

## Evaluación de alternativas para TSF mediante análisis de cuentas múltiples: selección de ubicación y método constructivo

Evaluation of alternatives for TSF using multiple account analysis: selection of location and  
construction method

Carolina COTA<sup>1</sup>, Marcelo GUEVARA<sup>2</sup>, Tomás SCHNETZER<sup>2</sup> y Carlos RAMÍREZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Knight Piésold, México, ccota@knightpiesold.com cramirezdearellano@knightpiesold.com

<sup>2</sup> Knight Piésold, Argentina, mguevara@knightpiesold.com y tschnetzer@knightpiesold.com

### INFORMACIÓN

*Palabras clave:*

- TSF
- Análisis de Cuentas Múltiples
- Análisis de Alternativas

### R E S U M E N

La selección de la ubicación y el método constructivo más conveniente para un depósito de jales (TSF) es un proceso complejo que implica balancear criterios técnicos, ambientales, sociales y económicos. En este estudio, se aplica la herramienta de Análisis de Cuentas Múltiples (MAA, por sus siglas en inglés) para evaluar, de manera conjunta y comparativa, dos aspectos en la planificación de la ampliación de un TSF en operación: la definición de la ubicación más conveniente para los jales esperados comparando la construcción de un nuevo depósito frente al recrecimiento de la instalación existente, y la selección del método constructivo (aguas abajo y línea central). Los resultados evidencian que el MAA facilita una valoración sistemática de ambos elementos, permitiendo integrar diferentes perspectivas y favorecer una toma de decisiones informada. Esto brinda un marco documentado y objetivo, que permite considerar y ponderar todas las alternativas propuestas, pudiendo responder las posibles inquietudes de las partes interesadas al respecto de las condiciones analizadas.

### A B S T R A C T

Selecting the most proper location and construction method for a tailings storage facility (TSF) is a complex process that involves balancing technical, environmental, social, and economic criteria. In this study, the Multiple Account Analysis (MAA) tool is applied to jointly and comparatively evaluate two planning decisions for expanding an operating TSF: defining the most suitable location for the expected tailings by comparing the construction of a new deposit with the expansion of the existing facility and selecting the construction method (downstream and centerline). The results show that MAA facilitates systematic assessment of both elements, allowing different perspectives to be integrated and promoting informed decision-making. This provides a documented and objective framework that allows all proposed alternatives to be considered and weighed, enabling possible concerns from stakeholders regarding the conditions analyzed to be addressed. The proposed method can be adapted to the conditions of each project.

## 1 INTRODUCCIÓN

Las decisiones tempranas sobre las alternativas posibles para un proyecto condicionan de manera determinante la seguridad, el desempeño ambiental, los costos a lo largo del ciclo de vida, la viabilidad regulatoria y la aceptación social del proyecto. En etapas iniciales, las alternativas suelen diferir en múltiples aspectos presentando diferentes niveles de incertidumbre, por lo que es indispensable contar con

marcos de evaluación que permitan comparar opciones de forma estructurada, transparente y reproducible. El Análisis de Cuentas Múltiples (MAA, por sus siglas en inglés) responde a esta necesidad al organizar la evaluación en cuatro cuentas principales (ambiental, técnica, social y económica), desglosadas en subcuentas e indicadores medibles, y puede complementarse al incorporar ponderaciones consensuadas mediante talleres multidisciplinarios.

De esta manera, integra información cualitativa y cuantitativa, explicita supuestos e incertidumbres, y genera resultados comparables bajo diferentes escenarios de sensibilidad que reflejan objetivos o prioridades del proyecto.

## 2 METODOLOGÍA MAA

La metodología del Análisis de Cuentas Múltiples (MAA) propuesto por Robertson y Shaw (1999), utilizando como referencia los valores base sugeridos por Environment Canada (2011), se basa en evaluar alternativas mediante criterios agrupados en cuatro cuentas principales: ambiental, técnica, económica y social. Cada cuenta se desglosa en subcuentas e indicadores que permiten una valoración cualitativa y cuantitativa.

La evaluación considera el ciclo de vida del proyecto (construcción, operación, cierre y post-cierre), el ámbito geográfico y los requisitos regulatorios aplicables.

