

Modelo predictivo de producción de minerales de plata mediante redes neuronales artificiales

Scirley Maritza Nina Yucra
Postgrado en Informática
Universidad Mayor de San Andrés
La Paz - Bolivia
scirlymaritzaninayucra@gmail.com

Resumen—Existe la necesidad de buscar métodos que permitan obtener pronósticos más precisos para la producción de minerales de plata. El artículo permite conocer, que en base a datos históricos de la producción de minerales de plata en Bolivia se desarrolló un modelo predictivo de producción de minerales de plata mediante redes neuronales artificiales para optimizar la producción de este mineral. El trabajo de investigación aplica la inteligencia artificial para el pronóstico de la producción de minerales de plata en nuestro país, los resultados posibilitaran difundir estrategias y políticas para la planificación de la producción del mineral de plata.

Palabras clave—pronóstico, propagación inversa, redes neuronales.

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación se enfoca en estimar la producción de minerales de plata a través de Redes Neuronales Artificiales, para determinar mejores resultados que los obtenidos con los análisis estadísticos tradicionales.

Tomando en cuenta empresas mineras públicas, privadas y el sector cooperativo que componen la industria minera en Bolivia.

Las redes neuronales han sido utilizadas en diversos problemas, porque con ellos se puede modelar y predecir no existiendo un tema específico como el que se plantea.

Se diseñó un modelo de Red Neuronal Artificial, obteniendo la topología más óptima de pronóstico de producción de minerales de plata.

II. MÉTODOS

Para pronosticar la producción de minerales de plata en Bolivia se definieron las variables que nos permiten estudiar con mayor claridad:

- El pronóstico de producción de minerales de plata en Bolivia constituye la variable dependiente.
- La red neuronal artificial propagación inversa (*Backpropagation*) conforma la variable independiente.

El método de investigación aplicado es función de las características del objeto de estudio y de acuerdo a los objetivos planteados. El método cuantitativo corresponde a la presente investigación con la finalidad de exponer y encontrar el conocimiento ampliado a la producción de minerales de plata

mediante datos numéricos y principios teóricos de modelación mediante redes neuronales artificiales. Según el objetivo planteado la investigación es aplicada porque permite encontrar conocimiento para plantear políticas y estrategias de la minería en Bolivia.

Los métodos de investigación científica según el conocimiento del objeto de estudio permitieron aplicar los tipos de investigación descriptivo y experimental. Las técnicas estadísticas también fueron empleadas por los resultados finales que son cuantitativos que permiten analizar, interpretar y comparar el error del pronóstico con modelos autorregresivos integrados con medias móviles (ARIMA) de la producción de minerales de plata.

A. Universo o población de Estudio

Para el tema de investigación, la población está constituida por la producción de minerales de plata realizada por las empresas públicas (COMIBOL), las empresas mineras del sector privado, la Minería chica y el sector cooperativo de Bolivia. Información que esta sistematizada por el Instituto Nacional de Estadística y Viceministerio de política minera, regulación y fiscalización, Unidad de análisis y política minera.

Determinación y Elección de la Muestra

La muestra para el estudio comprende la producción en toneladas métricas finas de minerales de plata entre las gestiones 2000:01 a 2017:12, que representan la producción total de Bolivia [1].

B. Sujetos Vinculados a la Investigación

Los sujetos vinculados con la investigación están constituidos por las empresas mineras que se dedican a la producción de minerales de plata, estas empresas conforman la estructura de producción de minerales en Bolivia. Estas empresas son:

- Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL)
- Minería Mediana, empresas privadas dedicadas a la explotación y producción de minerales de plata.
- Minería pequeña, empresas productivas mineras localizadas en los Departamentos de Potosí, Oruro y La Paz.
- Cooperativas Mineras, formas de organización de producción y comercialización de minerales presente en la zona occidental de Bolivia.



