2013; Dolan, 2007; Bubb, 2005; Labrador et al., 2012; Kandel et al., 1999, 2021).

2.5 Precondiciones Organizacionales y Ergonómicas.

La ergonomía cognitiva define los límites de la carga mental que una interfaz puede imponer sin superar la capacidad de la memoria de trabajo. En organizaciones con "opacidad sistémica", donde no hay visibilidad clara de los límites operativos, el trabajador es forzado a improvisar. El diseño del puesto de trabajo actúa así como un inductor de variabilidad: si la organización falla en proveer condiciones ergonómicas básicas, procedimientos claros, herramientas aptas; el error humano se convierte en una consecuencia inevitable del diseño y no solo en una falla individual (Cañas, 2011; Dekker, 2014; API770, 2001).

3 Metodología

La investigación desarrollada, enmarcada en el paradigma positivista, bajo un enfoque cuantitativo, tiene un diseño bibliográfico de tipo documental descriptivo, donde las fallas ocurridas en los puestos de trabajo críticos de la empresa se tomaron de los registros de paradas no programadas del proceso durante los dos últimos años, para posteriormente ser analizadas utilizando la técnica del análisis de causa raíz.

La identificación de las fallas que afectan a los procesos de la empresa se llevó a cabo mediante la revisión de datos secundarios contenidos en los registros históricos de fallas, así como en los informes especiales elaborados por el área de operaciones ante la ocurrencia de fallas. Para la jerarquización de los procesos y de las fallas ocurridas se utilizó la técnica del Análisis de Pareto, para la clasificación de los procesos y de sus fallas según su frecuencia e impacto se utilizaron técnicas de jerarquización basadas en el análisis de riesgo, y sobre las fallas de alto impacto identificadas se aplicó la técnica del Análisis de Causa Raíz, a fin de identificar las causas raíz de las fallas, tanto las humanas como las organizacionales.

4 Discusión y Resultados

Una vez recopilada la información proveniente de los históricos de fallas del área de operaciones, para jerarquizar la vulnerabilidad del sistema se aplicó el modelo de Criticidad Total por Riesgo CTR (Parra et al., 2021), definido como el producto de la Frecuencia de Fallas (FF) por la Consecuencia (C). La frecuencia se estimó en una escala de 1 a 4 basada en el volumen de fallas del bienio 2023-2024. La consecuencia se calculó mediante la suma ponderada del impacto en la operación, costos de mantenimiento e impacto en seguridad, higiene y ambiente.

Como se observa en la Matriz CTR (Fig. 1), los procesos de Extracción Primaria (FF: 4; C: 17; CTR: 68) y Molienda (FF: 3; C: 18; CTR: 54) resultaron ser los nodos críticos. Estos procesos concentran la mayor carga cognitiva y presentan una baja predictibilidad tecnológica, lo que incrementa la probabilidad de error inducido por el entorno.

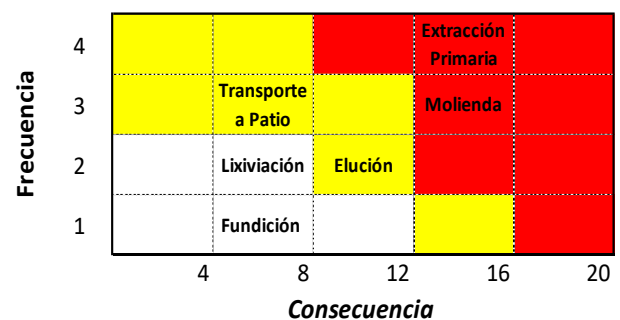


Fig. 1. Matriz CTR.

Tras definir los procesos críticos, se revisaron los registros históricos para identificar los equipos con mayor incidencia en la indisponibilidad operativa. Se determinó que, para la Extracción Primaria, los cargadores frontales acumularon la mayor cantidad de eventos. Para la Molienda, el molino de bolas y la bomba de pulpa fueron los equipos más afectados. Se seleccionaron nueve fallas recurrentes que acumulaban entre el 83% y el 87% del tiempo fuera de servicio en sus respectivos equipos (Tabla 1) para la aplicación del análisis profundo.

