

## Evaluación del impacto social y análisis de conflictos socioambientales en un proyecto minero en el sur del Perú usando modelos matemáticos

Social impact assessment and environmental conflicts analysis in a mining project in southern Peru using mathematical models

**Solange Guiuliana Ríos Angulo**

Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria 1801, San Miguel, Lima 15088, Perú (solange.rios@pucp.pe)

### 1. Abstract

The social aspect has become a key factor for the viability of projects in Latin America, and Peru is no exception. In this study, I applied the integration of the grey grouping and entropy-weight method to evaluate the social impact (SIA) and to analyze the possible socio-environmental conflicts (ECA), respectively. The case study was a lithium mining project located in southern Peru, in which the overall result was a social impact ranging from normal to negative for the stakeholder groups.

**Keywords:** stakeholders; Grey Clustering; Shannon entropy

### 2. Introducción

Las actividades humanas pueden generar conflictos entre las personas que participan en ellas, debido a su naturaleza interactiva. Por esta razón, el gobierno, las empresas y los ciudadanos deben estar en la capacidad de hacer acuerdos asertivos que les permitan ganar conjuntamente (Y. Liu, 2018). Así, los intereses de las tres partes estarán alineados hacia un mismo objetivo (Bebbington, 2014). En el Perú, el tipo de conflicto que más se produce es el socioambiental, el cual representó un 67.7% en mayo de este año (Defensoría del Pueblo, 2020). De este porcentaje, el 64% está relacionado a la minería, lo que demuestra que hay una fuerte negativa a su desarrollo, a pesar de ser una de las actividades económicas más antiguas e importantes del país. Esto puede resultar paradójico, ya que, a pesar del eficiente desempeño social y ambiental de las empresas mineras formales, los conflictos siempre han estado presentes (Bebbington, 2014). La oposición predomina sobre todo en el sur del país,

siendo Puno el cuarto departamento con mayor índice de conflictividad social relacionado a dicha industria (Observatorio de Conflictos Mineros en el Perú, 2018).

El caso de estudio de este trabajo es un proyecto ubicado en Puno, el cual tiene la particularidad de pretender comercializar litio y uranio, aun cuando, en el Perú, la legislación para la explotación de dichos elementos está todavía en proceso. Así, esta falta de reglamentación dificulta la obtención de los permisos otorgados por parte del Estado.

El objetivo de este artículo es evaluar los impactos sociales (SIA) y analizar los posibles conflictos socioambientales (ECA) que podrían surgir durante la implementación de un proyecto minero, mediante el uso de modelos matemáticos.

### 3. Metodología

Los métodos aplicados en este trabajo han sido desarrollados en un marco nacional e internacional en diferentes casos de estudios de diversas disciplinas. Estos métodos fueron Grey Clustering basado en CTWF (center-point triangular whitening weight functions) y la entropía de Shannon, ya que la integración de ambos proporcionó una metodología eficiente llamada "Integration of the grey clustering and entropy-weight" (IGCEW), la cual permitió clasificar el impacto social para cada grupo de stakeholder y determinar los criterios que presenten mayor probabilidad de generar un conflicto socioambiental. A continuación, se explicará detalladamente este modelo matemático (E.O. Fagbote et al., 2014; S. Liu & Lin, 2010).

#### 3.1. Step 1: Criterios and grey clases

En este primer paso, se definen los grupos de stakeholders "m", los criterios "n" y un conjunto de

intervalos o grey clases "s" según las características del proyecto minero elegido.

### 3.2. Step 2: Funciones CTWF y el coeficiente de clusterización global

Los valores de las CTWF para cada grupo de stakeholders se calculan mediante la Ecuación (1).

$$f_j^k(x_{ij}) = \begin{cases} 0, & x \notin [\lambda_{k-1}, \lambda_{k+1}] \\ \frac{x - \lambda_{k-1}}{\lambda_k - \lambda_{k-1}}, & x \in [\lambda_{k-1}, \lambda_k] \\ \frac{\lambda_{k+1} - x}{\lambda_{k+1} - \lambda_k}, & x \in [\lambda_k, \lambda_{k+1}] \end{cases} \quad (1)$$

Los resultados se mostrarán en una matriz compuesta de criterios y grey clases. Por otra parte, el coeficiente de clusterización global  $\sigma_i^k$  para el grupo de stakeholder  $G_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) con respecto a la grey clase  $k$  ( $k=1, \dots, s$ ) se calcula utilizando la Ecuación (2).

