

# Estimación de la productividad en minería del cobre en PERÚ (2014-2024)

SERGIO CARRASCO\*, GABRIEL PÉREZ\*\*  
Y SEBASTIÁN BASURTO\*\*\*



\* Supervisor especializado, Departamento de Indicadores de la Actividad Económica del BCRP  
sergio.carrasco@bcrp.gob.pe



\*\* Especialista sénior, Departamento de Estadísticas de Balanza de Pagos del BCRP  
gabriel.perez@bcrp.gob.pe



\*\*\* Especialista, Departamento de Indicadores de la Actividad Económica del BCRP  
sebastian.basurto@bcrp.gob.pe

En este artículo se estiman indicadores de productividad en la minería del cobre peruana entre 2014 y 2024, incorporando variables geológicas para corregir sesgos en las mediciones tradicionales. A diferencia de los cálculos convencionales, que sugieren una pérdida de eficiencia operativa, la productividad corregida revela una estabilidad relativa, explicada por el agotamiento natural de los yacimientos. Estos hallazgos cuestionan las interpretaciones usuales del desempeño sectorial y destacan la importancia de incluir características físicas del recurso en los análisis de productividad minera.

## INTRODUCCIÓN

En el presente artículo se estima la productividad del sector cuprífero peruano mediante una función de producción Cobb-Douglas ampliada que incorpora factores geológicos, utilizando datos de panel de las principales operaciones mineras durante 2014-2024. El objetivo es calcular la productividad incluyendo estos factores y comparar los resultados con las mediciones convencionales para evaluar el desempeño del sector. Este estudio presenta una primera aproximación a la productividad corregida geológicamente en la minería del cobre peruana.

La minería del cobre representó el 30,8 por ciento del valor de las exportaciones totales y el 5,2 por ciento del PBI del Perú en 2024. En la última década, su producción creció a una tasa promedio anual de 7,1 por ciento, lo que consolidó al país como el tercer productor mundial del metal. Dada la relevancia del sector y su crecimiento sostenido, resulta importante evaluar la evolución de su productividad.

A partir de los indicadores tradicionales, la productividad del sector parecería mostrar un deterioro persistente. La productividad por unidad de capital (Y/K) y la productividad total de factores (PTF) estimada únicamente con capital y trabajo registraron caídas promedio anuales de -2,7 y -2,2 por ciento, respectivamente, con recuperaciones breves asociadas solo a la entrada en operación de nuevos proyectos. Bajo esta medición, el crecimiento reciente del sector podría interpretarse como predominantemente extensivo, en la medida en que requiere cada vez mayores insumos para generar una unidad adicional de cobre.

Sin embargo, la evidencia de otros países mineros indica que esta interpretación puede ser incompleta. Estudios en Australia y Chile han encontrado que las