Para referenciar este artículo (IEEE):

[N] S. Nina, «Modelo predictivo de producción de minerales de plata mediante redes neuronales artificiales», *Revista PGI. Investigación, Ciencia y Tecnología en Informática*, n° 8, pp. 176-179, 2020.

C. Fuentes y Diseño de los Instrumentos de Relevamiento de Información

El uso de fuentes de información primaria y secundaria nos permitió identificar a las instituciones, empresas públicas, privadas y cooperativas que se dedican a la sistematización de la información y producción de minerales de plata en Bolivia.

Las principales fuentes que se utilizó en el presente estudio de investigación son:

Fuentes de investigación primaria: Información original obtenida por el investigador en:

- Instituto Nacional de Estadístico (INE)
- Unidad de Análisis y Política Minera (Ministerio de Minería y Metalurgia).

Fuentes de investigación secundaria:

- Artículos publicados en revistas científicas indexadas y no indexadas serias.
- Tesis de postgrado publicadas a nivel nacional e internacional con temas afines a la investigación.
- Publicaciones de Conferencias académicas, congresos, seminarios.
- Páginas de internet que brinden información confiable y especializada.
- Libros especializados en la biblioteca y electrónicos.
- Revistas electrónicas.

D. Diseño de los Instrumentos de Relevamiento de Información

Procesamiento y Análisis de la Información

Se realizó el procesamiento y análisis de los datos obtenidos de producción de minerales de plata, en las siguientes etapas.

- I. *Análisis de datos*, para determinar su comportamiento, respecto a los componentes de una serie de tiempo, además detectar los valores atípicos (*outliers*).
- II. *Normalización de datos*, etapa que consiste en transformar a valores numéricos de acuerdo a la función de activación de la red neuronal artificial, este escalamiento de los datos a valores numéricos es realizado mediante las ecuaciones 1 y 2.
- III. *Partición de los datos*, el total de las observaciones de la base de datos se particionó en tres grupos: de 215 observaciones el 66% para el entrenamiento, 16 % validación y 16% test de la red neuronal artificial.

E. Desarrollo

1) *Modelo neuronal de pronóstico de producción de minerales de plata.*

El objetivo de este acápite es ilustrar el empleo de los modelos de red neuronal artificial para la predicción de la producción de minerales de plata de Bolivia. Producción en toneladas métricas finas con frecuencia mensual que serán modelizadas en las siguientes fases:

- Establecer el set de entrenamiento de la serie temporal mensual de producción de minerales de plata entre

2000:01 - 2017:12 con un total de observaciones es de 204 y que representan la producción nacional del sector privado, público y cooperativo que se dedican a la actividad minera en el país [1].

- Preprocesamiento de los datos, consiste en la transformación a valores numéricos y establecer el de número de rezagos en la serie y periodos del pronóstico. Los valores numéricos de producción fueron codificados mediante las siguientes relaciones:

$$SF = \frac{SR_{max} - SR_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

$$X_p = SR_{min} + (X - X_{min}) * SF \quad (2)$$

Donde:

- X : Valor numérico actual
- Xmin : Valor actual mínimo
- Xmax : Valor actual máximo
- SRmax : Límite máximo del rango de escala
- SRmin : Límite mínimo del rango de escala
- SF : Factor de escalamiento.
- Xp : Valor preprocesado

El software *Neural Intelligence* permite seleccionar el número de retardos en la serie temporal y ofrece la opción de escoger el número de periodos a pronosticar en la serie, opciones que se muestran en la figura 1.

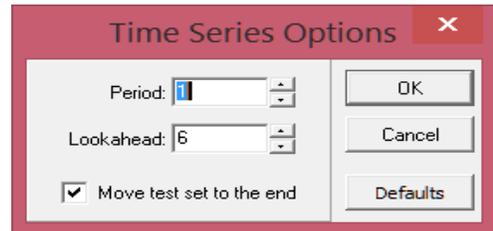


Fig. 1. Selección de rezagos y periodos de pronóstico en la serie.

