

ESCUELA DE POSTGRADO NEUMANN

**MAESTRÍA EN
GESTIÓN MINERA Y MEDIO AMBIENTE**



“Propuesta de un modelo para la gestión de incidentes en el sector minero peruano, basado en el desarrollo de redes neuronales artificiales. Arequipa – Perú 2021”

**Trabajo de Investigación
para optar el Grado a Nombre de la Nación de:**

**Maestro en
Gestión Minera y Ambiental**

Autor:
Bach. Tummy Gómez, Emmanuel Hernán

Docente Guía:
MBA. Díaz Zelada, Yvan

**TACNA – PERÚ
2021**

“El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en este trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor”

DEDICATORIA

Este trabajo también se lo debo a mis queridos Padres: Benito e Isabel a pesar que ya no están conmigo desde la eternidad me guían para alcanzar cada logro. Hoy los abrazo con el alma.

A dios por regalarme esta vida, a mi tesorito Sharif Adhemir quien me motiva para ser cada día mejor. Te amo con todas mis fuerza hijo mío.

Emmanuel Hernán

AGRADECIMIENTO

He agradecer a la Escuela de Postgrado Neumann, a la plana de docentes quienes compartieron sus conocimientos sus experiencias y aportes, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de mi trabajo de investigación.

Y a mí asesor por sus valiosos aportes, comentarios, sugerencias durante el desarrollo de mi trabajo de investigación, de esta manera se ha logrado un trabajo impecable.

INDICE DE GENERAL

| | |
|--|------|
| INDICE DE GENERAL | v |
| ÍNDICE DE FIGURAS. | x |
| RESUMEN..... | xiii |
| INTRODUCCIÓN..... | xv |
| 1. CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... | 17 |
| 1.1. Título del tema | 17 |
| 1.2. Planteamiento del problema | 17 |
| 1.3. Objetivos de investigación | 18 |
| 1.3.1. Objetivo General | 18 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos..... | 18 |
| 1.4. Justificación de la investigación..... | 18 |
| 1.4.1. Justificación teórica..... | 18 |
| 1.4.2. Justificación metodológica | 19 |
| 1.4.3. Justificación practica | 19 |
| 1.5. Metodología de la investigación..... | 20 |
| 1.5.1. Tipo y diseño de Investigación..... | 20 |
| 1.5.2. Población y muestra | 21 |

| | | |
|--------|--|----|
| 1.5.3. | Técnicas e instrumentos | 21 |
| 1.5.4. | Tratamiento y procesamiento de la información | 22 |
| 1.6. | Alcances y limitaciones..... | 22 |
| 1.6.1. | Alcance | 22 |
| 1.6.2. | Limitaciones | 22 |
| 2. | CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO | 23 |
| 2.1. | Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo..... | 23 |
| 2.2. | Modelos de los sistemas de gestión de seguridad | 23 |
| 2.2.1. | Modelos secuenciales (Teoría de las Fichas de Domino, Heinrich)..... | 23 |
| 2.2.2. | Modelos epidemiológicos (Reason) | 24 |
| 2.2.3. | Modelos de Frank Bird..... | 25 |
| 2.2.4. | Modelos sistémicos avanzados Docker. | 26 |
| 2.2.5. | National Occupational Safety Association (NOSA) | 27 |
| 2.2.6. | E.I. Du Pont de Nemours and Company (DUPONT) | 27 |
| 2.2.7. | Sistema de Gestión ISO 45001..... | 28 |
| 2.3. | Origen de los incidentes | 29 |
| 2.4. | Causas Inmediatas | 31 |
| 2.5. | Causas Básicas | 32 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.6. | Gestión de Incidentes/accidentes | 33 |
| 2.6.1. | Incidentes | 33 |
| 2.6.2. | Accidentes | 35 |
| 2.6.3. | Tipo de incidente, accidente en el sub-sector minería | 35 |
| 2.6.4. | Accidentes de trabajo | 37 |
| 2.7. | Investigación de Incidentes/accidentes | 39 |
| 2.8. | Legislación en seguridad y salud en el trabajo en el Perú | 40 |
| 2.9. | Redes neuronales artificiales (RNA) | 41 |
| 2.9.1. | Historia de las redes neuronales..... | 41 |
| 2.9.2. | Redes neuronales naturales y artificiales. | 44 |
| 2.10. | Arquitectura de una red neuronal artificial | 48 |
| 2.10.1. | Según número de capas..... | 48 |
| 2.10.2. | Según tipo de conexiones | 50 |
| 2.10.3. | Según grado de conexión..... | 50 |
| 2.10.4. | Tipos de neuronas artificiales | 50 |
| 2.11. | Modelo de la neurona artificial..... | 51 |
| 2.12. | Tipos de entrenamiento..... | 53 |
| 2.12.1. | Aprendizaje supervisado | 54 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.12.2. | Aprendizaje no supervisado | 54 |
| 2.13. | Perceptron..... | 55 |
| 3. | CAPÍTULO 3. MARCO REFERENCIAL..... | 56 |
| 3.1. | Reseña historia..... | 56 |
| 3.1.1. | Historia de la Seguridad minera e industrial | 56 |
| 3.1.2. | Estudios de los incidentes y accidentes con Redes Neuronales Artificiales | |
| | 59 | |
| 3.2. | Filosofía organizacional | 62 |
| 3.2.1. | Visión | 62 |
| 3.2.2. | Misión | 63 |
| 3.2.3. | Valores..... | 63 |
| 3.2.4. | Política de calidad..... | 64 |
| 3.3. | Diseño organizacional | 65 |
| 3.3.1. | Organigrama de la organización en la prevención de accidentes..... | 65 |
| 3.3.2. | Diseño de organigrama de los algoritmos y métodos de predicción | 66 |
| 3.3.3. | Diseño del proceso de descubrimiento de conocimiento. | 68 |
| 3.4. | Productos y/o servicios | 70 |
| 3.5. | Diagnostico organizacional..... | 74 |
| 3.5.1. | Análisis de la situación..... | 74 |