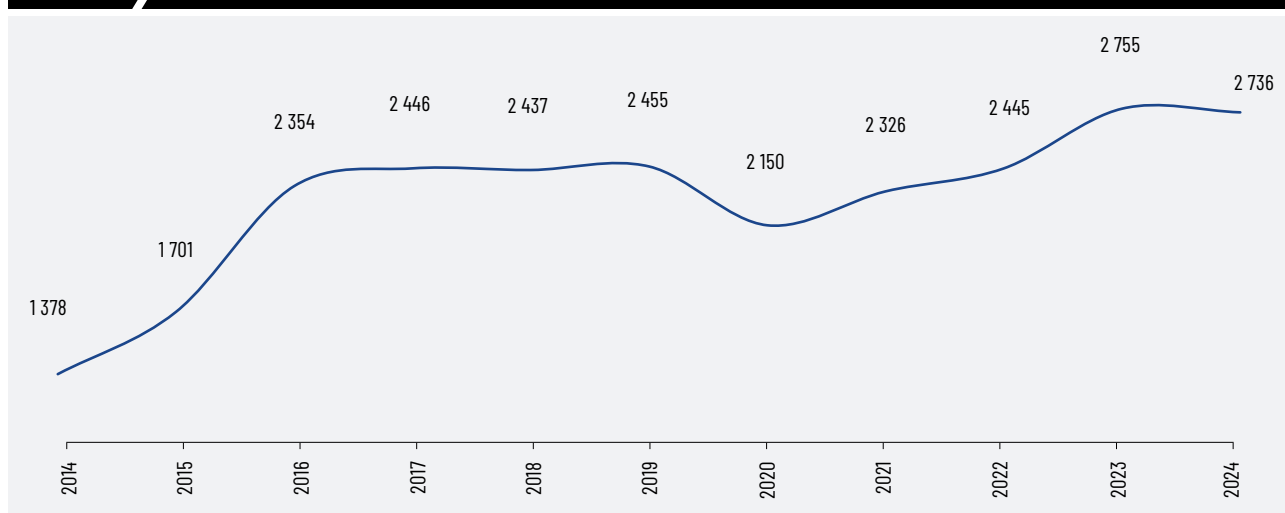
mediciones tradicionales de productividad capturan no solo cambios en eficiencia operativa, sino también el deterioro natural de los yacimientos. A medida que avanza la explotación del tajo, las operaciones enfrentan menores leyes del mineral, mayor profundidad y mayor tonelaje de material estéril<sup>1</sup>. Además, los largos periodos de maduración de las inversiones mineras generan rezagos entre el despliegue de capital y la producción efectiva. Al incorporar variables geológicas como la ley del mineral, el volumen de material tratado y la razón estéril-mineral, la literatura encuentra que la PTF corregida presenta una caída mucho menor o incluso se mantiene estable, sugiriendo que gran parte del deterioro aparente responde a restricciones físicas del recurso y no a un retroceso en la eficiencia productiva.

## REVISIÓN DE LITERATURA

La investigación de Topp et al. (2008) es un trabajo referente en el análisis de la productividad minera ajustada por características geológicas. Examinando el sector minero australiano, los autores documentan que la PTF convencional cayó 24,3 por ciento entre 2000 y 2006. Sin embargo, al incorporar indicadores de calidad del recurso y ajustar por rezagos de tres años entre inversión y producción efectiva, la PTF corregida muestra una tendencia opuesta: un crecimiento de 2,3 por ciento anual en el largo plazo. Este resultado evidencia que la caída aparente de productividad capturaba principalmente el deterioro natural de los yacimientos y los desfases temporales propios de la actividad minera.

Para el caso chileno, la Comisión Nacional de Productividad (2017) analiza la gran minería del cobre durante 2000-2014 y encuentra que la PTF convencional

**GRÁFICO 1** ■ Producción de cobre (Miles de TM)



FUENTE: MINEM.

1 Material sin valor económico.

registró una caída superior al 50 por ciento. Al incluir tres variables geológicas clave —ley del mineral, volumen de material mineralizado y razón estéril-mineral— y corregir por la maduración del capital, la disminución se redujo a 14 por ciento para todo el periodo, equivalente a 1 por ciento anual. Este estudio confirma que una fracción considerable de la caída de la productividad observada en la minería del cobre responde a factores exógenos a la gestión operativa.

Jara et al. (2010) extienden el análisis a la productividad laboral en la minería de Chile y Perú entre 1992 y 2009, utilizando técnicas de panel de datos. Los autores controlan explícitamente por variables geológicas y encuentran que tanto la ley del mineral como la razón estéril-mineral ejercen efectos significativos sobre la productividad. Además, documentan una relación negativa entre el precio del cobre y la productividad laboral, sugiriendo que en periodos de precios elevados las empresas priorizan la extracción de volumen