### 2.1 Caracterización de alternativas

Dentro de las referencias sobre el tema, la guía del Environment Canada (2011) es una de las más reconocidas y utilizadas. De acuerdo con esta, los principales objetivos son:

- Asegurar la consideración de todos los aspectos y variables para las alternativas consideradas.
- Proveer una caracterización exhaustiva en un formato claro y conciso que compare directamente las alternativas, garantizando completa transparencia en el proceso de evaluación de alternativas.

Es fundamental que la caracterización se mantenga basada en hechos y, cuando se hagan declaraciones de juicio, riesgo o incertidumbre, que estas sean explícitamente definidas y calificadas; de igual forma debe quedar claro para cualquier revisor externo cuáles son las bases para los criterios de caracterización de cualquier alternativa. En la mayoría de los casos, debe existir información de respaldo para estos criterios en forma de informes técnicos realizados por especialistas calificados.

### 2.2 Cuentas, subcuentas e indicadores

La estructura del análisis MAA va de lo general a lo particular. Esta estructura inicia categorizándose en cuatro grandes grupos, o “cuentas”, en el contexto de que consideren todo el ciclo de vida del proyecto. Esto significa los aspectos ambientales, técnicos y socioeconómicos, tanto a corto como a largo plazo, asociados con la construcción, operación, cierre de la mina y post-cierre debe ser considerados.

#### Cuentas

Debido a las particularidades de cada proyecto, podrían ser necesarios aspectos adicionales o específicos. Por tanto, los criterios listados para cada cuenta son solo una base mínima recomendada. Las “cuentas” se resumen de la siguiente manera:

- **Ambiental:** Esta cuenta se centra en caracterizar el entorno local y regional que rodea la ubicación propuesta del depósito de jales. Incluye elementos como flora y fauna, clima, hidrología/hidrogeología, calidad del agua subterránea, recursos terrestres, efectos de la contaminación, reducción del uso de agua, consumo de energía, permisos y cierre entre otros.
- **Técnica:** Se enfoca en la caracterización de los elementos de ingeniería de cada alternativa, tales como las consideraciones de diseño para cada opción, materiales de construcción, estabilidad física y química, consideraciones adicionales en el diseño, disponibilidad de materiales para el cierre, cuestiones de cronograma, infraestructura de soporte adicional requerida, complejidad del transporte y bombeo de jales y consecuencias de una potencial ruptura de presa.
- **Económica:** El objetivo de esta cuenta es caracterizar la economía durante todo el ciclo de vida del proyecto. Deben considerarse todos los aspectos del plan de gestión de residuos mineros, incluyendo investigación de sitio, diseño, construcción (desarrollo de canteras y regalías donde sea aplicable), operación, cierre, cuidado y mantenimiento post-cierre, gestión de agua, infraestructura asociada (incluyendo sistemas de transporte y deposición), pagos de compensación y uso o arrendamiento de terrenos.
- **Social:** Esta cuenta se enfoca en evaluar los impactos a las comunidades locales y regionales que las diferentes alternativas provocarían. Los elementos considerados aquí incluyen la caracterización y valoración del uso del suelo, importancia cultural, presencia de sitios arqueológicos, oportunidades de empleo, entre otros.

#### Subcuentas

Estas se desarrollan en función de la caracterización seleccionada de cada una de las alternativas y permiten identificar correctamente las principales características de cada alternativa elegida.

Estas subcuentas deben elegirse cuidadosamente:

- **Basadas en el impacto:** los criterios de evaluación deben, en la medida de lo posible, estar vinculados a un impacto.
- **Diferenciadoras:** la subcuenta debe definir un aspecto que diferencie claramente una alternativa de otra, y se espera que esa diferencia tenga un efecto significativo en la selección final de una alternativa.

- **Relevancia del valor:** una subcuenta debe ser relevante en el contexto de las alternativas que se evalúan.
- **Comprensibilidad:** las subcuentas deben definirse de forma inequívoca, de modo que no quede duda de cuál es el objetivo por evaluar.
- **No redundancia:** no debe haber más de una subcuenta que mida los mismos criterios de evaluación. Si las subcuentas individuales miden criterios similares, se debe considerar la posibilidad de combinarlos.
- **Independencia de criterio:** Las subcuentas deben ser independientes entre sí; esto significa que la evaluación de cada una no debe depender de las demás.