| | |
|---|-----|
| 4. CAPITULO 4: RESULTADOS..... | 76 |
| 4.1. Análisis de los incidentes y accidentes..... | 76 |
| 4.1.1. Análisis de incidentes | 76 |
| 4.1.2. Análisis de accidentes leves | 82 |
| 4.1.3. Análisis de accidentes incapacitantes..... | 83 |
| 4.1.4. Análisis de accidentes mortales..... | 84 |
| 4.2. Construcción del modelo de gestión de incidentes basado en el uso de redes neuronales artificiales..... | 88 |
| 4.2.1. Uso de modelos predictivos en la limpieza de datos. | 88 |
| 4.2.2. Redes Neuronales Artificiales en la construcción del modelo..... | 89 |
| 4.3. Validación cruzada | 95 |
| 4.4. Mecanismos de seguimiento y control..... | 95 |
| 4.5. Inversión necesaria para la implementación del modelo | 99 |
| CONCLUSIONES..... | 101 |
| RECOMENDACIONES | 102 |
| BIBLIOGRÁFICAS..... | 103 |
| ANEXOS..... | 109 |

ÍNDICE DE FIGURAS.

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1.</i> Teoría Causal del Domino..... | 24 |
| <i>Figura 2.</i> Modelo epidemiológico..... | 25 |
| <i>Figura 3.</i> Técnicas de análisis de pérdidas..... | 26 |
| <i>Figura 4.</i> Modelo PHVA..... | 29 |
| <i>Figura 5.</i> Ratios de incidentes | 30 |
| <i>Figura 6.</i> Tipos de incidentes, accidentes en el sub sector de minería. | 36 |
| <i>Figura 7.</i> Estadísticas de seguridad y salud ocupacional en minería 2009-2018 | 38 |
| <i>Figura 8.</i> Componente de una Neurona Biológica..... | 45 |
| <i>Figura 9.</i> Componentes Básicos de una Red Neuronal Artificial | 47 |
| <i>Figura 10.</i> Red Neuronal Monocapa..... | 48 |
| <i>Figura 11.</i> Red Neuronal Multicapa | 49 |
| <i>Figura 12.</i> Modelo de una red neuronal..... | 51 |
| <i>Figura 13.</i> Funciones de transferencia. | 53 |
| <i>Figura 14.</i> Propuesta de estructura organizacional | 66 |
| <i>Figura 15.</i> Representación de los algoritmos y métodos de predicción..... | 67 |
| <i>Figura 16.</i> Modelos de Red Neuronal más conocidos. | 68 |
| <i>Figura 17.</i> Diseño del proceso de una red neuronal artificial..... | 70 |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 18.</i> Ranking mundial de producción minera 2019 | 71 |
| <i>Figura 19.</i> Mapa de las principales minas en operación..... | 72 |
| <i>Figura 20.</i> Principales destinos de productos metálicos | 73 |
| <i>Figura 21.</i> Análisis DAFO de una organización | 75 |
| <i>Figura 22.</i> Histogramas: Evolución de los incidentes ocurridos 2010-2019 | 77 |
| <i>Figura 23.</i> Boxplots incidentes 2010-2019 | 78 |
| <i>Figura 24.</i> Clasificación según tipo de incidente..... | 80 |
| <i>Figura 25.</i> Diagrama de ACP..... | 82 |
| <i>Figura 26.</i> Histogramas de los accidentes leves 2010-2019 | 83 |
| <i>Figura 27.</i> Boxplots de accidentes incapacitantes 2010-2019..... | 84 |
| <i>Figura 28.</i> Histograma de accidentes mortales por año | 85 |
| <i>Figura 29.</i> Histograma de accidentes mortales según clasificación | 86 |
| <i>Figura 30.</i> Histogramas de accidentes mortales por meses | 87 |
| <i>Figura 31.</i> Histograma de accidentes mortales por día | 87 |
| <i>Figura 32.</i> Modelo para entrenamiento..... | 90 |
| <i>Figura 33.</i> Representación gráfica de la Red Neuronal Artificial | 93 |
| <i>Figura 34.</i> Resultado del error cuadrático medio..... | 94 |
| <i>Figura 35.</i> Método de validación cruzada | 95 |