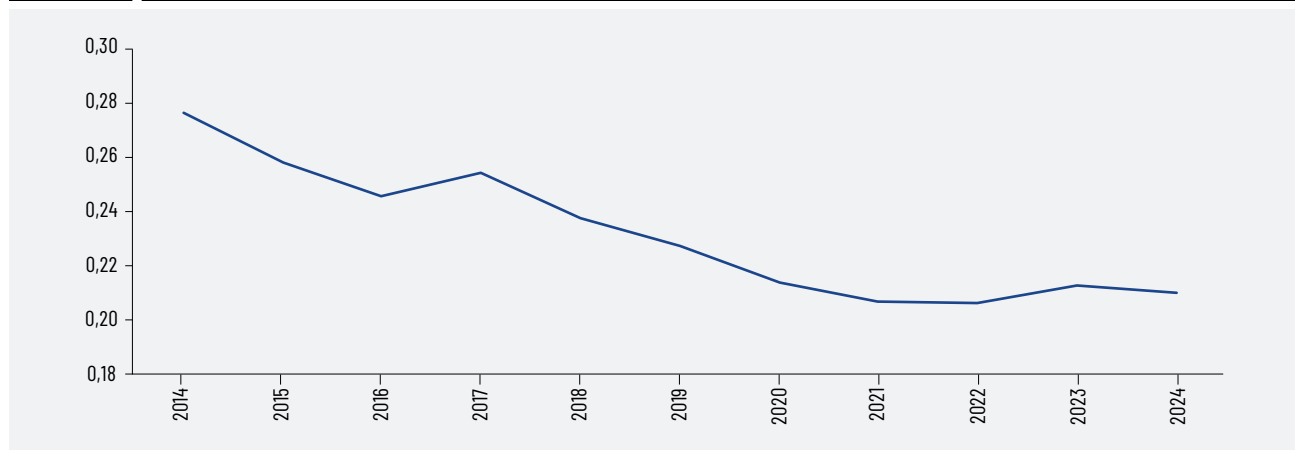
sobre la eficiencia operativa, un patrón consistente con la literatura sobre respuesta productiva a ciclos de *commodities*.

En conjunto, estos estudios establecen tres conclusiones relevantes para el presente trabajo. Primero, las mediciones convencionales de PTF en minería tienden a sobrestimar sistemáticamente la caída de productividad al no considerar el agotamiento del recurso. Segundo, la incorporación de variables geológicas y la corrección por rezagos de inversión son metodológicamente necesarias para aislar cambios en eficiencia operativa de factores naturales. Tercero, las condiciones de mercado pueden inducir decisiones empresariales que afectan temporalmente los indicadores de productividad.

**EVIDENCIA EMPÍRICA**

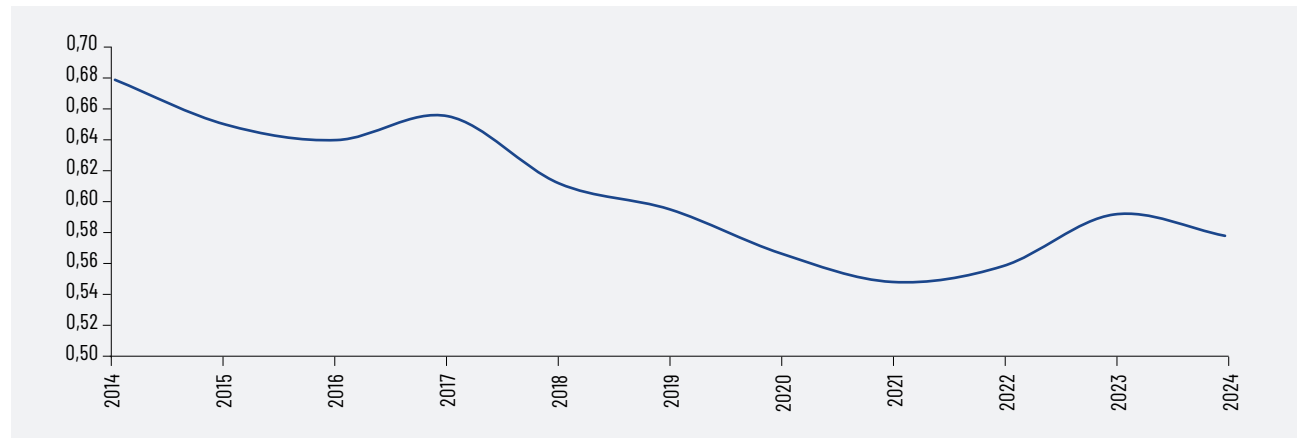
La productividad por unidad de capital, medida como producción de cobre sobre consumo de energía eléc-

**GRÁFICO 2** ■ **Productividad por unidad de capital**  
(Producción de cobre/consumo de energía eléctrica)



FUENTE: MINEM Y COES.