### Indicadores

Los indicadores son aquellos elementos asociados a las cuentas y subcuentas que permiten que cada alternativa sea medida cualitativa y cuantitativamente. Estos elementos constituyen el último eslabón en la cadena de caracterización de cada alternativa, permitiendo detallar específicamente cada una y así poder otorgar una puntuación.

Para definir cada indicador y poder medirlos cualitativamente, se debe tomar en cuenta las siguientes características para la evaluación:

- **Relevancia del valor:** La escala de valores debe ser directamente relevante para el indicador que está siendo calificado.
- **Puntuación justificable:** Cualquier revisor externo debe poder llegar a la conclusión de que la escala de valores es razonable y representativa.

### 2.3 Rangos de indicadores

Siguiendo las recomendaciones del Environment Canada (2011) adoptada un rango de puntaje de 1 a 6. La definición de los seis rangos se apoya en los valores máximos y mínimos observados por indicador; no obstante, en casos justificados puede ajustarse manualmente la segmentación para asegurar una distribución adecuada de los extremos (superiores e inferiores).

Adicionalmente a la asignación de los rangos, se deben definir los pesos para cada indicador y para cada subcuenta. Como guía, la literatura sugiere un rango de pesos de 1 a 5 (donde 5 es la mayor importancia relativa), pero en la práctica, estos valores pueden ajustarse según las necesidades del proyecto.

Como buena práctica, se recomienda acordar los pesos en talleres con equipos multidisciplinario y con expertos de cada una de las áreas de las cuentas y la selección del peso debe ser documentado con sus respectivas justificaciones.

### 2.4 Análisis cuantitativo: Cálculo de puntajes

Una vez asignados los pesos de los indicadores y de las subcuentas, se evalúa el puntaje de cada alternativa con las siguientes expresiones:

$$PI = RI \times WI \quad (1)$$

$$PSc = \frac{\sum(RI \times WI)}{\sum(WI)} \quad (2)$$

donde: PI=Puntaje de Indicador, RI= Ranking del Indicador, WI=Peso del Indicador y PSc =Puntaje de Subcuenta.

Los resultados permiten identificar la alternativa mejor clasificada por subcuenta.

### 2.5 Análisis de sensibilidad por escenario

Para robustecer, transparentar y objetivar la selección de la mejor alternativa, se incorporan escenarios de análisis que asignan multiplicadores (pesos de escenario) a las cuentas ambiental, técnica, social y económica conforme a la Tabla 1.

**Tabla 1. Pesos propuestos para cada escenario.**

| Cuenta    | Pesos                   |          |                  |                   |
|-----------|-------------------------|----------|------------------|-------------------|
|           | Environmental<br>Canada | Objetivo | Sin<br>Económico | Solo<br>Económico |
| Ambiental | 6                       | 1        | 1                | 0                 |
| Técnico   | 3                       | 1        | 1                | 0                 |
| Económico | 2                       | 1        | 0                | 1                 |
| Social    | 3                       | 1        | 1                | 0                 |

Con los pesos definidos para cada escenario, se calcula el puntaje por cada cuenta y por escenario.

$$PC = PSc \times WC \quad (3)$$

$$PE = \frac{\sum(PC \times WC)}{\sum(WC)} \quad (4)$$

donde: PC=Puntaje de la Cuenta, PSc= Puntaje de Subcuenta, WC= Peso de la Cuenta y PE= Puntaje del Escenario.

### 2.6 Presentación de resultados y selección

Con los puntajes de las cuentas en los cuatro escenarios, se recomienda presentar los resultados en forma de tablas y/o gráficos que presenten los puntajes finales por alternativa.

Esta visualización facilita la comparación y la evaluación final entre alternativas bajo cada escenario. En la práctica, se llega a seleccionar las mejores calificadas para una discusión abierta de sus ventajas y desventajas.

### 3 CASO DE ESTUDIO

En esta sección se presenta un ejemplo de aplicación de la metodología del análisis MAA, cuyo objetivo es seleccionar la mejor ubicación para los jales y el método constructivo más adecuado para un TSF en la Patagonia (Sudamérica). Antes de ejecutar el análisis con las alternativas, se realizó una preselección (“pre-screening”) para filtrar opciones de forma más simple y rápida. Con el apoyo de un equipo multidisciplinario, se eliminaron alternativas por criterios justificados y aquellas que presentaban un “fatal flaw” (defecto fatal). En este ejemplo, esa etapa se completó, por lo que el número de alternativas se redujo.

