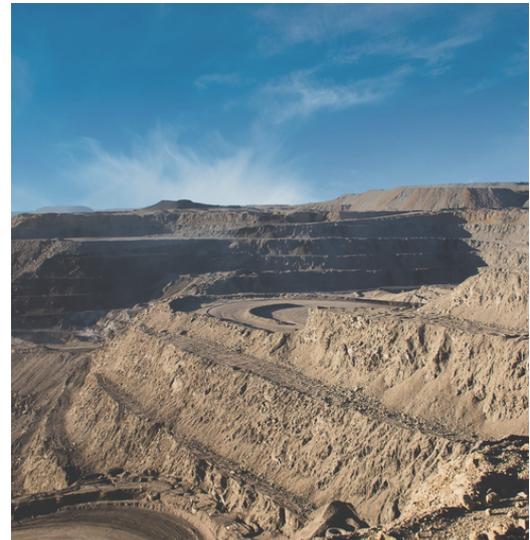


PERSPECTIVA

Análisis de Riesgos en la Industria Minera

Marzo, 2023



Paving the way for the future of mining

ÍNDICE

Sobre GEM.....	3
Introducción.....	4
Un Complemento al desempeño de metas económicas.....	5
Análisis de Riesgos: Experiencia capturada.....	10
Caracterización de la muestra.....	11
Lecciones aprendidas.....	15
Cumplimiento de valor planificado.....	18
Conclusiones.....	21
Contacto.....	22



SOBRE GEM

Con más de 14 años de experiencia y más de 400 proyectos exitosos implementados a nivel mundial, GEM es la consultora líder de la industria minera en Análisis de Riesgos.



MISIÓN

Somos una empresa proveedora de productos y servicios de ingeniería industrial de excelencia para la industria minera mundial. Buscamos pavimentar el camino para la minería del futuro, a la vez que maximizamos el valor del negocio de nuestros clientes a través de mejorar su capacidad para tomar decisiones estratégicas, por medio de servicios innovadores entregados de manera efectiva por un equipo profesional altamente calificado.

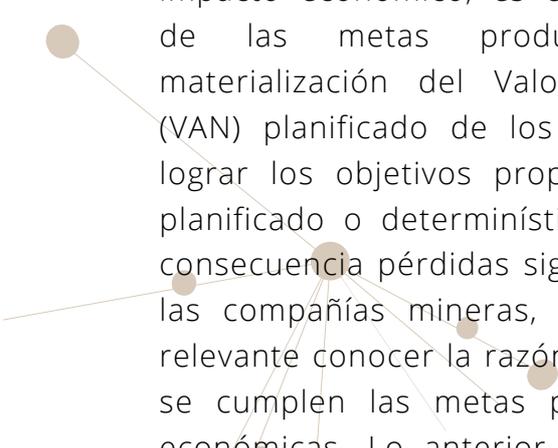
Contamos con 6 áreas de negocios:



