

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Industrial



# **FUTURE SCENARIOS OF THE COPPER INDUSTRY. A PROSPECTIVE STUDY OF THE COPPER SECTOR IN PERU\***

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

**Santiago Arevalo Rodriguez**

**Código 20180118**

**Joaquin Eduardo Piscoya Alvarez**

**Código 20181474**

**Asesor**

**Marcos Fernando Ruiz Ruiz**

Lima – Perú

Abril de 2024

**Propuesta**  
**Carrera Ingeniería Industrial**

**Título**

*FUTURE SCENARIOS OF THE COPPER INDUSTRY. A PROSPECTIVE STUDY OF THE COPPER SECTOR IN PERU\**

**Autor(es)**

[20180118@aloe.ulima.edu.pe](mailto:20180118@aloe.ulima.edu.pe)

Universidad de Lima

[20181474@aloe.ulima.edu.pe](mailto:20181474@aloe.ulima.edu.pe)

Universidad de Lima

**Resumen:** La minería ha generado múltiples conflictos sociales entre comunidades y empresas; pero, a su vez, ha sido la actividad con mayor contribución al producto interno bruto del Perú desde hace más de una década, especialmente, la explotación cuprífera. La relevancia del cobre radica en que es una de las materias primas básicas en la fabricación de productos y la expansión de las industrias globales. A través de esta investigación, se busca identificar y analizar los posibles escenarios de comportamiento que sostendrán la minería cuprífera en los siguientes cinco años. Para el desarrollo del trabajo, se utilizó una prospectiva (proyección de escenarios a futuro) sumada al juicio de expertos en la materia. La metodología usa el diseño no experimental y apunta a un resultado tanto exploratorio cuanto descriptivo. Entre los principales hallazgos, destacan un aumento del costo de la energía eléctrica para la actividad minera y la continuación de un manejo político desfavorable para su desarrollo. Es claro que este tema se desarrolla en un contexto delicado por los constantes conflictos sociales que se originan en pro del crecimiento de la industria. Sin duda, a raíz de este estudio se podrán plantear soluciones a esta disparidad y a indagar si realmente, en algún escenario, podrán coexistir la actividad cuprífera y la población total de un país colmado de este mineral.

**Palabras Clave:** cobre / minería cuprífera / prospectiva / variable / escenario.

**Abstract:** Mining has generated multiple social conflicts between communities and companies; but, in turn, it has been the activity with the greatest contribution to Peru's gross domestic product for more than a decade, especially the exploitation of copper crops. The relevance of copper is that it is one of the basic raw materials in the manufacture of products and the expansion of global industries. Through this research, we seek to identify and analyze the possible behavioral scenarios that will sustain mining copper in the next five years. For the development of the work, a forward - looking (forward - looking scenario projection) was used, along with the judgment of experts in the field. The methodology uses the non-experimental design and points to a both exploratory and descriptive result. Among the main findings are an increase in the cost of electrical energy for mining activity and the continuation of political management unfavorable to its development. It is clear that this issue is taking place in a delicate context because of the constant social conflicts that originate for the growth of the industry. This study will undoubtedly provide solutions to this disparity and will investigate whether, in any scenario, the copper activity and the total population of a country filled with this mineral can coexist.

**Keywords:** Copper / copper mining / prospective / variable / scenario.

**Línea de investigación IDIC – ULIMA**

**Área y Sub-áreas de Investigación:**

Operations Research Analysis, Simulation

**Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS) relacionado (s) al tema de investigación.**

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La explotación del cobre, la plata y el oro ha sido la base del desarrollo económico y sociocultural de las sociedades andinas durante al menos los últimos tres milenios (Guédron et al., 2021). Sin embargo, el cobre, el primero de estos metales, sigue siendo importante para la nación peruana incluso en la actualidad. De esta manera, según Hanni y Podestá (2019), el cobre en Perú es el tipo de mineral que

más contribuye a las divisas extranjeras en la minería, ya que representa alrededor del 23% del valor total exportado en los últimos 10 años. Asimismo, según García y Pantigoso (2020), a partir de 2019, Perú es el segundo mayor productor de cobre (12% de la producción mundial) con alrededor de 2.46 millones de toneladas métricas. Sin embargo, este panorama positivo no implica necesariamente su permanencia; por lo tanto, es relevante plantear ciertas preguntas sobre el contexto futuro del sector del cobre.

Existen variables que tienen un impacto significativo en la estabilidad y el desarrollo de la industria del cobre en Perú. Por lo tanto, es importante determinar primero cuáles son exógenas y cuáles son endógenas, y luego evaluar qué características las caracterizan y, lo más importante, cómo están relacionadas (Andújar et al., 2021). Las diversas interacciones de estas variables se consideraron, en esta investigación, para visualizar los escenarios futuros de la industria del cobre en Perú e identificar los más adecuados para su desarrollo continuo.