2) *Selección de la función de activación en la entrada y salida.*

Los valores codificados de la producción de minerales de plata deben ser procesados mediante una adecuada función de activación en las capas de entrada, oculta y salida; esta selección de la función de activación se ha formalizado bajo los siguientes criterios:

- Minimizar el error absoluto en el entrenamiento.
- Parálisis de la red (los pesos toman valores muy grandes y la red no cambia).
- Valor del coeficiente de correlación (R2).

Los resultados de estas pruebas de selección de la función de activación en el entrenamiento se muestran en las figuras 2 y 3; experimentos donde se midieron el impacto de las funciones no lineales logística, hiperbólica y función lineal en la función del error de entrenamiento en relación con el número de neuronas en la primera y segunda capa.

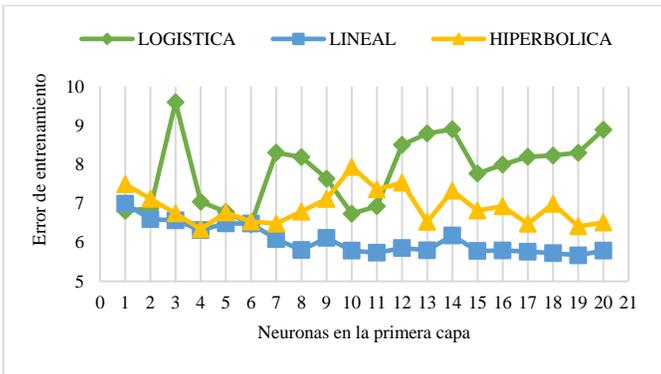


Fig. 2. Función de activación versus error de entrenamiento en la primera capa de la RNA.

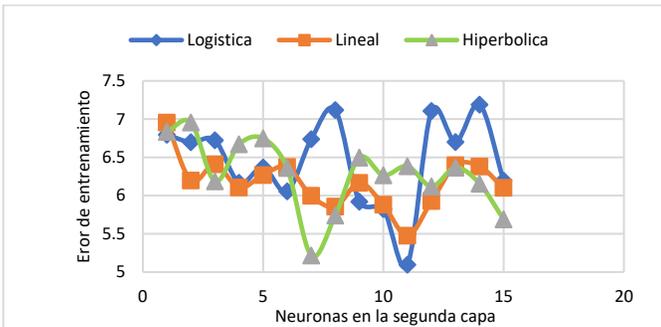


Fig. 3. Funciones de activación versus el error de entrenamiento en la segunda capa de la RNA.

3) Selección del algoritmo de entrenamiento.

En este trabajo se utilizó una red neuronal multicapa con retropropagación (Backpropagation), para predecir la variable de producción de minerales de plata, especialmente útil en aplicaciones de reconocimiento o clasificación de patrones. Los algoritmos estudiados en el entrenamiento de la RNA fueron: Retropropagación acelerada (Quick Propagation), Gradiente descendente, Quasi Newton, Limited memory, Quasi Newton propagation, Método de Lavenberg Marquardt, Retropropagación incremental, (Online Backpropagation), Retropropagación en lotes (Batch Backpropagation).

Los resultados de los experimentos en la selección del algoritmo apropiado para el entrenamiento de la red neuronal se muestran en las figuras 4 y 5, las pruebas se realizaron para dos *steps* y 11 neuronas en la capa oculta.