INTRODUCCIÓN



Desafío Histórico

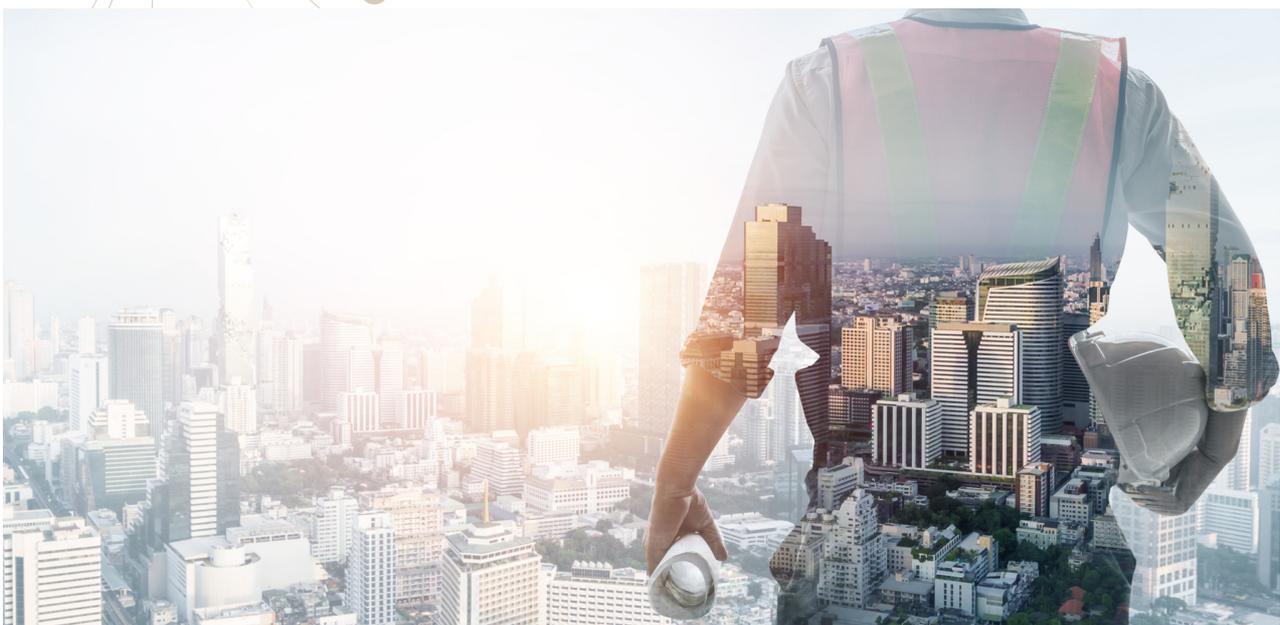


Durante los últimos años, la industria minera ha enfrentado distintos desafíos. Uno de ellos, asociado a un significativo impacto económico, es el cumplimiento de las metas productivas y la materialización del Valor Actual Neto (VAN) planificado de los proyectos. No lograr los objetivos propuestos a nivel planificado o determinístico tiene como consecuencia pérdidas significativas para las compañías mineras, por lo que es relevante conocer la razón por la cual no se cumplen las metas productivas y/o económicas. Lo anterior con objeto de reducir futuras desviaciones respecto a lo planificado. De acuerdo con la experiencia de GEM en la industria, una de las principales causas del incumplimiento de las metas determinísticas se refiere a que, al momento de realizar la evaluación, no se consideran todas las incertidumbres que podrían afectar a un determinado proyecto u operación o que las incertidumbres son identificadas, pero su impacto en la evaluación es subestimado.

Existen distintos tipos de riesgos que pueden generar un impacto en las etapas del proceso minero, como por ejemplo los de carácter técnicos, ambientales, económicos o sociopolíticos. Algunos de los riesgos más comunes dentro de la minería son el precio del *commodity* o producto principal, el plazo de ejecución de proyectos, la variabilidad del CAPEX o la recuperación metalúrgica de los productos. Debido a la probabilidad de materialización de uno o más de estos riesgos, siempre está presente la posibilidad de desviaciones en los indicadores planificados e incluso la viabilidad de un proyecto u operación. La solución a este problema, ampliamente utilizada en otras industrias, es la realización del llamado Análisis de Riesgos, el cual permite dar soluciones concretas al problema planteado.

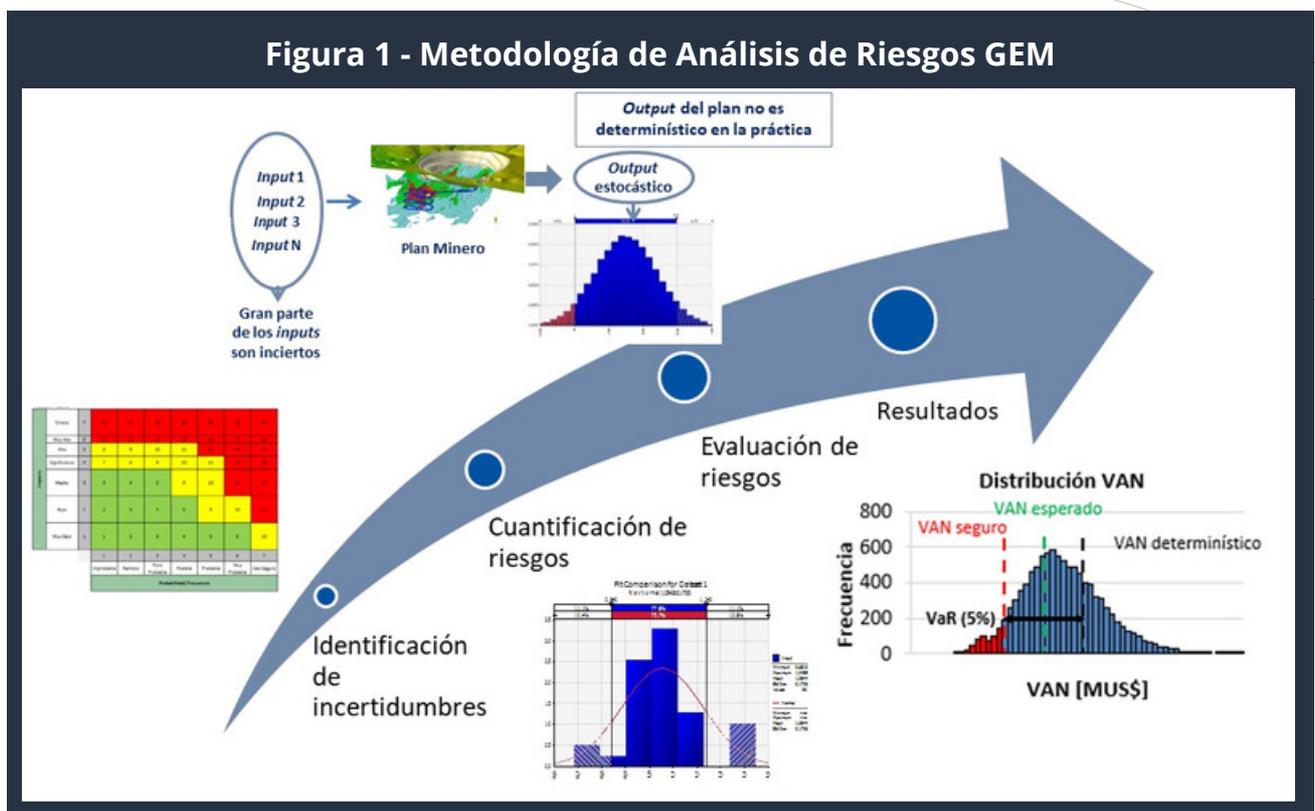
UN COMPLEMENTO AL DESEMPEÑO DE LAS METAS ECONÓMICAS

GEM ha realizado desde su fundación en 2008, alrededor de 200 Análisis de Riesgos a operaciones y proyectos mineros, los cuales permiten no solo identificar las incertidumbres que generan variaciones en una evaluación, sino que además permiten saber el impacto que tienen individualmente en el VAN. El resultado se manifiesta como el valor actualizado considerando estas variables, otorgándole ventajas competitivas a la compañía al poder mitigar aquello que represente una mayor amenaza. Por cumplir con las metas productivas de las operaciones y el VAN planificado en proyectos, es necesario considerar todo evento que pueda provocar desviaciones, permitiendo tomar medidas reactivas frente a estos cambios. Para prevenir, mitigar o aprovechar estas desviaciones, el Análisis de Riesgos presenta una herramienta eficaz y necesaria para determinar el valor esperado de la planificación y evaluar su robustez frente a nuevos escenarios.