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^n f_j^k(x_{ij}) \cdot \eta_j \quad (2)$$

### 3.3. Step 3: Evaluación del Impacto Social (SIA)

La evaluación del impacto social (SIA) de cada grupo de stakeholders se calcula con un sistema de porcentajes (Chang & Qisen, 2009), definido por los valores porcentuales  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$ , y  $\alpha_s$ , donde  $\alpha_s=100$ ,  $\alpha_1=100/s$ ,  $\alpha_2=\alpha_1+\alpha_1$ ,  $\alpha_3=\alpha_1+\alpha_2, \dots$ , y  $\alpha_{s-1}=\alpha_1+\alpha_{s-2}$ . Por último, los resultados del SIA vienen dados por la Ecuación (3).

$$z_j^i = \sum_{k=1}^s f_j^k(x_{ij}) \cdot \alpha_k \quad (3)$$

Dónde:

-  $f_j^k(x_{ij})$  es el CTWF de la grey clase  $k$  con respecto al criterio  $C_j$

-  $\alpha_k$  es el valor porcentual de cada grey clase.

Finalmente, los resultados se representan por la matriz  $Z$ , como muestra la Ecuación (4)

$$Z = \{z_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

### 3.4. Step 4: Método del peso entrópico

En este paso, la matriz  $Z$  se normaliza para cada criterio  $C_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ). Los valores normalizados  $P_{ij}$  se calculan mediante la Ecuación (5). Posteriormente, los valores de  $H_j$ ,  $div_j$  y  $w_j$  se hallaron con las Ecuaciones (6), (7) y (8).

$$P_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^m z_{ij}} \quad (5)$$

$$H_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij}) \quad (6)$$

$$div_j = 1 - H_j \quad (7)$$

$$w_j = \frac{div_j}{\sum_{j=1}^n div_j} \quad (8)$$

### 3.5. Step 5: Análisis de Conflictos Socioambientales (ECA)

Finalmente, el ECA se determinó para los grupos de stakeholders  $G_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ) con respecto a cada criterio  $C_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) mediante la Ecuación (9).

$$Q_{ij} = w_j z_{ij} \quad (9)$$

Donde:

-  $w_j$  es el peso entrópico de cada criterio  $C_j$

-  $z_{ij}$  es el resultado de la evaluación del impacto social (SIA) para cada grupo de stakeholders  $G_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ )

## 4. Caso de estudio

El caso de estudio del presente artículo es un proyecto minero situado en la provincia de Carabaya, departamento de Puno, Perú. Los stakeholders y las variables de este proyecto los determiné en un estudio previo (Ríos & Delgado, 2019), los cuales son mencionados a continuación:

### 4.1. Grupo de Stakeholders

Los grupos de stakeholders del área de influencia directa son cinco, los cuales fueron corroborados in situ y encuestados acerca del proyecto. El tamaño de la muestra en cada grupo se estableció por el principio de saturación de discurso, el cual estipula que se debe poner fin a la recopilación de información cuando los encuestados proporcionen puntos de vista similares (Corbetta, 2007).

#### 4.1.1. Autoridades comunales ( $G_1$ )

Este grupo estuvo compuesto por "ronderos" que dirigen y administran a la comunidad, de los cuales fueron entrevistadas 50 personas.

#### 4.1.2. Ganaderos de alpaca ( $G_2$ )

La ganadería de alpaca es la principal actividad económica en las zonas rurales cercanas al lugar del proyecto. En la Figura 1, se muestra un conjunto de fotografías con algunos ganaderos de alpacas. En total fueron 58 encuestados.



Figure 1 Solange Ríos con algunos ganaderos de alpacas

#### 4.1.3. Gobierno local (G<sub>3</sub>)

Este grupo estuvo compuesto por 32 entrevistados que ocupaban cargos de tenientes alcaldes, representantes de direcciones, asesores, entre otros.

#### 4.1.4. Comerciantes (G<sub>4</sub>)

Conformado por los dueños y trabajadores de negocios, tales como restaurantes, bodegas de abarrotes, útiles, entre otros. En este grupo, se entrevistaron a 34 personas.

### 4.2. Variables y Criterios

Las variables también se determinaron en un artículo anterior (Ríos & Delgado, 2019), en el cual se obtuvieron siete, las cuales fueron la base para definir los criterios como una medida de cuantificación (ver Tabla 1).