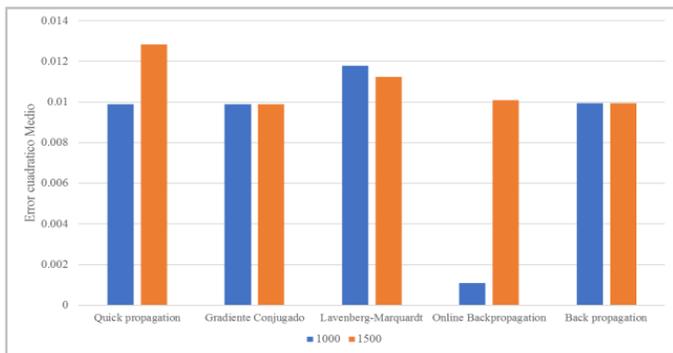


Fig. 4. Error cuadrático medio en función de algoritmos de retropropagación

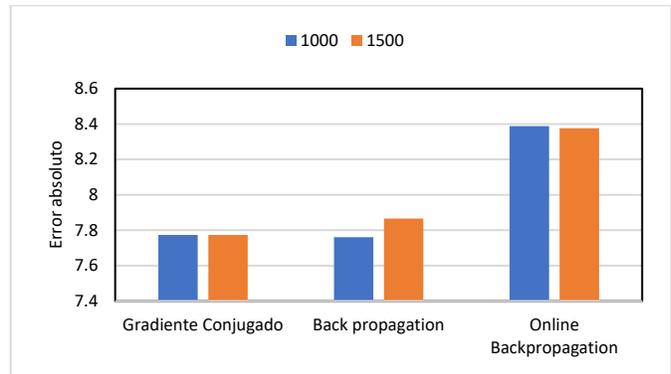


Fig. 5. Algoritmos de entrenamiento en función del error absoluto.

4) Fraccionamiento de los datos para las etapas de entrenamiento, validación y test.

En los experimentos de simulación se ha realizado la partición de los datos de producción de minerales de plata en forma aleatoria como se muestra en la figura 6.

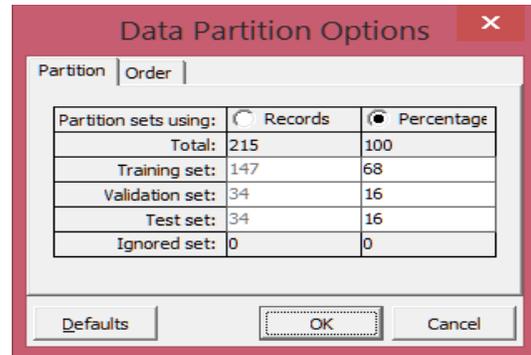


Fig. 6. Partición de las observaciones de la producción de minerales de plata.

5) Diseño de la red neuronal, experimentación con varias topologías de acuerdo con la etapa de entrenamiento y en función de los indicadores del pronóstico.

Los experimentos realizados permitieron definir:

- Tipo de arquitectura de la red neuronal
 - Definir número de capas.
 - Número de unidades de entrada (neuronas) en las capas de: entrada y oculta.
- Establecer los parámetros más óptimos del entrenamiento de la red neuronal que permitan minimizar el error cuadrático medio.
- 6) Selección de la topología más óptimo de la red neuronal artificial. En la investigación se realizó:
 - Experimentación con las topologías, se configuro la variable de entrada, rezagos en la topología, parámetros de escalamiento, steps en la topología, y número de capas.
 - Validación del entrenamiento de las topologías.

III. RESULTADOS

A. Pronóstico de la producción de minerales de plata con la topología óptima.

La tabla 1 muestra los valores pronosticados de la producción de minerales de plata en Bolivia en el periodo 2018:01–2018:06. Estimaciones con los modelos de redes neuronales experimentados en el presente trabajo.

TABLA I. PRONÓSTICOS DE MINERALES DE PLATA CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES.

Periodo 2018	Producción mineral de plata (TM finas) Modelo RNA		
	[2-20-1]	[4-1-2-1]	[6-4-9-1]
Enero	111.70	111.38	110
Febrero	112.34	111.58	112.09
Marzo	113.33	112	112.56
Abril	113.96	112.45	113.26
Mayo	114.59	112.89	113.98
Junio	115.08	113.21	114.9

Calculado en base a los datos del INE

B. Evaluación del pronóstico con los modelos neuronales

Las diferencias de los valores reales y pronosticados por los modelos de redes neuronales se muestran en la tabla 2. Estas diferencias en función de los indicadores de evaluación de pronósticos no permiten concluir que el mejor modelo de red neuronal artificial tiene una arquitectura [2-20-1].