GEM ha utilizado esta herramienta para apoyar a la industria minera a evaluar operaciones (minas en producción) y proyectos (en búsqueda de financiamiento o en desarrollo), identificando oportunidades de mejora y proponiendo alternativas para su desarrollo.

Para esto, GEM utiliza una metodología representada en la **Figura 1** que consta de tres pasos principales, basados en la norma internacional ISO 31000 (Risk management, Gestión del riesgo en español):



Identificación de riesgos: Se realiza un levantamiento de todas las incertidumbres y se identifican todos los riesgos considerados como significativos para la evaluación, teniendo en cuenta su frecuencia y magnitud de impacto. Los riesgos relevantes se determinan en base al nivel de criticidad del riesgo evaluado según las características particulares del estudio.

En esta etapa es de gran importancia **la participación de todas las áreas involucradas** de forma que el listado de incertidumbres generadas represente verazmente el escenario de riesgos en el que está inmersa la operación o proyecto evaluado.

Cuantificación de riesgos: Se realiza una cuantificación basada en datos históricos (cuantificación objetiva), criterio experto (cuantificación subjetiva) o ambos (cuantificación mixta). De esta forma, **los riesgos identificados como relevantes se modelan a través de distribuciones de probabilidad para representar su variabilidad.** Esta etapa es crítica dentro del Análisis de Riesgos, ya que se espera representar la realidad a través de modelos matemáticos. Los riesgos pueden tener dos orígenes, uno de ellos corresponde a los riesgos externos, cuya variabilidad es externa a las operaciones y proyectos. Por otro lado, los riesgos internos son aquellos que dependen del plan de acción y la estrategia de las compañías.

Evaluación de riesgos: Con los riesgos cuantificados se incorporan a la planificación y se realizan simulaciones de Monte Carlo en @Risk para determinar los impactos individuales o colectivos de los riesgos cuantificados en el plan minero-metalúrgico.

El resultado de esta etapa corresponde al **histograma generado para el VAN** en base a las iteraciones realizadas aplicando la variabilidad y sesgo respectivos de los riesgos incluidos. Generalmente, y bajo la experiencia GEM, existen sesgos entre las variables planificadas y el valor esperado de dichas variables.



Los resultados del Análisis de Riesgos son importantes para conocer los riesgos que más afectan la planificación, la robustez del proyecto frente a los riesgos y la flexibilidad de este ante distintos escenarios. Dentro de los resultados estadísticos importantes se destaca el Valor Seguro (el 95% de confianza estadística es el valor más usado en la industria minera en la experiencia de GEM), el Valor esperado y la Probabilidad de Cumplimiento, que resalta la cantidad de simulaciones que superaron la planificación inicial.

Asociado al Valor Seguro está el Valor en Riesgo, que representa el valor que aportan los riesgos a la valoración determinística inicial. En la **Figura 2** se observa de forma gráfica estas y otras métricas. De igual modo, en la **Tabla 1** se detallan los valores promedio para estos KPI en base a los datos recopilados por GEM para proyectos y operaciones mineras en un período de 13 años (2010-2022).



La importancia de conocer estas métricas radica en las metas que la propia compañía debe establecer. Por un lado, las metas con probabilidades de cumplimiento altas pueden ser fáciles de cumplir, pero no incentiva una buena gestión y tampoco maximizan el valor de la compañía.

Por otro lado, una probabilidad de cumplimiento baja del plan minero o del valor de un proyecto con respecto a la realidad de la empresa puede no llegar a materializarse, generando conflictos por no cumplir con lo prometido.

Por lo que es necesario establecer metas desafiantes, pero al mismo tiempo factibles para cumplir con los intereses de los stakeholders asociados.

En cuanto a las metas del valor planificado, la probabilidad de cumplimiento del VAN es del 35,2%. En otras palabras, casi dos tercios de los proyectos y operaciones analizadas no alcanzan a cumplir el VAN planificado o determinístico. De la misma muestra analizada, la media de la probabilidad de pérdida total de VAN (proyecto u operación con VAN negativo) es de 5,9%. Aunque este puede considerarse un “peor” escenario posible (En menos de un 6% de los casos podría obtenerse un valor más bajo), es al mismo tiempo evitable mediante una correcta Gestión de Riesgos que incluya los resultados obtenidos a partir del Análisis de Riesgos.

TABLA 1 - MÉTRICAS DE VAN EN RIEGOS PARA PROYECTOS Y OPERACIONES EVALUADOS POR GEM (2010-2022). FUENTE: GEM.