**GRÁFICO 3** ■ **Ley promedio de cobre del mineral procesado (%)**



FUENTE: ANUARIOS DE EMPRESAS MINERAS.

trica<sup>2</sup>, muestra una caída sostenida en la última década. Entre 2014 y 2024, este indicador disminuye en promedio 2,7 por ciento anual y 23,8 por ciento en términos acumulados.

La producción de cobre está asociada tanto al volumen de mineral tratado como al contenido metálico presente en cada tonelada. Por ello, se realiza un ejercicio alternativo recalculando el indicador con el volumen de mineral procesado en lugar de la producción final. Bajo esta medida, la caída promedio anual se reduce a 1,0 por ciento y la acumulada a 9,6 por ciento en los últimos diez años. Este resultado sugiere que parte importante del deterioro observado en la productividad tradicional proviene de cambios en el contenido de cobre del mineral y no únicamente de la actividad productiva. Si bien este ajuste mejora el cálculo, no controlar por la mano de obra y por la dinámica de las leyes mineras brinda una medida incompleta de la productividad.

La ley del mineral mide la proporción de cobre presente en cada tonelada procesada. El Gráfico 3 muestra una tendencia decreciente durante el periodo analizado, con aumentos temporales cuando entran en operación nuevas minas con mayor contenido metálico. La reducción sostenida de la ley implica menos cobre fino por tonelada tratada y explica la mayor caída observada en el indicador basado en producción final.

## MODELO Y RESULTADOS

A diferencia de otros sectores productivos, la producción en minería no depende únicamente de los factores tradicionales —capital y trabajo—, sino también de las características físicas del yacimiento, las cuales son exógenas a las decisiones de las empresas y varían a lo largo del tiempo conforme se explotan las reservas.

Para incorporar esta dimensión, se parte de una función de producción Cobb-Douglas que se extiende mediante la inclusión explícita de factores geológicos:

$$Y_{it} = A_{it} K_{it}^{\alpha} L_{it}^{\beta} G1_{it}^{\gamma} G2_{it}^{\delta} \exp(\xi_{it}) \quad (1),$$

donde  $Y_{it}$  es la producción de cobre fino (toneladas métricas);  $A_{it}$ , la PTF;  $K_{it}$ , el stock de capital físico;  $L_{it}$ , el factor trabajo;  $G1_{it}$ , la ley del mineral; y  $G2_{it}$ , el mineral procesado. Los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  y  $\delta$  son las elasticidades insumo-producto de cada factor y  $\xi_{it}$  es el término de error estocástico.

La inclusión de los factores  $G1_{it}$  y  $G2_{it}$  constituye la corrección metodológica central de este estudio. Al incorporar los explícitamente, la PTF captura únicamente las variaciones en eficiencia operativa, netas del efecto del agotamiento natural del yacimiento. Sin esta corrección, la PTF estimada confundiría cambios en la calidad del recurso con pérdidas o ganancias de eficiencia, lo que conduciría a interpretaciones erróneas del desempeño sectorial.

Para la estimación econométrica, se transforma la ecuación anterior mediante logaritmos, obteniendo una especificación log-lineal:

$$\ln Y_{it} = \ln A_{it} + \alpha \ln K_{it} + \beta \ln L_{it} + \gamma \ln G1_{it} + \delta \ln G2_{it} + \xi_{it} \quad (2)$$

En esta expresión, cada coeficiente puede interpretarse directamente como la elasticidad del producto respecto al factor correspondiente. La PTF se descompone en dos componentes:

$$\ln A_{it} = a_i + bt + \omega_{it} \quad (3),$$

donde  $a_i$  captura el efecto fijo específico de cada mina (diferencias permanentes en tecnología, localización o gestión);  $bt$  representa la tendencia temporal común a todas las operaciones; y  $\omega_{it}$  refleja variaciones temporales en eficiencia no explicadas por los demás factores.