Para ello, se evalúan las siguientes alternativas: a) continuar el recrecimiento del TSF existente (TSF1), b) construir un nuevo depósito (TSF2) en un vaso natural ubicado a corta distancia del TSF actual y c) una alternativa combinada, en la que una fracción del tonelaje se deposite en el TSF1 (con su respectivo recrecimiento) y el remanente en el nuevo TSF2. Para todas las alternativas se consideran los métodos constructivos de línea central y/o aguas abajo.

La selección de la alternativa óptima se realizó aplicando la metodología de cuentas múltiples descrita previamente.

#### 3.1 Alternativas

Como se indicó en el caso de estudio, se consideraron los siguientes criterios de evaluación:

- Dos sitios para depósitos de jales convencionales mostradas en la Figura 1: La ampliación del TSF 1 y la construcción del TSF2.

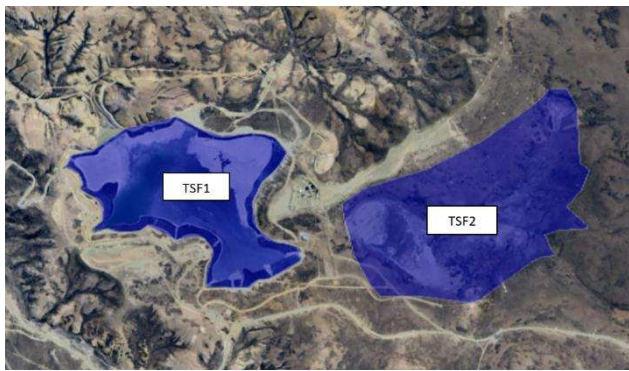


Figura 2. Ubicación de alternativas, TSF1 y TSF2.

- Dos métodos constructivos para el bordo: Método aguas arriba y/o eje central.

Alternativas evaluadas:

- **Alt-1:** Recrecimiento en el TSF1 hasta la elevación 796 metros sobre el nivel del mar - msnm (recrecimiento de 8 m), con método de línea central y capacidad estimada de 9.6 Mt, Figura 1.



Figura 1. Alternativa 1.

- **Alt-2:** Recrecimiento en el TSF1 a la elevación 793.5 msnm (recrecimiento de 5.5 m), con método constructivo aguas abajo y capacidad



Figura 4. Alternativa 2.

estimada de 7.4 Mt, Figura 3.

- **Alt-3:** Construcción del TSF2 a una elevación de 796.5 msnm (bordo de 5.5 m), con método constructivo aguas abajo con capacidad estimada de 7.6 Mt, Figura 4.



Figura 3. Alternativa 3.

- **Alt-4:** Combinación de TSF, recrecimiento del TSF1 a la elevación 792 msnm (recrecimiento de 4 m) método aguas abajo y construcción del TSF2 aguas abajo a la elevación 790 msnm (sin bordo) con capacidad de 7.1 Mt, Figura 5.



Figura 5. Alternativa 4.

### 3.2 Cuentas, subcuentas, indicadores y pesos

Las subcuentas e indicadores se desarrollaron en función de la caracterización seleccionada en la sección anterior y siguiendo los criterios recomendados por las Directrices para la evaluación de alternativas para la eliminación de residuos mineros.

Mediante talleres con un equipo multidisciplinario se acordaron las subcuentas y pesos para cada categoría.

Para los indicadores, el equipo de trabajo acordó utilizar un rango de pesos de 1 a 9, con el fin de contar con mayor resolución al reflejar la importancia relativa de cada indicador. Para las subcuentas, al ser categorías más generales, se adoptó un rango de pesos de 1 a 3, a fin de simplificar y hacer más eficiente su asignación. La Tabla 2 resume las subcuentas y sus pesos; la Tabla 3 ejemplifica los indicadores y sus pesos para la subcuenta Flora y fauna (cuenta ambiental). Esta misma lógica se aplicó al resto de las subcuentas de las cuatro cuentas (ambiental, técnica, social y económica).