VARIABLE	PROMEDIO [%]
% Pérdida esperada VAN (N=60)	7,2%
% Valor en Riesgo (N=61)	57,6%
Prob. cumplimiento VAN (N=51)	35,2%
Prob. de pérdida de VAN (N=51)	5,9%

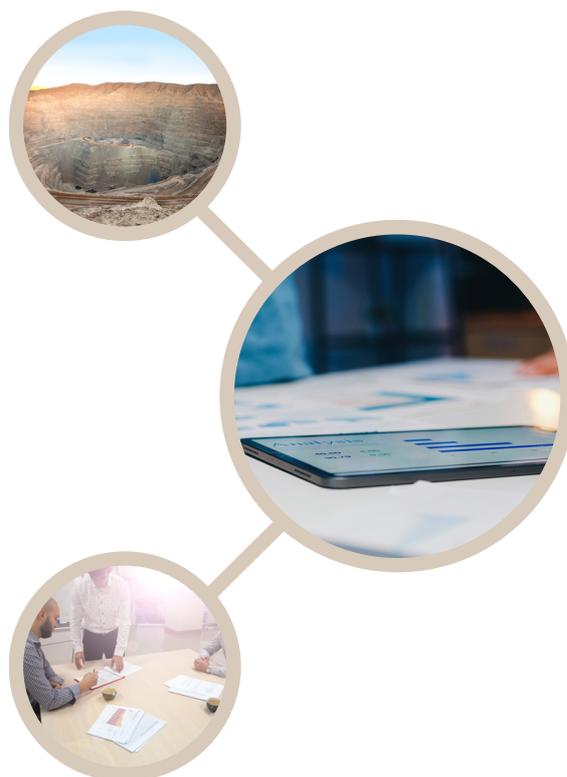
Nota: N corresponde al número de observaciones

Estos antecedentes demuestran lo fundamental de considerar los riesgos en cualquier plan, para que de esta forma se obtengan metas factibles y las propias compañías desarrollen medidas para poder enfrentar estos riesgos, aumentando su valor y asegurando su sustentación en el tiempo.

ANÁLISIS DE RIESGOS: EXPERIENCIA CAPTURADA

La identificación de incertidumbres da inicio al Análisis de Riesgos. La lista de incertidumbres a considerar depende de distintos factores diferenciadores entre evaluaciones, como la percepción de riesgo de los actores relevantes del estudio, los objetivos del proyecto, estrategia de la compañía, condiciones geológicas y geomecánicas del yacimiento, condiciones de la operación y planificación minero-metalúrgica, entre otros.

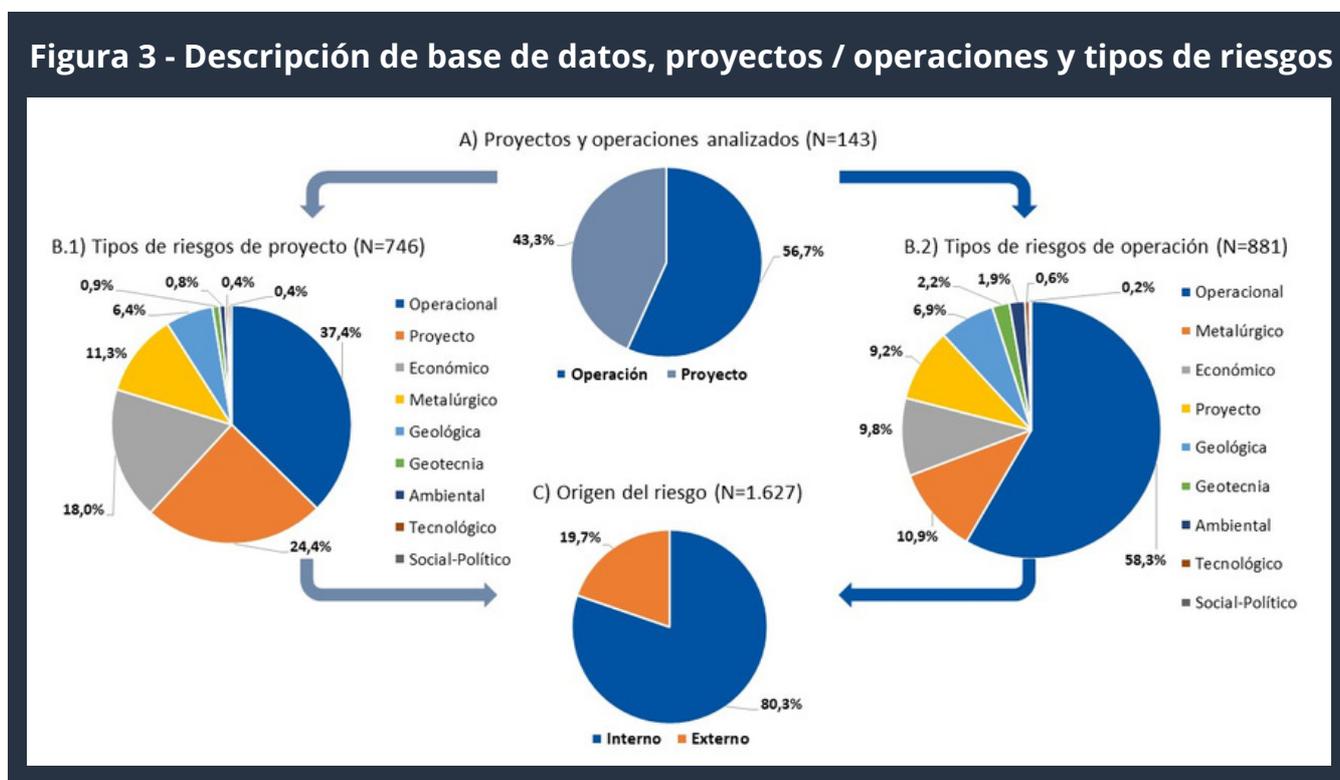
La composición del equipo a cargo de la identificación es uno de los factores más relevantes ya que puede generar un sesgo dada la inclinación a identificar incertidumbres de un área de estudio en particular y/o la no inclusión de incertidumbres significativas debido a la falta de un equipo multidisciplinario. De allí la importancia de que todas las áreas sean partícipes de la identificación de riesgos.



CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA

Un estudio de una muestra de 143 Análisis de Riesgos realizados por GEM en el período 2010-2022, permite dilucidar los principales riesgos identificados en proyectos y operaciones mineras, el tipo al cual pertenecen, su origen e impacto generado en la producción y/o VAN asociado.

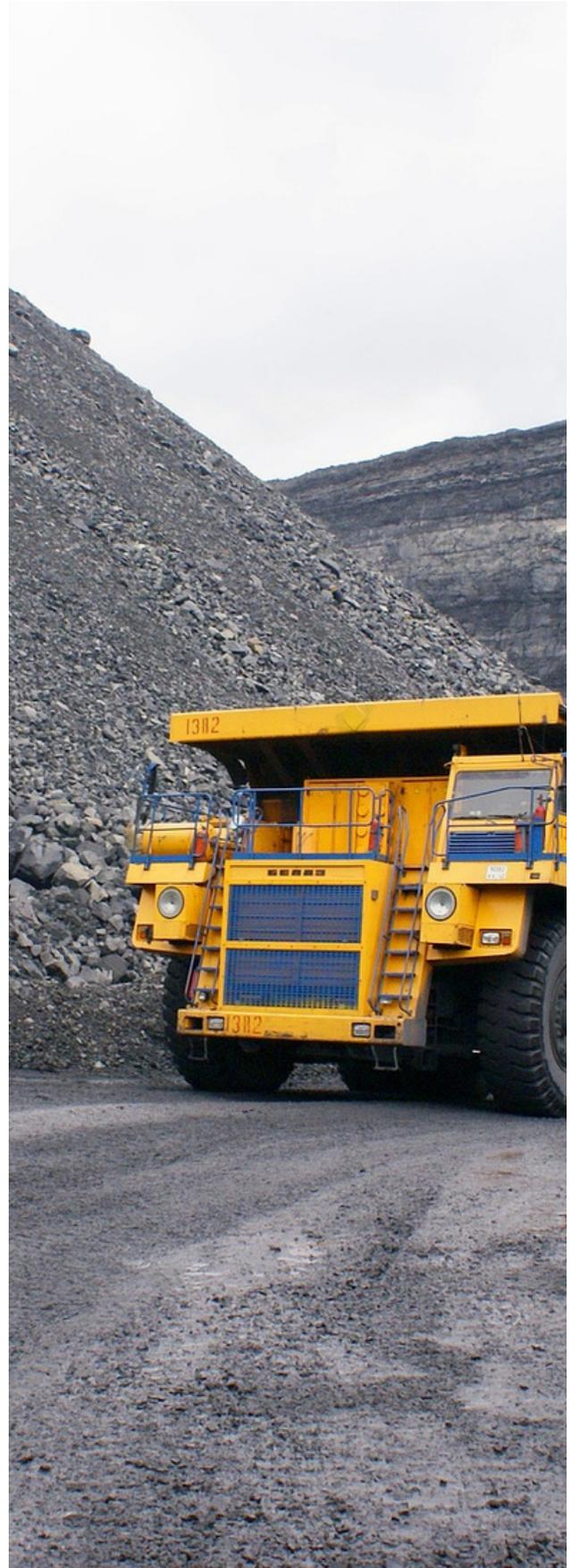
En base a los datos recopilados, se confirman algunas tendencias a la identificación de ciertos tipos de riesgos por sobre otros en proyectos y operaciones, información relevante para el conocimiento de los riesgos a tener en cuenta en fases tempranas del Análisis de Riesgos, esto se observa en la **Figura 3**.



Dentro de la muestra analizada, un 56,7% corresponde a operaciones, mientras que un 43,3% son proyectos (**Figura 3, A**), presentando una leve inclinación al análisis de operaciones a pesar de que en los últimos años el análisis de proyectos ha aumentado significativamente.

Los ejercicios de Análisis de Riesgos contemplan un universo de 1.627 riesgos distintos entre las operaciones y proyectos analizadas por GEM.

Para ambos se obtiene que los riesgos asociados particularmente al proceso minero (operacionales) tienen una mayor frecuencia dada por un 37,4% (**Figura 3, B.1**) en el caso de los proyectos y un 58,3% (**Figura 3, B.2**) en las operaciones, resaltando la importancia de los riesgos operacionales incluso en la etapa de proyecto. La disponibilidad o rendimiento de equipos son parte de este tipo de riesgos.