Table 1. Criterios identificados en el caso de estudio

Variables	Criterios	Código	Descripción
Contaminación	Nivel de radiactividad del litio	C <sub>1</sub>	El grado de radiactividad del litio en las zonas cercanas al proyecto
Pobreza	Ratio de pobreza	C <sub>2</sub>	La tasa de pobreza anual en la zona de influencia
Empleo	Tasa de empleo	C <sub>3</sub>	La tasa de empleo por año en la zona de influencia
Salud	Número de habitantes por doctor	C <sub>4</sub>	El número de habitantes por médico por año en la zona de influencia
Economía	PBI per cápita	C <sub>5</sub>	El PIB per cápita en soles por mes (promedio anual) en la zona de influencia
Acceso al agua	Tasa de acceso al agua potable	C <sub>6</sub>	La tasa de acceso a agua potable por año en la zona de influencia
Seguridad	Número de delitos reportados	C <sub>7</sub>	El número de delitos denunciados por año en la zona de influencia

## 5. Resultados y discusiones

### 5.1. Sobre el caso del estudio

En primer lugar, el método IGCEW ayudó a identificar las percepciones generales de los grupos de stakeholders con respecto al proyecto minero. En la Figura 2, se muestra la puntuación de la evaluación del impacto social (SIA) para los grupos de stakeholders G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> y G<sub>4</sub>.

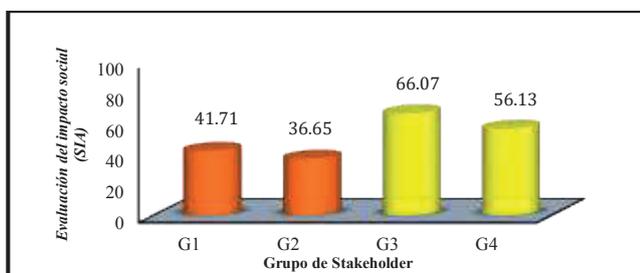


Figure 2 Evaluación del impacto social de G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> y G<sub>4</sub>

Estos resultados arrojan que, para los grupos G<sub>1</sub> y G<sub>2</sub>, el impacto social del proyecto sería negativo;

mientras que, para los grupos G<sub>3</sub> y G<sub>4</sub>, el impacto sería normal, siendo el grupo G<sub>3</sub> el que tendría un mayor grado de aceptabilidad con respecto al proyecto minero. Asimismo, los grupos G<sub>1</sub> y G<sub>2</sub>, presentaron opiniones similares y algo adversas, lo que podría generar una alianza entre ambos en contra de la ejecución del proyecto. Por último, para el grupo G<sub>4</sub>, el proyecto no tendrá un impacto negativo ni positivo.

Por otro lado, en la determinación del ECA, mediante el método del peso entrópico, fue posible identificar los criterios más divergentes, los cuales indican las causas más potenciales de conflictos entre grupos de stakeholders. La Figura 3 muestra que el criterio C<sub>3</sub> es el que presente una mayor divergencia debido a que se forman dos polos opuestos: grupos G<sub>1</sub> y G<sub>2</sub> versus los grupos G<sub>3</sub> y G<sub>4</sub>. Esto puede ocasionar un desacuerdo entre ambos bandos, ya que los grupos G<sub>1</sub> y G<sub>2</sub> no percibirían los mismos beneficios de generación de empleo como los otros dos grupos de stakeholders.

Desde otra perspectiva, todos los grupos convergen más en el criterio C<sub>1</sub>, por lo que, este sería un buen punto en común para acercarse a los cuatro grupos de stakeholders de manera asertiva, y comenzar a resolver sus dudas respecto a la contaminación.

Finalmente, si se analiza globalmente, los grupos más divergentes son G<sub>2</sub> y G<sub>3</sub>, especialmente en los criterios C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> y C<sub>5</sub>. Por lo tanto, estos cuatro criterios deben ser considerados en el Plan de Gestión Social de la empresa, al momento de aplicar medidas de prevención de posibles conflictos socioambientales.

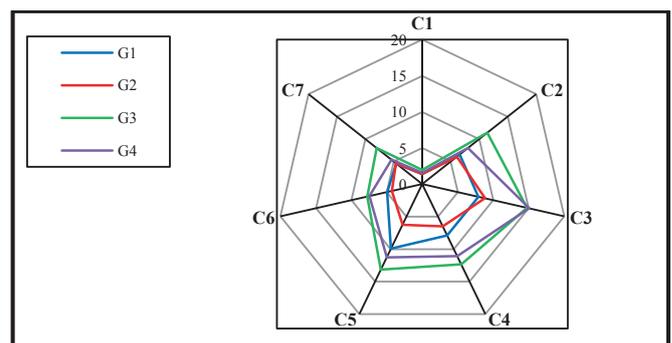


Figure 3 ECA para cada criterio de los grupos G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> and G<sub>4</sub>

### 5.2. Sobre la metodología

La metodología IGCEW brindó los resultados esperados ya que se utilizaron grey clases de impacto "muy negativo", "negativo", "normal", "positivo" y "muy positivo". Por otro lado, como cualquier otra metodología, IGCEW presenta

ventajas y limitaciones, las cuales son mencionados en la Tabla 2.