| | |
|---|-----------|
| <i>Figura 36. Plantilla de seguimiento y control de incidente</i> | <i>97</i> |
|---|-----------|

RESUMEN

El trabajo de investigación presenta una propuesta de un modelo para la gestión de incidentes en el sector minero peruano, basado en el desarrollo de redes neuronales artificiales. Cuyo objetivo fue diseñar un modelo para la gestión de incidentes en el sector minero peruano, basado en el desarrollo de redes neuronales artificiales. Metodología para el desarrollo del estudio es Descriptivo - Predictivo, en donde se realizó el análisis exploratorio, limpieza de datos, entrenamiento, evaluación y modelo con 1084 elementos observados con 70 variables de interés. Cuyos Resultados en el año 2010 se tiene cifras más altas de 208,308 ocurrencias y las cifras más bajas se tiene el año 2019 con 45,565 ocurrencias y según el tipo de clasificación se tiene mayor número de ocurrencias por desprendimiento de rocas. El modelo diseñado para regresión de la red neuronal artificial ha cumplido con lo deseado en la predicción de incidentes por desprendimiento de rocas. Se ha implementado una herramienta para la gestión de los incidentes como la Matriz de Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Medidas de Control. Finalmente El costo de implementación del modelo se ha estimado en USD 145 000.

ABSTRACT

The research work presents a proposal for a model for incident management in the Peruvian mining sector, based on the development of artificial neural networks. Whose objective was to design a model for incident management in the Peruvian mining sector, based on the development of artificial neural networks. Methodology for the development of the study is Descriptive - Predictive, where exploratory analysis, data cleaning, training, evaluation, and a model of 1084 observed elements with 70 variables of interest were carried out. Results, the year 2010 has higher figures of 208,308 occurrences and the lowest figures are in 2019 with 45,565 occurrences and according to the type of classification there is a greater number of occurrences due to rockfall. The model designed for regression of the artificial neural network has fulfilled what is desired in the prediction of rockfall incidents. An incident management tool has been implemented, such as the Hazard Identification Matrix, Risk Assessment and Control Measures. Finally, the cost of implementing the model has been estimated at 145,000 USD.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación se realizó enfocado en la actividad minera, siendo las empresas del sector minero peruano las más riesgosas. Y se pretende despertar el interés por la automatización en la gestión de incidentes, El uso de Redes Neuronales Artificiales es muy utilizada en el análisis y procesamiento de señales, robótica y diagnósticos médicos. Pero es desconocida en temas de seguridad. Hoy en día las organizaciones del sector minero se encuentran camino a la adopción de la evolución tecnológica, debido que en la minería contamos con variedad y cantidad de datos de las distintas actividades que se requiere evaluar estos resultados de esta manera tomar las mejores decisiones.

Por esta razón, planteamos el problema de nuestro trabajo de investigación para proponer un modelo para la gestión de incidentes en el sector minero peruano, basado en el desarrollo de redes neuronales artificiales.

Pérez Varas, (2013) menciona que las redes neuronales artificiales en problemas de determinación de accidentes es utilizado reciente. Los diferentes modelos de redes neuronales artificiales están siendo utilizados para predecir, pronósticos, optimización de soluciones, agrupamiento y categorización de datos y de clasificación de patrones.

Por otro lado, Montaña Moreno, (2002) menciona que las redes neuronales artificiales hoy en día están generando un interés mayor por parte de los profesionales dedicados al análisis de datos, por ende, se empieza a incorporar las redes neuronales como una herramienta estadística conducentes a la clasificación de patrones y la estimación de variables continuas.

El objetivo principal para esta investigación es diseñar un modelo para la gestión de incidentes en el sector minero, basado en el desarrollo de redes neuronales artificiales.

En el presente trabajo de investigación; como método universal se utilizó el Método Científico. Y en lo específico el método para el desarrollo del estudio es de Retrospectivo-Transversal-Descriptivo-Predictivo. De modo que, se utiliza los conocimientos basados en redes neuronales artificiales aplicados para el análisis, modelización y predicción de la variabilidad de los incidentes ocurridos en la minería peruana en los últimos 10 años.