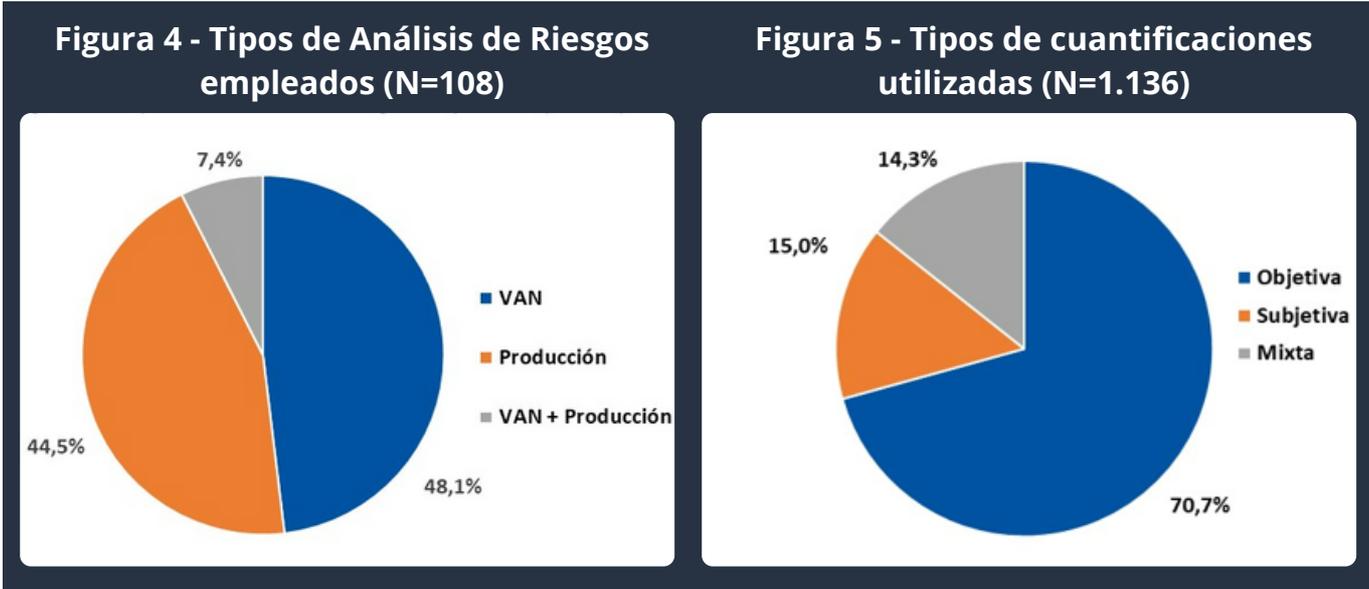
Los siguientes tipos de riesgos de mayor frecuencia para la muestra analizada son el metalúrgico (ej: recuperación, tiempos de procesamiento, etc), económico (precio del *commodity* principal y/o de subproductos, tipo de cambio, entre otros) y de proyecto (atraso en el plazo de ejecución, ramp up, entre otros). La distribución de la frecuencia de clases de riesgos observada se ha mantenido relativamente constante en el horizonte de evaluación señalado.

El origen de los riesgos identificados es principalmente interno, abarcando el 80,3% de la muestra (**Figura 3, C**), mientras que el restante 19,7% corresponde a riesgos externos, donde los últimos dan cuenta de la proporción aproximada de riesgos dentro de un proyecto u operación cuya fuente no radica en la planificación interna o ejecución de una operación, por lo que el plan de acción frente a estos riesgos consiste principalmente en medidas de mitigación.



La **Figura 4** presenta la distribución de tipos de análisis empleados, donde se desprende que en proporciones similares los estudios están enfocados en el impacto generado en el VAN (48,1%) y producción (44,4%), siendo estas las principales variables que determinan el valor de un proyecto u operación.

Para la cuantificación de los riesgos identificados, el tipo empleado con mayor frecuencia es la objetiva (70,7%), resultando en más de dos tercios de la muestra, en general existe una tendencia a este tipo de cuantificación debido a que es la que genera un menor sesgo del proceso, lo anterior se muestra en la **Figura 5**.



Nota figura 4: el número de observaciones (N) corresponde a los Análisis de Riesgos que especificaban si el estudio era dirigido a VAN, producción o ambos

Nota figura 5: el número de observaciones (N) corresponde a los riesgos cuantificados que especificaban el tipo de cuantificación utilizada

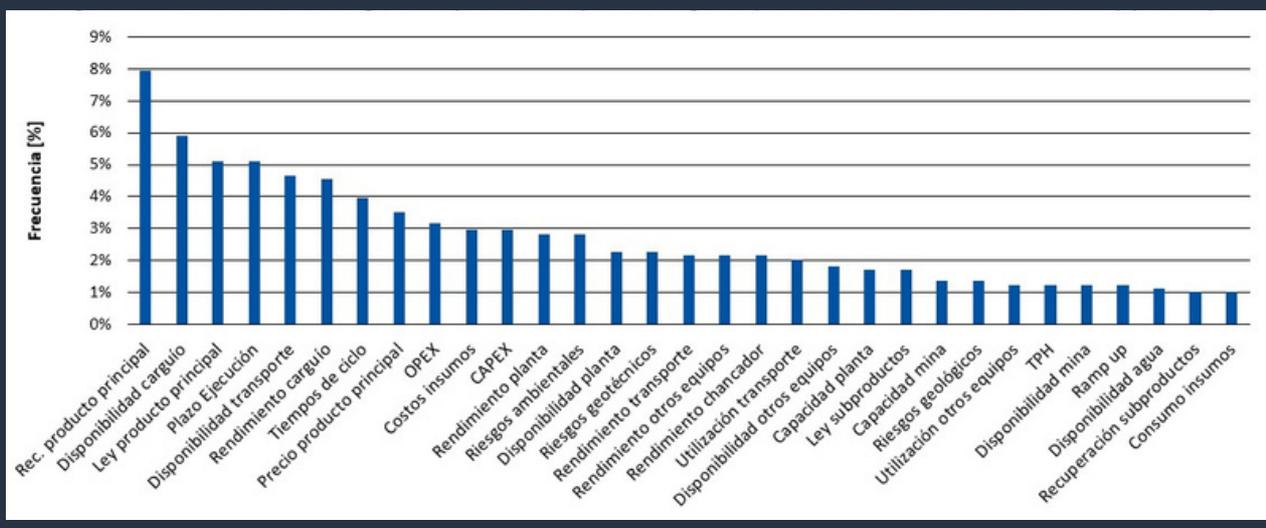
Cabe destacar que, si bien la cuantificación objetiva es dominante en el Análisis de Riesgos, en base a la experiencia GEM se evidencia un aumento de las cuantificaciones de tipo subjetiva y mixta en los últimos años. Esto se debe principalmente al aumento del uso de criterio experto en la cuantificación dado por el incremento de riesgos que carecen de datos históricos para su cuantificación y/o debido a la emergente conciencia de que no en todos los casos la historia representa fielmente el estado actual y futuro de un proyecto u operación.