Sustituyendo esta descomposición, el modelo a estimar queda definido como:

$$\ln Y_{it} = a_i + bt + \alpha \ln K_{it} + \beta \ln L_{it} + \gamma \ln G1_{it} + \delta \ln G2_{it} + \xi_{it} + \omega_{it} \quad (4)$$

Para la estimación, se considera un subconjunto de proyectos mineros que en promedio representan el 75 por ciento de la producción total de cobre. Cabe mencionar que el uso de esta muestra se sustenta en la disponibilidad de datos. La producción por empresa es obtenida de la base de datos del Ministerio de Energía y Minas (Minem). Como *proxy* del nivel de capital se utiliza el consumo de energía eléctrica reportado en el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES). El número de trabajadores se obtiene de la planilla electrónica de SUNAT.

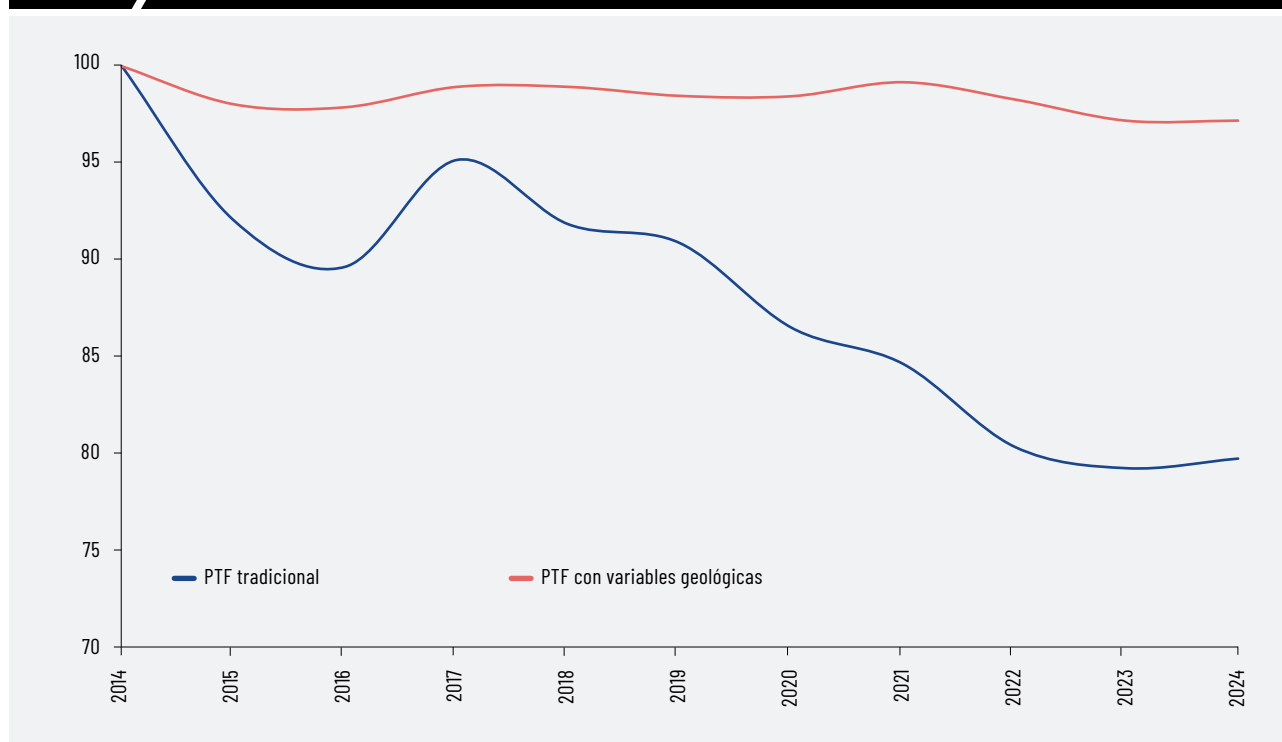
Las variables geológicas de los tajos (ley del mineral y mineral procesado) se recopilaron de los reportes anuales de producción y/o de sostenibilidad de las empresas.