Tabla 1. Fallas de alto impacto en sistemas críticos.

Procesos Críticos	Equipos Críticos	Fallas de alto impacto	% del tiempo total de falla del equipo
Extracción Primaria	Cargador frontal	Equipo no enciende	84%
		Pérdida de potencia en pala	
		Pérdida de potencia desplazamiento	
Molienda	Molino de bolas	Reducción de capacidad de molienda	87%
		Tamaño de grano fuera de especificación	
		Molino no enciende	
	Bomba de pulpa	Bomba no levanta presión	83%
		Bomba no enciende	
		Fuga de pasta	

El ACR fue ejecutado por un equipo multidisciplinario empleando el método de validación de hipótesis. Por

ejemplo, para el evento "cargador frontal no enciende", se formularon hipótesis de primer nivel (bomba de aceite, sistema eléctrico, combustible) que fueron aceptadas o descartadas mediante evidencia física y registros de mantenimiento. Este proceso iterativo permitió rastrear el evento hasta encontrar las causas humanas y latentes, como se ilustra en el diagrama para la falla en la bomba de aceite del cargador frontal.

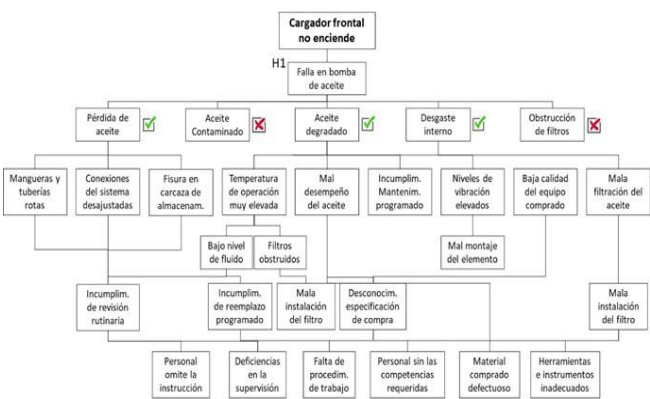


Fig. 2. Análisis causa raíz para falla en bomba de aceite.

Los resultados del ACR se procesaron estadísticamente para identificar los patrones de ocurrencia, luego las causas se agruparon en una taxonomía de tres categorías basadas en su origen: la Motivacional-Actitudinal (el “querer”), que incluye la omisión de instrucciones y la falta de atención, presente en el 48% y el 25% de las fallas respectivamente; la Ergonómica-Cognitiva (relacionada con el “saber” y el “poder”) referida a la falta de competencias técnicas y la opacidad y condiciones de sobrecarga del sistema que impide la aplicación de las competencias del personal, presente en el 41% de las fallas. Finalmente está la categoría Organizacional-Laboral, que incorpora al diseño organizacional como inductor de variabilidad en el desempeño laboral, lo cual se traduce en fallas por ausencia de procedimientos de trabajo, presente en el 30% de los eventos, las condiciones ergonómicas no adecuadas, presente en el 28% de las fallas, y la supervisión deficiente, presente en el 22%. La clasificación de las causas raíz se presenta a continuación en la Tabla 2.

Este agrupamiento evidencia que el error activo cometido por la persona, disparado por una desconexión con la realidad del puesto de trabajo por bajos niveles de motivación (actitud) y falta de formación (aptitud), no es contenido por las barreras organizacionales que la empresa debe proveer en términos de procedimientos de ejecución documentados, dotación de equipos y materiales adecuados para la ejecución de las actividades, supervisión efectiva, por lo que la acción humana incorrecta pasa las ventanas de contención organizacional generando una falla con consecuencias significativas que pueden afectar la producción, la calidad, los costos, la seguridad de personas, instalaciones, comunidades y medio ambiente.

Tabla 2. Clasificación de las causas raíz.