## **OBJETIVOS**

Objetivo general:

- Proyectar, describir y analizar los posibles escenarios de comportamiento de la industria minera cuprífera en Perú durante los próximos cinco años, considerando variables endógenas y exógenas

Objetivos específicos:

- Constituir una fuente para futuros estudios o proyecciones para la industria del cobre en el Perú
- Identificar las variables endógenas y exógenas que influyen significativamente en la estabilidad y el desarrollo de la industria minera cuprífera en Perú
- Evaluar las interacciones entre las variables identificadas para visualizar y analizar posibles escenarios futuros de la industria minera cuprífera en el país

## **JUSTIFICACIÓN**

La explotación del cobre en Perú es uno de los principales impulsores de la economía peruana. Según Landa (2017), las exportaciones de cobre representan aproximadamente el 23% del total de las exportaciones del país por año. Sin embargo, desde un punto de vista ambiental, el descontento de la población está creciendo debido a la continua y creciente presencia de la industria minera, que en el país a menudo se asocia con fenómenos como el daño ambiental, la afectación de especies indígenas y el modo de vida de los pueblos circundantes. Asimismo, la imagen de las empresas mineras suele estar relacionada con la desigualdad económica y la falta de voluntad para redistribuir la riqueza y el desarrollo con las poblaciones afectadas de manera indirecta por este tipo de explotación de recursos. Sin embargo, en relación con este punto, Cornejo (2018) afirma que el principal problema radica en la gestión por parte de los municipios y el propio gobierno, ya que las sumas de dinero que la minería aporta a través del canon son abismales. Por lo tanto, el hecho de que no se utilicen para mejorar la infraestructura en salud y educación, y para reparar el daño al suelo o el nivel de vida de los ciudadanos y el medio ambiente, no solo termina siendo una responsabilidad y negligencia de la empresa minera en cuestión, sino una demostración de la inoperancia de las autoridades políticas.

Desde el punto de vista económico, Perú ha experimentado cambios notables en el sector de la minería. La explotación de otros minerales además del oro, como el cobre, es llamativa. Este hecho es conveniente basándose en la idea de Miguel Cardozo, vicepresidente del Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (IMP), quien afirmó en una entrevista con la Red de Comunicación Regional del Perú en 2021 que el precio del cobre ha aumentado en más del 70% en los últimos 12 meses, llegando incluso a más de \$4 la libra.

Por otro lado, se prevé que la demanda de este mineral continúe creciendo con la adición de nuevas tecnologías de energía sostenible en los próximos años (Kuipers et al., 2019). Se estima que se

utilizarán 1.74 millones de toneladas de cobre para la fabricación de vehículos eléctricos, según una investigación realizada por la Asociación Internacional del Cobre en 2017. Sin embargo, y a pesar de ser el segundo productor más grande a nivel mundial, esto representará un desgaste en el producto en el país en comparación con 2030, ya que habrá un 20% de escasez en el suministro de cobre para cubrir la demanda creciente del metal rojo, según menciona Cardozo en la entrevista.

Desde el lado social, la minería en Perú siempre ha sido un foco de conflictos entre la población y las empresas mineras. Según el Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (2021), según el último informe emitido por la Defensoría del Pueblo en diciembre de 2021, hubo más de 200 conflictos sociales por mes, una cifra no alcanzada desde 2018. Dunlap (2019) menciona que uno de los proyectos con mayor impacto social en el país es el llamado "Tía María" (Valle del Tambo - Arequipa), que planeaba extraer 120,000 toneladas de cobre refinado anualmente a través de una inversión de 1.4 mil millones de dólares y tendría una duración aproximada de 18 años. Dunlap (2019) afirma que, las principales razones de las protestas y conflictos que se han producido entre la empresa Southern Copper Corporation y los pobladores del Valle del Tambo han sido el resultado de la mala gestión por parte de Southern. Por ejemplo, la contaminación del agua subterránea por los relaves, aunque utilizada por toda la población para fines cotidianos, y la contaminación del aire por partículas PM 2.5 y PM 10, que pueden penetrar profundamente en los pulmones y representar riesgos significativos para la salud, se atribuyen a la gestión inadecuada de los residuos de la empresa en la zona.