Usando la ecuación (4), se obtiene la PTF a nivel de empresa. Posteriormente, se genera un indicador agregado ponderado por la participación que tiene cada empresa en la producción de cobre. Los resultados del cálculo de los índices de la PTF para el caso tradicional (trabajo y capital) y controlando por variable geológicas (ley de mineral y mineral procesado) se presentan en el Gráfico 4.

En el caso tradicional destaca una tendencia decreciente que refleja una caída promedio anual de -2,2 por ciento y acumulada de -20,2 por ciento en el periodo 2014-2024. Por su parte, cuando la PTF se controla por

2 Como *proxy* del nivel de capital se ha utilizado el consumo de energía eléctrica de las operaciones mineras, tal y como se realiza en el estudio de la Comisión Nacional de Productividad de Chile.

GRÁFICO 4 ■ Índice de productividad total de factores (2014 = 100)



variables geológicas, la caída promedio anual se reduce a -0,3 por ciento y acumulada de -2,8 por ciento. Estos resultados son consistentes con la literatura existente sobre productividad en la minería del cobre.

## DISCUSIÓN

Los resultados del análisis ofrecen una interpretación alternativa del desempeño del sector cuprífero. La PTF estimada con métodos tradicionales indica una pérdida de eficiencia, mientras que la PTF corregida muestra que el deterioro observado en los indicadores agregados responde principalmente a restricciones físicas asociadas a la explotación del recurso y no a un retroceso tecnológico. Esta diferencia entre ambas mediciones confirma la conveniencia de incorporar variables geológicas y temporales en los análisis de productividad minera.

La estabilidad de la PTF corregida sugiere que las principales empresas cupríferas han mantenido niveles similares de eficiencia operativa pese al deterioro de la calidad de los yacimientos. Este patrón es consistente con la adopción de mejoras tecnológicas y organizacionales orientadas a compensar la caída en las leyes

del mineral. La continuidad de este proceso depende de un entorno institucional que reduzca la incertidumbre regulatoria y facilite la inversión en el sector.

Cabe mencionar que, la estimación de la PTF podría refinarse incorporando información adicional no disponible, como la mano de obra indirecta, desfase del capital y la producción, el ratio estéril-mineral, así como una mejor identificación del impacto del cambio tecnológico. En particular, el uso creciente de inteligencia artificial, Big Data, automatización y equipos de gran envergadura no tripulados podría estar elevando la eficiencia operativa, pero sin reflejarse plenamente en la PTF estimada.

Finalmente, la corrección de la PTF es particularmente importante en el caso peruano porque el crecimiento reciente de la minería del cobre se ha limitado a la entrada puntual de nuevas minas, lo que expone de manera directa a las empresas al agotamiento natural del recurso. En un contexto de leyes decrecientes, mayor material procesado y mayor profundidad de explotación, las mediciones tradicionales de productividad tienden a atribuir erróneamente estos efectos geológicos a pérdidas de eficiencia.

## REFERENCIAS

- **Comisión Nacional de Productividad (2017).** *Productividad en la Gran Minería del Cobre.*
- **Jara, J. J., Pérez, P., & Villalobos, P. (2010).** Good deposits are not enough: Mining labor productivity analysis in the copper industry in Chile and Peru 1992-2009. *Resources Policy*, 35(3), 247-256.
- **Topp, V., Soames, L., Parham, D., & Bloch, H. (2008).** *Productivity in the Mining Industry: Measurement and Interpretation.* Staff Working Paper. Productivity Commission, Australian Government.