	Tipo de causa raíz		Causa raíz	% de fallas en las que se encuentra presente	Nivel de Impacto
1	Conductual	Actitud	Personal no sigue las instrucciones o no cumple los procedimientos	48%	A
2	Conductual	Aptitud	Personal no tiene las competencias requeridas para ejecutar las actividades	41%	
3	Organizacional	Documentación de procesos	Ausencia de procedimientos y estándares de trabajo documentados	30%	
4	Organizacional	Ergonomía	Condiciones ergonómicas no adecuadas para ejecutar las actividades	28%	M
5	Conductual	Actitud	Falta de atención en el personal que ejecuta la actividad	25%	
6	Organizacional	Supervisión	Deficiencias en la supervisión del personal ejecutor	22%	
7	Organizacional	Recursos	Herramientas, instrumentos y equipos inadecuados o no disponibles	19%	B
8	Organizacional	Comunicación	Líneas de autoridad y comunicación poco claras	10%	
9	Externo	Social	Interrupción de actividades por conflictos en la zona (externos)	5%	
10	Organizacional	Recursos	Personal insuficiente para los requerimientos de la actividad	4%	B
11	Externo	Medio Ambiente	Interrupción de la operación por condiciones ambientales	4%	
12	Externo	Materiales	Material defectuoso	2%	

5 Conclusiones

La investigación permite concluir que la vulnerabilidad que presentan las personas que laboran en los procesos críticos de la minería aurífera no es un fenómeno estocástico, sino una propiedad emergente de un diseño sociotécnico precario sumergido en un entorno hostil. En este contexto el error humano puede definirse como una acción que afecta el desempeño de los procesos críticos de las empresas de minería aurífera, y a su vez como una respuesta adaptativa fallida ante la variabilidad de un sistema minero impredecible, donde la acción u omisión del individuo es inducida por factores como la degradación del control cognitivo por problemas de motivación y atención (actitudinal), por un vacío del conocimiento del personal debido a una falta de capacitación para desarrollar los esquemas mentales que le permitan interpretar correctamente señales críticas y tomar decisiones acertadas (aptitudinal), y por un entorno laboral con fallas latentes que no ofrece guías de acción claras ni condiciones ergonómicas adecuadas (organizacional).

El error humano representa un drenaje patrimonial crítico, con pérdidas directas de USD 488.130 anuales en procesos críticos y un déficit productivo de 45,6 Kg de metal al año. Esta "entropía organizacional" consume los recursos que deberían invertirse en la propia mitigación del error, creando un bucle de retroalimentación negativa.

La gestión de la confiabilidad en este sector debe enfocarse en la creación de sistemas resilientes que reconozcan los límites neurocognitivos del ser humano y mitiguen las fallas latentes del entorno organizacional. La seguridad y la productividad no son variables contrapuestas, sino el resultado emergente de un sistema sociotécnico en equilibr