LECCIONES APRENDIDAS

Realizando un enfoque en los riesgos identificados y cuantificados junto con su impacto, es necesario además analizar qué riesgos específicamente presentan la mayor frecuencia dentro del estudio para conocer su importancia. En la **Figura 6** se destacan los riesgos con mayor frecuencia para las operaciones evaluadas mediante Análisis de Riesgos.

La recuperación del producto principal junto con la disponibilidad de carguío son los riesgos más comunes dentro de las evaluaciones realizadas por GEM, con el 8% y 6%, respectivamente. Luego se observa que los riesgos asociados a la ley del producto principal, plazo de ejecución, disponibilidad transporte y rendimiento carguío son los siguientes en relación a su frecuencia de aparición en la muestra.

Figura 6 - Frecuencia de riesgos de operaciones (otros riesgos representan el 15,3% de la muestra) (N=881)

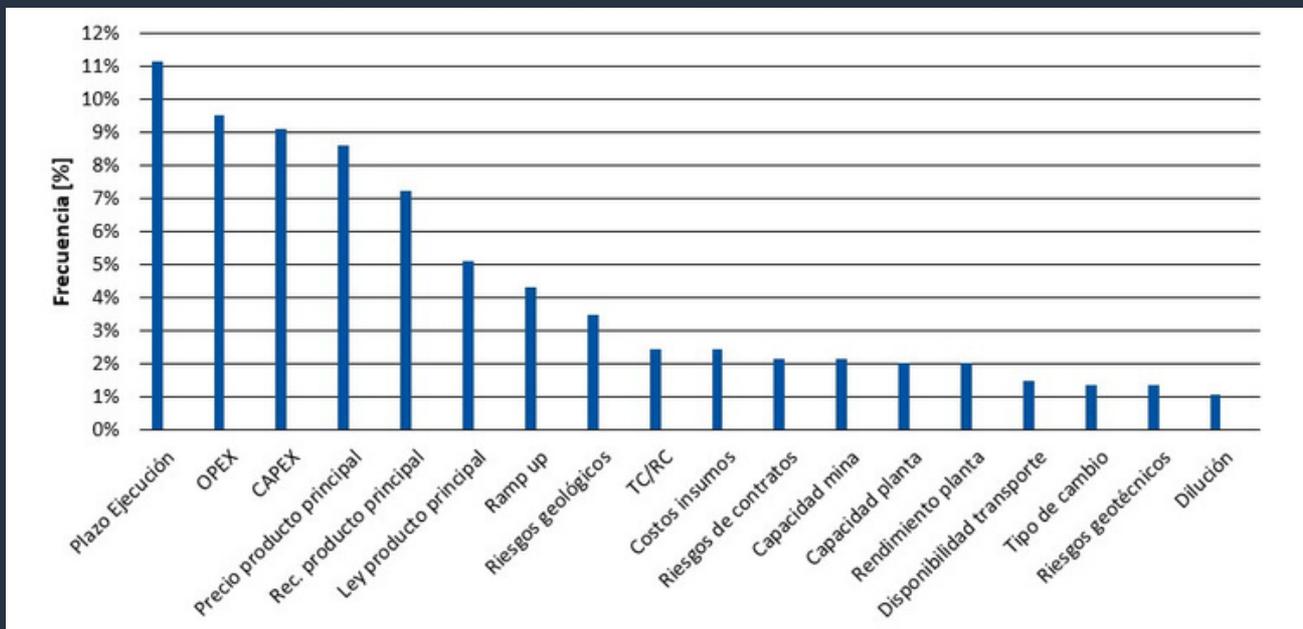


Nota: el número de observaciones (N) corresponde a la totalidad de riesgos de operaciones

Para el caso de los proyectos considerados en el análisis, la **Figura 7** muestra la frecuencia de los riesgos respectivos en la muestra. El plazo de ejecución emerge como el riesgo de mayor frecuencia con el 11,1% de los datos, principalmente debido a que el atraso en la ejecución de un proyecto es un riesgo inherente a este tipo de evaluaciones. El riesgo OPEX, CAPEX y precio del producto principal son los siguientes riesgos de mayor frecuencia con un 9,5%, 9,1% y 8,6%, respectivamente. Luego aparecen los riesgos de recuperación del producto principal, ley del producto principal y ramp up con una frecuencia entre 8% y 4%.

Es importante mencionar que hay riesgos que son evaluados tanto en proyectos como en operaciones. Este es, el caso de los riesgos de recuperación y ley del producto principal, así como el riesgo de plazo de ejecución. No obstante, independiente de la frecuencia de los riesgos empleados, el impacto que estos generan también determina la relevancia de los mismos para su inclusión en la evaluación.