Table 2 Ventajas y desventajas del método IGCEW

Ventajas	Limitaciones
Los sistemas grises y los enfoques de la entropía de Shannon se complementaron entre sí de manera efectiva.	No se puede eliminar al 100% el aspecto subjetivo, ya que está presente en las encuestas realizadas en campo durante la recopilación de información
Los cálculos se obtienen fácilmente si se utiliza un simple sistema informático programado.	Como se trata de un método nuevo, es necesario validarlo en otros contextos para mejorar su eficiencia.

## 6. Conclusiones

En primer lugar, se concluye que el SIA es un Instrumento de Gestión Social que pudo ser cuantificado correctamente mediante el método IGCEW, el que a su vez permitió también determinar numéricamente el ECA. Asimismo, en otras palabras, se finiquita que la información cualitativa recolectada por medio de encuestas ha sido cuantificada con éxito por el método IGCEW, permitiendo así hallar objetivamente los valores del impacto social que el proyecto podría ocasionar (SIA), y determinar los criterios más divergentes con mayor probabilidad de generar conflictos socioambientales entre los grupos de stakeholders (ECA).

Adicionalmente, se concluye que los resultados obtenidos ayudarán a los analistas sociales de la empresa minera y del gobierno peruano a buscar medidas preventivas y adecuadas para evitar posibles conflictos socioambientales relacionados al proyecto minero del caso de estudio.

Por otro lado, se concluye que, en futuras investigaciones, será viable aplicar el método IGCEW en otros tipos de proyectos (de construcción civil, industriales, etc), con la finalidad de determinar el SIA y el ECA de forma cuantitativa. Ello permitirá elaborar Planes de Gestión Social adecuados y eficientes para cualquier proyecto.

Finalmente, IGCEW también presenta alto potencial de ser utilizado por profesionales del Ministerio de Energía y Minas del Perú, a fin de cuantificar el impacto social (SIA) y predecir conflictos socioambientales (ECA) en los proyectos mineros del país basado en un sustento numérico.

## Agradecimientos

Para algunos grupos de stakeholders, fue necesaria la traducción de las preguntas al idioma quechua, por lo que se consideró la colaboración de un traductor; y quiero reconocer su valiosa participación durante algunas entrevistas. Asimismo, quiero agradecer a todas las personas de la comunidad que participaron en las encuestas,

sin su cooperación habría sido imposible realizar mi trabajo de investigación.

## Referencias

- Bebbington, A. J. (2014). Socio-environmental conflict: An opportunity for mining companies. *Journal of Cleaner Production*, 84(1), 34. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.108>
- Chang, Z., & Qisen, Z. (2009). The assessment of the social, economic, and environmental impacts of expressway construction projects based on the DFGF Algorithm. *International Conference on Management and Service Science*.
- Corbetta, P. (2007). *Metodología y Técnicas de Investigación Social* (J. M. Cejudo (ed.); 1st ed.). McGRAW-HILL Interamericana de España. <https://diversidadlocal.files.wordpress.com/2012/09/metodologc3ada-y-tc3a9cnicas-de-investigacic3b3n-social-piergiorgio-corbetta.pdf>
- Defensoría del Pueblo. (2020). *Reporte de Conflictos Sociales N° 195 Mayo 2020* (Vol. 15170). <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/Reporte-Mensual-de-Conflictos-Sociales-N-195-mayo-2020.pdf>
- E.O. Fagbote, E.O. Olanipekun, & Uyi, H. S. (2014). Water quality index of the ground water of bitumen deposit impacted farm settlements using entropy weighted method. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(1), 127–138. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13762-012-0149-0>
- Liu, S., & Lin, Y. (2010). *Grey Systems: Theory and Applications* (Springer (ed.)). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16158-2>
- Liu, Y. (2018). Research on the Influence Factors of the Policy Tools in NIMBY Conflict Management—A Study Based on 25 Cases in China. *Open Journal of Social Sciences*, 06(09), 164–174. <https://doi.org/10.4236/jss.2018.69011>
- Observatorio de Conflictos Mineros en el Perú. (2018). *Reporte N° 22 Primer semestre 2018*.
- Ríos, S., & Delgado, A. (2019). Stakeholders and Criteria on a Mining Project using AHP and Entropy-Weight Methods. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(4), 1933–1942. <https://doi.org/10.35940/ijrte.c5694.118419>