TABLA II. INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL PRONÓSTICO PARA LOS MODELOS RNA

Modelo RNA	Error Medio	Error Medio al cuadrado	Desviación estándar del error	Desviación media absoluta (MAD)	Porcentaje del error medio absoluto (MAPE)
[2-20-1]	0.44	1.58	1.29	1.58	1.38%

IV. DISCUSIÓN

Estado de la hipótesis

El modelo de pronóstico con Redes Neuronales Artificiales permite mejorar la estimación de la producción de mineral de plata.

Después de realizar previsiones para la serie se han calculado seis pronósticos, correspondientes al periodo 2018:01 – 2018:06. Para medir la calidad de los pronósticos, se utilizan dos estadísticos: El Error Medio Absoluto (MAD) y el Error Medio Absoluto Porcentual (MAPE), a partir de las dos técnicas de pronósticos utilizadas como son el de redes neuronales y los modelos autorregresivos integrados con medias móviles.

Conclusiones y recomendaciones

En la tesis se ha aplicado el pronóstico de producción de minerales de plata mediante redes neuronales artificiales, estudio que demuestra la gran utilidad de la red de propagación en el campo de análisis de series temporales.

Los resultados de la investigación de los pronósticos de producción de mineral de plata permiten concluir lo siguiente:

a) En el diseño de la red neuronal artificial las funciones de activación más óptimas son: la función lineal en la entrada y logística en la salida.

b) Para la selección del algoritmo de entrenamiento se realizaron varias simulaciones en función del error absoluto y error cuadrático medio, siendo el más óptimo el algoritmo de gradiente ascendente conjugado el que presenta el menor error para 1000 interacciones (EA =7,77% y MSE =0.009887).

c) Los estadísticos del error medio Absoluto porcentual (MAPE = 1.29%) y el error medio absoluto (MAD = 2.75) determinan que se logra una buena calidad en el pronóstico con redes neuronales cuya topología es [2-20-1].

d) El entrenamiento de la red neuronal [2-20-1] muestra un rendimiento con un ajuste de pesos a una distribución normal un coeficiente de correlación ($R^2=90.11$) y una correlación del 94.96 % entre la salida deseada y la salida de la red.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística (INE).
- [2] Freeman, James y Skapura, David: “Redes Neuronales algoritmos, aplicaciones y técnicas de programación”, 1a edición, Addison-Wesley Iberoamericana, E.U.A
- [3] Rabunal, Juan y Dorado, Julian: “Artificial Neural Networks in Real-Life Applications”, 1a edición, Idea Group Publishing, E.U.A 2006.
- [4] Rojas, Raul: “Neural Networks. A Systematic Introduction”, 1a edición, Springer, E.U.A. 1996.
- [5] Guajarati, Damodar:” Econometría”, 1a edición Mc Graw-Hill, México 2004.
- [6] Shlens, Jonathon: “Time Series Prediction with Artificial Neural Networks”,1999

Breve CV de la autora

Scirley Maritza Nina Yucra es Ingeniera de Sistemas por la Universidad Técnica de Oruro. Diplomada en redes integradas en telecomunicaciones, Universidad del Valle (La Paz). Diplomada en Organización y administración pedagógica del aula en educación superior, CEPIES UMSA. Diplomada en medio ambiente, seguridad y salud ocupacional para la educación en el área industrial. Fue docente facilitadora para el curso de Postgrado UMSA Diplomado en mantenimiento técnico-CD.MANTEC 2011; disertante 2do. Congreso Boliviano de Ingeniería de Mantenimiento “Análisis de Sistemas Informáticos Aplicados al Mantenimiento” (La Paz 2003); expositora en “Calidad Educativa” Dirección Municipal de Educación 2009; expositora en “Formación Pedagógica” DME 2010; expositora en el “Curso-Taller de Pedagogía” DME 2010. Es docente universitaria. Email: scirleymaritzaninayucra@gmail.com.