Tabla 2. Subcuentas por Cuenta.

| Cuenta    | Subcuenta                   | Peso |
|-----------|-----------------------------|------|
| Ambiental | Flora y Fauna               | 2    |
|           | Clima                       | 2    |
|           | Hidrología / Hidrogeología  | 3    |
|           | Calidad de agua subterránea | 3    |
|           | Recursos terrestres         | 2    |
|           | Efectos a la población      | 2    |
|           | Reducción del uso de agua   | 3    |
|           | Consumo de energía          | 2    |
|           | Permisos                    | 3    |
| Técnico   | Cierre                      | 3    |
|           | Consideraciones de diseño   | 3    |
|           | Materiales de construcción  | 3    |

|           |                                                |   |
|-----------|------------------------------------------------|---|
|           | Estabilidad geotécnica                         | 3 |
|           | Cierre                                         | 2 |
|           | Otras consideraciones de diseño                | 2 |
|           | Agua                                           | 3 |
|           | Relacionado con el cronograma                  | 3 |
|           | Infraestructura de soporte adicional requerida | 2 |
|           | Jales                                          | 3 |
|           | Ruptura de presa                               | 3 |
|           | Valores sociales / culturales                  | 2 |
|           | Impacto cultural                               | 2 |
| Social    | Conflictos sindicales                          | 3 |
|           | Impactos y percepción operativa                | 2 |
| Económico | Costos de construcción                         | 3 |
|           | Costos de mantenimiento y operación            | 3 |
|           | Cierre                                         | 3 |
|           | Diferimiento de capital                        | 2 |

Tabla 3. Indicadores de las Subcuentas.

| Cuenta    | Subcuenta                     | Indicador                                                                                                                                             | Peso |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Ambiental | Flora y Fauna                 | -Área de hábitat impactado de interés.                                                                                                                | 6    |
|           |                               | -Distancia entre el depósito de jales (TSF) y la planta.                                                                                              | 6    |
|           |                               | -Impacto en especies sensibles.                                                                                                                       | 6    |
|           |                               | -Pérdida/restauración de hábitat.                                                                                                                     | 6    |
| Técnico   | Consideraciones de diseño     | -Capacidad de almacenamiento de jales respecto al volumen total de bordo.                                                                             | 7    |
|           |                               | -Capacidad de almacenamiento de jales respecto al área de revestimiento.                                                                              | 6    |
|           |                               | -Vida útil del depósito de jales.                                                                                                                     | 8    |
|           |                               | -Facilidad de construcción (Civil).                                                                                                                   | 8    |
|           |                               | -Facilidad de construcción (Mecánica).                                                                                                                | 7    |
|           |                               | -Área de captación aguas arriba                                                                                                                       | 6    |
| Social    | Valores sociales / culturales | -Percepción comunitaria.                                                                                                                              | 7    |
|           |                               | -Adquisición de tierras.                                                                                                                              | 7    |
|           |                               | -Interferencia con caminos existentes.                                                                                                                | 5    |
| Económico | Costos de construcción        | -Obras civiles.                                                                                                                                       | 8    |
|           |                               | -Equipamiento mecánico: sistema de manejo y transporte de jales (bombeo, camiones, filtración, espesado, cición) y sistemas de agua de recirculación. | 8    |
|           |                               | -Vida útil del depósito.                                                                                                                              | 8    |
|           |                               |                                                                                                                                                       |      |

### 3.3 Rangos de indicadores

Como se indicó en el Capítulo 2.6, la evaluación de cada alternativa se realizó con seis rangos, donde 1 y 6 representan la peor y mejor puntuación respectivamente. En la Tabla 4 se presentan, a modo de ejemplo, los rangos asignados a las cuatro alternativas para los indicadores de la subcuenta Flora y fauna de la cuenta Ambiental. Esta misma lógica de rangos se aplica de forma uniforme al resto de los indicadores de todas las subcuentas.

**Tabla 4. Rangos de indicadores por alternativa.**

|               |                                                              | Alt-1                 | Alt-2               | Alt-3           | Alt-4           |
|---------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
|               |                                                              | Rangos de Indicadores |                     |                 |                 |
| Flora y Fauna | Área de hábitat impactado de interés (ha)                    | 125                   | 117                 | 209             | 161             |
|               | Distancia entre el depósito de jales (TSF) y la planta (km). | 1.87                  | 1.87                | 3.83            | 3.83            |
|               | Impacto en especies sensibles (cualitativo).                 | Muy baja alteración   | Muy baja alteración | Baja alteración | Baja alteración |
|               | Pérdida/restauración de hábitat (cualitativo).               | Muy baja alteración   | Muy baja alteración | Alta alteración | Alta alteración |

### 3.4 Análisis cuantitativo: Cálculo de puntajes

Conforme al Capítulo 2.5, se obtuvo el puntaje final de cada subcuenta como promedio ponderado de sus indicadores. En la Tabla 5 se muestra el resultado para la subcuenta Flora y fauna.