Referencias

- Alles, M. (2016). *Diccionario de Competencias. La Trilogía Tomo I*. Buenos Aires: Granica S.A.
- Andrade, M., Chong, M., Cobo, E. (2021). Importancia de la motivación en los entornos laborales de las empresas. *Revista Tecnológica, Ciencias y Educación Edwards Deming*, 5(2), 101-115.
- Acquah, A., Kwabena, T., Naa, E., Otoo, B. (2021). Literature review on theories of motivation. *International Journal of Economic and Business Review*, 9(5), 25-29.
- API Publication 770 (2001). *A Manager's Guide to Reducing Human Errors Improving Human Performance in the Process Industries*. USA: American Petroleum Institute.
- Boyatzis, R. (2008). Competencies in the 21st century. *Journal of Management Development*, 27(1), 5-12.
- Bubb, H. (2005). Human reliability: A key to improved quality in manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 15(4), 353-368.
- Cañas, J. (2011). *Ergonomía cognitiva*. Bogotá: Editorial Médica Panamericana.
- Dekker, S. (2014). *The field guide to understanding 'human error'*. (3.^a ed.). USA: Routledge.
- Díaz, A., Benítez, R., Del Castillo, A., Cabrera, J., Villar, L., Rodríguez, A. (2021). Formulación de un nuevo concepto de confiabilidad operacional. *Ingeniare Revista Chilena de Ingeniería*, 29(1).
- Dolan, S., Valle, R., Jackson, S., Schuler, R. (2007). *La gestión de los recursos humanos: Preparando profesionales para el siglo XXI* (3.^a ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Gehring, W., Liu, Y., Orr, J., Carp, J. (2012). *The error-related negativity*. En S. J. Luck y E. S. Kappenman (Eds.), *The Oxford handbook of event-related potential components* (pp. 231-292). USA: Oxford University Press.
- González E., Cardona, M., Hernández, C. (2019). Condiciones de seguridad y salud en el trabajo, una revisión teórica desde la minería colombiana. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, 24(87), 884-900.
- Hollnagel, E. (2021). *Synesis: The unification of productivity, quality, safety, and reliability*. USA: Routledge Taylor and Francis Group.
- Inzlicht, M. Schmeichel, B. (2012). What is ego depletion? Toward a mechanistic revision of the self-control resource model. *Perspectives on Psychological Science*, 7(5), 450-463.
- Kandel, E., Koester, J., Mack, S., Siegelbaum, S. (2021). *Principles of neural science* (6th ed.). USA: McGraw-Hill Education.
- Kandel, E., Schwartz, J., Jessell, T. (1999). *Neurociencia y Conducta*. Barcelona: Pearson Prentice Hall.
- Labrador, R., Fernández, L., Chacón, C., Nava, M., (2012). Confiabilidad humana en los procesos productivos - Un enfoque integrado. http://r2menlinea.com/w3/PT/PT007_Confiabilidad_Humana_Un_Enfoque_Integrado
- Lacabana, M. (2012). Impactos socioambientales de la minería del oro en Venezuela. De la apertura económica en los noventa a la renacionalización actual. *Theomai*, 25, 148-156.
- Lazzati, S. (2012). *El cambio del comportamiento en el trabajo*. Buenos Aires: Granica
- Le Boterf, G. (2001). *Ingeniería de las competencias*. Barcelona: Gestión 2000.
- Leveson, N. (2020). *Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety*. USA: The MIT Press.
- National Aeronautics and Space Administration. (2023). NASA System Safety Handbook (NASA/SP-2023-1010). <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/12/20231212-nasa-sp-2023-1010-system-safety-handbook.pdf>
- Occupational injuries statistics from ILOSTAT. International Labour Organization. <https://ilostat.ilo.org/topics/occupational-injuries/>
- Parra, C., Crespo, A., González-Prida, V., Tino, G. Parra, J., Viveros, P., Rodríguez, F. (2021). Metodología básica de análisis de riesgo para evaluar la criticidad de activos industriales ligeros. *Industria Química*, (94), 64-70.
- Raisg y SOS Orinoco. (2023). Venezuela ha perdido más de un millón de hectáreas de bosques y sabanas en solo dos décadas. <https://www.raisg.org/es/radar/venezuela-ha-perdido-mas-de-un-millon-de-hectareas-de-bosques-y-sabanas-en-solo-dos-decadas-informe/>
- Salomón, L., Ortiz, A., Cordero, V. (2018). Productividad del proceso minero, más allá de la producción. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 22(89), 04-16.
- Smallwood, J., Schooler, J. (2015). The science of mind wandering: Empirically navigating the stream of consciousness. *Annual Review of Psychology*, 66, 487-518
- Tobón, S. (2013). *Formación integral y competencias: Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación* (4.^a ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Woods, D., Hollnagel, E. (2017). *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*. USA: CRC Press.
- Zarei, E., Khan, F., Abbassi, R. (2021). Importance of human reliability in process operation: a critical analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 211(1), Julio 2021.

Recibido: 3 de marzo de 2026

Aceptado: 5 de junio de 2026

Varela, Andrónico: MSc Ingeniería Industrial, Esp. Gcia. de Producción, Ingeniero Mecánico, Docente Pregrado y Postgrado, Vicepresidente de Grupo Empresarial con operaciones en Agroindustria, Minería, Petróleo y Servicios: avarel  <https://orcid.org/0000-0001-8823-7739>

Labrador, Rafael: MSc, PhD Neurociencias, Médico Cirujano, Docente de Pregrado y Postgrado, Asesor Mayor en Confiabilidad Humana y Neuroeducación, Terapeuta Cognitivo Conductual. Correo electrónico: rafael.labrador1@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-4148-1774>