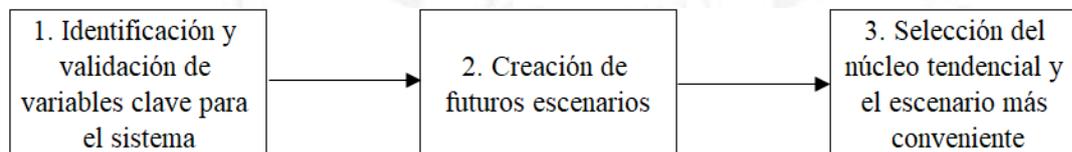
De esta manera, el estudio podría vincularse principalmente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 9: "Industria, innovación e infraestructura". Al simular escenarios para la industria cuprífera en Perú, se estaría contribuyendo a entender cómo esta industria puede desarrollarse de manera sostenible, considerando factores como el impacto ambiental, la eficiencia energética, la innovación tecnológica, la inclusión social y económica, entre otros.

#### **HIPÓTESIS (Si aplica)**

No aplica

#### **DISEÑO METODOLÓGICO**

La investigación involucra un diseño no experimental con alcance descriptivo. En ella, se proyectan prospectivamente las variables clave que condicionan el desarrollo de la industria del cobre en Perú para la creación de escenarios futuros en el sector, a través del juicio crítico de un grupo de expertos y la reflexión colectiva. La herramienta que se utiliza para analizar prospectivamente el comportamiento de las variables es el software Smic-Prob Expert (Sistemas de Matrices de Impactos Cruzados Probabilísticos) (La Prospective, s.f.), un software especializado para la proyección de escenarios a futuro. El proceso metodológico se estructuró en cuatro fases sucesivas:



#### **NOTAS (AGRADECIMIENTOS)**

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa al desarrollo y realización de esta investigación.

En primer lugar, al Dr. Marcos Fernando Ruiz Ruiz, por su orientación experta, apoyo constante y su invaluable conocimiento que han sido fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo. En segundo lugar, a todos los participantes de nuestro estudio por su colaboración y disposición para compartir sus conocimientos. Asimismo, queremos reconocer el apoyo brindado por nuestras familias y amigos, quienes han sido una fuente constante de aliento, comprensión y motivación a lo

largo de este proceso. Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento a nuestra institución académica por brindarnos los recursos y el entorno propicio para llevar a cabo esta investigación. Este trabajo representa el esfuerzo colectivo y la colaboración de muchas personas, y estamos sinceramente agradecidos por todas las contribuciones que han hecho posible su realización.

Atentamente,

Santiago y Joaquín

#### **REFERENCIAS**

- Andújar-Palao, J. M., Ormachea-Hermoza, R., Ruiz-Ruiz, M. F., & Chirinos Cuadros, C. R. (2021). Copper mining in Peru: Analysis of exogenous and endogenous variables to manage its development. [Copper mining in Peru: Analysis of exogenous and endogenous variables to manage their development] *Venezuelan Magazine of Management*, 26(94), 784-801. doi:10.52080/rvgluzv26n94.18
- Behar, O., Peña, R., Kouro, S., Kracht, W., Fuentealba, E., Moran, L., & Sbarbaro, D. (2021). The use of solar energy in the copper mining processes: A comprehensive review. *Cleaner Engineering and Technology*, 4. <https://doi:10.1016/j.clet.2021.100259>
- Casas Rivera, G. A., & Giraldo Gómez, H. (2014). A prioritization technique to identify key parameters that generate large changes in construction projects. *Journal of Architecture*, 224-235.
- Chalapud Narváez, E. D. (2022). The tourism cluster as a regional development mechanism in the municipality of Cordoba - Colombia. *FACE: Magazine of the Faculty of Economics and Business Sciences*, 22(1), 17–29. <https://doi.org/10.24054/face.v22i1.1473>
- Cornejo, R. (2018). Mining logistics chains in Peru: opportunities for a more sustainable exploitation of natural resources. ECLAC, Economic Commission for Latin America and the Caribbean. <https://cutt.ly/9kVZPa7>
- Dunlap, A. (2019). ‘Agro yes, mine NO!’ The Tía Maria copper mine, state terrorism and social war by every means in the tambo valley, peru. *Political Geography*, 71, 10-25. <https://doi:10.1016/j.polgeo.2019.02.001>
- Elshkaki, A., Graedel, T. E., Ciacci, L., & Reck, B.K. (2018). Resource demand scenarios for the major metals. *Environmental Science and Technology*, 52(5), 2491-2497. <https://doi:10.1021/acs.est.7b05154>