Como puede observarse, la Alternativa 2 alcanzó el mayor puntaje (11.0), por lo que, para esta subcuenta en particular, sería la opción más favorable.

Para determinar la alternativa mejor puntuada considerando el conjunto de cuentas y subcuentas, es necesario repetir este procedimiento para cada una de ellas y, posteriormente, aplicar el análisis de sensibilidad a fin de contrastar los resultados bajo distintos escenarios de ponderación.

**Tabla 5. Puntaje final de la Subcuenta Flora y Fauna.**

|           |               |     |                                                         | Alt-1 | Alt-2                 | Alt-3 | Alt-4 |     |
|-----------|---------------|-----|---------------------------------------------------------|-------|-----------------------|-------|-------|-----|
| Cuenta    | Sub cuenta    | WSc | Indicador                                               | WI    | Puntajes de Indicador |       |       |     |
| Ambiental | Flora y Fauna | 2   | Área de hábitat impactado de interés.                   | 6     | 30                    | 36    | 6     | 24  |
|           |               |     | Distancia entre el depósito de jales (TSF) y la planta. | 6     | 36                    | 36    | 30    | 30  |
|           |               |     | Impacto en especies sensibles.                          | 6     | 30                    | 30    | 24    | 24  |
|           |               |     | Pérdida/restauración de hábitat.                        | 6     | 30                    | 30    | 12    | 12  |
|           |               |     | Puntaje de subcuenta                                    |       | 10.5                  | 11.0  | 6.0   | 7.5 |

### 3.5 Análisis de sensibilidad por escenario

Tal como se expuso en el Capítulo 2.6, se evaluaron cuatro escenarios de ponderación. Las tablas resumen de resultados se presentan en las Tablas 6 a 9. De manera resumida:

- Escenario 1 (Environmental Canada): la mayor puntuación la obtiene la Alternativa 3 (4.10).
- Escenario 2 (Objetivo – igual ponderación): la mayor puntuación la obtiene la Alternativa 3 (4.04).
- Escenario 3 (Sin componente económico): la mayor puntuación la obtiene la Alternativa 3 (3.99).
- Escenario 4 (Solo componente económico): la mayor puntuación la obtiene la Alternativa 2 (4.68).

**Tabla 6. Escenario 1 - Environmental Canada.**

|                               |      | Alt-1              | Alt-2       | Alt-3       | Alt-4       |
|-------------------------------|------|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| Cuenta                        | Peso | Puntajes de Cuenta |             |             |             |
| Ambiental                     | 6    | 21.5               | 21          | 25.1        | 24.7        |
| Técnico                       | 3    | 11.8               | 11.2        | 12          | 12.3        |
| Social                        | 2    | 5.2                | 5           | 5.7         | 4.1         |
| Económico                     | 3    | 13.2               | 4           | 12.5        | 9.7         |
| <b>Puntaje de Escenario 1</b> |      | <b>3.83</b>        | <b>3.80</b> | <b>4.10</b> | <b>3.77</b> |

**Tabla 7. Escenario 2 – Objetivo.**

|                               |      | Alt-1              | Alt-2       | Alt-3       | Alt-4       |
|-------------------------------|------|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| Cuenta                        | Peso | Puntajes de Cuenta |             |             |             |
| Ambiental                     | 1    | 3.6                | 3.5         | 4.2         | 4.1         |
| Técnico                       | 1    | 3.9                | 3.7         | 4.0         | 4.1         |
| Social                        | 1    | 3.5                | 3.3         | 3.8         | 2.8         |
| Económico                     | 1    | 4.4                | 4.7         | 4.2         | 3.2         |
| <b>Puntaje de Escenario 2</b> |      | <b>3.85</b>        | <b>3.81</b> | <b>4.04</b> | <b>3.55</b> |

**Tabla 8. Escenario 3 – Sin económico.**

|                               |      | Alt-1              | Alt-2       | Alt-3       | Alt-4       |
|-------------------------------|------|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| Cuenta                        | Peso | Puntajes de Cuenta |             |             |             |
| Ambiental                     | 1    | 3.6                | 3.5         | 4.2         | 4.1         |
| Técnico                       | 1    | 3.9                | 3.7         | 4.0         | 4.1         |
| Social                        | 1    | 3.5                | 3.3         | 3.8         | 2.8         |
| Económico                     | 0    | 0                  | 0           | 0           | 0           |
| <b>Puntaje de Escenario 3</b> |      | <b>3.66</b>        | <b>3.52</b> | <b>3.99</b> | <b>3.66</b> |

Tabla 9. Escenario 4 – Solo económico.

|                               |      | Alt-1              | Alt-2       | Alt-3       | Alt-4       |
|-------------------------------|------|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| Cuenta                        | Peso | Puntajes de Cuenta |             |             |             |
| Ambiental                     | 0    | 0                  | 0           | 0           | 0           |
| Técnico                       | 0    | 0                  | 0           | 0           | 0           |
| Social                        | 0    | 0                  | 0           | 0           | 0           |
| Económico                     | 1    | 4.4                | 4.7         | 4.2         | 3.2         |
| <b>Puntaje de Escenario 4</b> |      | <b>4.41</b>        | <b>4.68</b> | <b>4.18</b> | <b>3.23</b> |

Con estos puntajes, a continuación, se incluyen los gráficos de barras correspondientes (uno por escenario), donde el eje X muestra las alternativas y el eje Y el puntaje por cuenta. Esta visualización facilita la comparación entre alternativas bajo cada esquema de ponderación y sustenta la discusión final para la preselección y análisis detallado de las opciones mejor clasificadas.

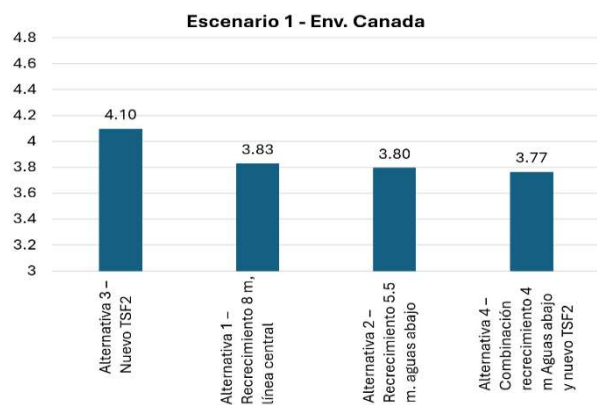


Figura 9. Resultado del Escenario 1 - Env. Canada.

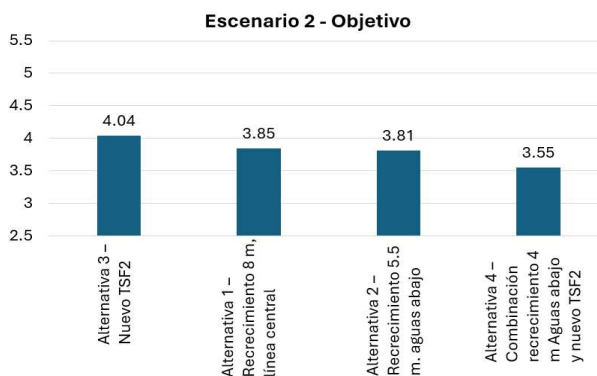


Figura 8. Resultado de Escenario 2 – Objetivo.

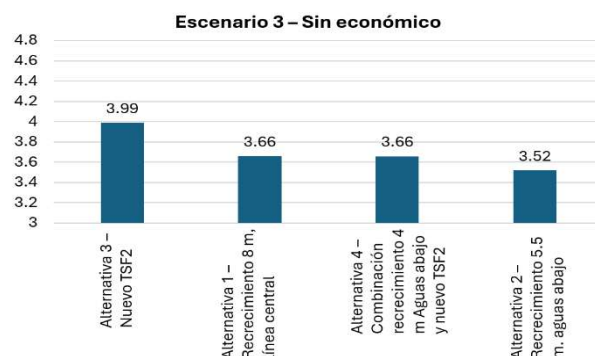


Figura 6. Resultado Escenario 3 - Sin económico.