- García, M., y Pantigoso, P. (2020). Peru's mining & metals investment guide 2020 / 2021. Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú. <https://cutt.ly/VkVJFoM>
- Godet, M. (2007). Strategic Foresight: problems and methods. *Laboratory of Prospective and Strategic Investigation*, 20(7), 25-43.
- Gonzalez, F. R., Raval, S., Taplin, R., Timms, W., & Hitch, M. (2019). Evaluation of impact of potential extreme rainfall events on mining in peru. *Natural Resources Research*, 28(2), 393-408. <https://doi:10.1007/s11053-018-9396-1>
- Guédron, S., Tolu, J., Delaere, C., Sabatier, P., Barre, J., Heredia, C., Brisset, E., Campillo, S., Bindler, R., Fritz, S. C., Baker, P. A., & Amouroux, D. (2021). Reconstructing two millennia of copper and silver metallurgy in the Lake Titicaca Region (Bolivia/Peru) using trace metals and lead isotopic composition. *Anthropocene*, 34. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2021.100288>
- Haas, J., Moreno-Leiva, S., Junne, T., Chen, P. -, Pamparana, G., Nowak, W., ... Ortiz, J.M. (2020). Copper mining: 100% solar electricity by 2030? *Applied Energy*, 262. <https://doi:10.1016/j.apenergy.2020.114506>
- Hanni, M., & Podestá, A. (2019). Trade misinvoicing in copper products: A case study of Chile and Peru. *CEPAL Review*, 2019(127). <https://doi.org/10.18356/91479091-en>
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (2021). Anuario Minero. Reporte Estadístico 2021. Ministerio de Energía y Minas. [https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/ANUARIO S/2021/AM2021.pdf](https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/ANUARIO%20S/2021/AM2021.pdf)
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (2022). Anuario Minero. Reporte Estadístico 2022. Ministerio de Energía y Minas. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4700376/2022.pdf?v=1689975935>
- Hunt, C., Romero, J., Jara, J., & Lagos, G. (2021). Copper demand forecasts and predictions of future scarcity. *Resources Policy*, 73. <https://doi:10.1016/j.resourpol.2021.102123>
- Kuipers, K.J. J., van Oers, L.F. C. M., Verboon, M., & van der Voet, E. (2018). Assessing environmental implications associated with global copper demand and supply scenarios

from 2010 to 2050. *Global Environmental Change*, 49, 106-115.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.02.008>

Landa Arroyo, Y. (2017). Extractive income and cooper mining in Peru: Development Problems. *Latin American Journal of Economics* (Vol. 48, Issue 189). National Autonomous University of Mexico.  
<https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2017.189.57292>

Lagos, G., Peters, D., Lima, M., & Jara, J.J. (2020). Potential copper production through 2035 in Chile. *Mineral Economics*. <https://doi.org/10.1007/s13563-020-00227-2>

La Prospective. (s.f.). Pour penser et agir autrement. <http://es.lapropective.fr/>

Ruiz Ruiz, M. F. (2017). French Prospective as a strategy university planning. Assessment of the acceptability of his application in an engineering faculty. (Doctoral Thesis) Pontifical Catholic University of Peru.

Schipper, B. W., Lin, H. -, Meloni, M. A., Wansleeben, K., Heijungs, R., & van der Voet, E. (2018). Estimating global copper demand until 2100 with regression and stock dynamics. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 28-36.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.004>

Sverdrup, H. U., Olafsdottir, A. H., & Ragnarsdottir, K. V. (2019). On the long-term sustainability of copper, zinc and lead supply, using a system dynamics model. *Resources, Conservation and Recycling: X*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100007>

Van der Voet, E., Van Oers, L., Verboon, M., & Kuipers, K. (2019). Environmental implications of future demand scenarios for metals: Methodology and application to the case of seven major metals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 141-155. <https://doi.org/10.1111/jiec.12722>

Velasquez Lugo, M. (2020). Use of structural analysis to characterize educational quality variables in Venezuelan primary and secondary schools. *Education*, 29(56), 170-190.  
<https://doi.org/10.18800/educacion.202001.008>

Vidal, O., Rostom, F. Z., François, C., & Giraud, G. (2019). Prey-predator long-term modeling of copper, production, recycling, price, and cost of production. *Environmental Science and Technology*, 53(19), 11323-11336. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03883>

## ANEXO. Datos del artículo publicado

- **Nombre del artículo:** Future Scenarios of the Copper Industry. A prospective study of the copper sector in Peru\*
- **Autores:** Santiago Arévalo Rodríguez / Joaquín Eduardo Piscocoy Álvarez
- **Co autor(es):** Marcos Fernando Ruiz Ruiz

### Publicación en revista

- **Nombre de la revista:** Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial
- **Volumen:** Sin especificar
- **Número:** 45
- **Año:** 2023
- **Pp:** 193 - 211
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45>



# ArevaloPiscoya

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

7%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

4%

★ [discovery.researcher.life](https://discovery.researcher.life)

Fuente de Internet

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía

Activo