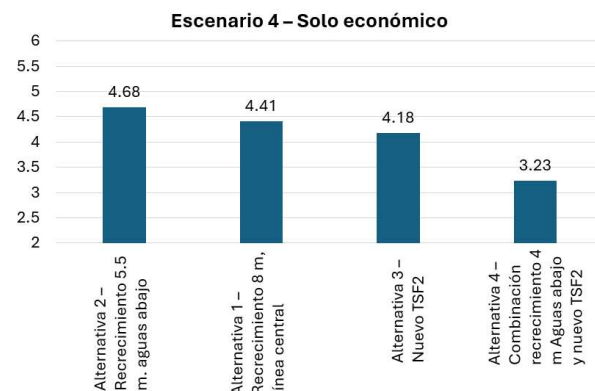


Figura 7. Resultado Escenario 4 - Solo económico.

### 3.6 Resultados del análisis de sensibilidad

Del análisis de sensibilidad para un TSF de jales convencionales, la alternativa mejor posicionada corresponde a la construcción de un nuevo depósito (TSF2) con tecnología de jales convencionales. Sus principales ventajas son:

- **Construcción civil:** requiere construcción mínima de presas para satisfacer los requerimientos de almacenamiento establecidos en el LOM 2035, optimizando los esfuerzos constructivos y minimizando costos.
- **Impacto ambiental:** menos construcción de presa se traduce en una reducción significativa de emisiones de polvo y gases de efecto invernadero.
- **Impacto social:** la ejecución del proyecto generaría oportunidades de empleo local y promovería la contratación de servicios.

Sin embargo, se identificó una limitación importante en esta alternativa. Debido al tiempo de espera asociado a la instalación del revestimiento, existe el riesgo de retrasos en las actividades de disposición de jales.

En segundo lugar, se ubica la Alternativa 1, que representa el recrecimiento de 8 m del bordo del TSF1.

Aunque la puntuación de esta alternativa es menor en comparación con la 3, ofrece ciertas ventajas.

- **Impacto ambiental:** la construcción es un recrecimiento de este depósito, el cual no impactará de forma mayor comparándolo con la construcción de un nuevo depósito.
- **Permisos:** por estar situado sobre el depósito ya existente, la obtención de permisos pudiera ser más simple y rápida.

Robertson, A., y Shaw, S. (1999). “A multiple accounts analysis for tailings site selection”.

Shaw, S. C., Robertson, A. MacG., Maehl, W. C., Kuipers, J., Haight, S. (2001, August 19–22). “Review of the Multiple Accounts Analysis Alternatives Evaluation Process Completed for the Reclamation of the Zortman and Landusky Mine Sites”. 2001 National Association of Abandoned Mine Lands Annual Conference, Athens, OH, Estados Unidos.

#### 4 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE CUENTAS MÚLTIPLES

La metodología aplicada permite evaluar cuantitativamente múltiples áreas del proyecto y realizar comparaciones numéricas entre alternativas (por ejemplo, ubicación del TSF y método constructivo). El marco es flexible y puede incorporar otros aspectos como distintos horizontes LOM o tecnologías alternativas, entre otros. No obstante, a mayor número de factores, el análisis se vuelve más complejo y exige más datos de soporte.

Se recomienda, una vez concluido el análisis de sensibilidad, someter a discusión las alternativas mejor puntuadas y realizar un taller específico de ventajas y desventajas por alternativa. Con los hallazgos de dicho taller, puede ejecutarse un nuevo MAA más focalizado, incorporando factores adicionales del proyecto para una comparación de mayor detalle.

Finalmente, esta herramienta no solo es útil para evaluar alternativas de construcción de un TSF; también puede aplicarse a otras decisiones del proyecto, como opciones de abastecimiento de agua u otros sistemas auxiliares. Cabe destacar que, el Análisis de Cuentas Múltiples debe emplearse en conjunto con otras metodologías y análisis complementarios, ya que representa un apoyo relevante pero no exclusivo para la toma final de decisiones. De esta manera, se asegura una evaluación integral y robusta de las opciones consideradas.

#### REFERENCIAS

- Environment Canada. (2009). “*Environmental Code of Practice for Metal Mines*”. Ottawa, ON: Author. <https://www.canada.ca/content/dam/eccc/migration/main/lcpe-cepa/documents/codes/mm/mm-eng.pdf>
- Environment Canada. (2011). “*Guidelines for the Assessment of Alternatives for Mine Waste Disposal*”. Government of Canada.
- Morrison K.F. (2022). “*Tailings Management Handbook a Life-Cycle Approach*”. Colorado, EUA., Publicación SME: 181-210.