Figura 7 - Frecuencia de riesgos de proyectos (otros riesgos representan el 23,2% de la muestra) (N=746)

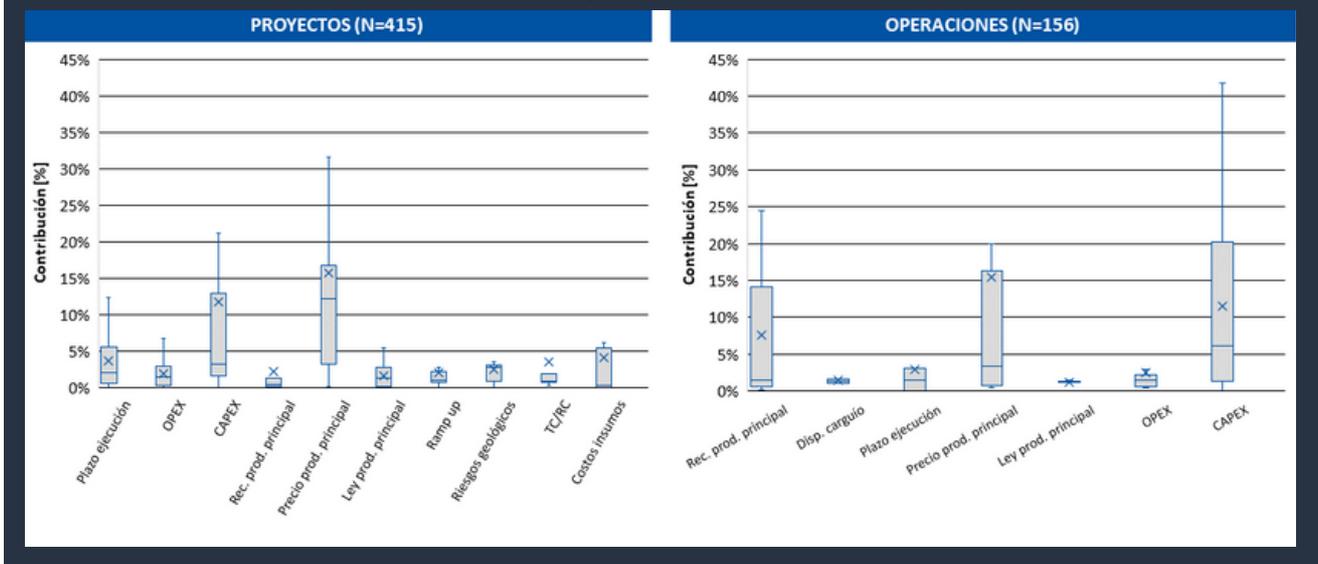


Nota: : el número de observaciones (N) corresponde a la totalidad de riesgos de proyectos

¿Qué es el Valor en Riesgo?

El VaR (Value at Risk, Valor en Riesgo en español), indicador de riesgo más utilizado en el Análisis de Riesgos, se define como la diferencia que existe entre el valor esperado del VAN, producción, o alguna otra variable relevante (que también se puede definir como un compromiso o meta), y su percentil 5% (o valor seguro al 5%), considerando de esta forma un nivel de confianza estadística de 95%. La introducción del VaR permite entender la magnitud de las potenciales pérdidas de valor que podría presentar el escenario de negocio o plan minero evaluado. Al comparar el VaR de diferentes escenarios se puede medir la pérdida de valor por el efecto que tienen las incertidumbres. Por ejemplo, dos escenarios de negocio pueden tener el mismo valor esperado del VAN, pero tener reacciones muy distintas al riesgo, es decir, un VaR diferente.

Figura 8 - Contribución de riesgos evaluados al Valor en Riesgo de proyectos y operaciones

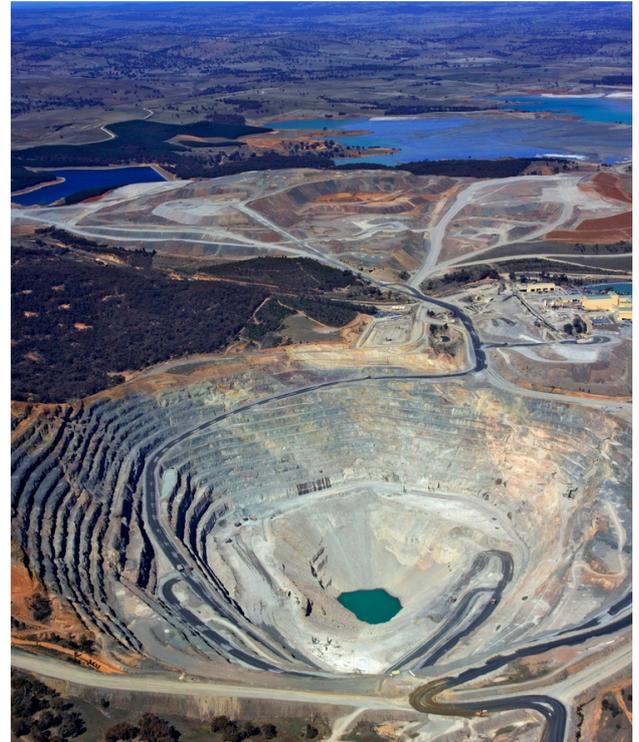


Nota: el número de observaciones (N) corresponde a los riesgos que presentan información respecto a su contribución al Valor en Riesgo

La **Figura 8** presenta los riesgos de mayor impacto en términos de su contribución al VaR para los proyectos y operaciones evaluadas. Se observa que en proyectos, el plazo de ejecución, CAPEX y el precio del producto principal son los riesgos que presentan una mayor contribución al VaR.

CUMPLIMIENTO DEL VALOR PLANIFICADO

Uno de los principales desafíos en minería es la incorporación de variabilidad en los planes minero-metalúrgicos y flujos de caja, ya que las evaluaciones determinísticas no son capaces de capturar la robustez y flexibilidad de proyectos y operaciones ante la materialización de riesgos que ocurren constantemente durante su desarrollo. En esta línea, el Análisis de Riesgos propone una solución a esta problemática, generando planes estocásticos que permiten al tomador de decisiones realizar un análisis completo que considera el ambiente de riesgos en el que se encuentra la evaluación y entrega los escenarios más favorables y pesimistas a tener en cuenta.



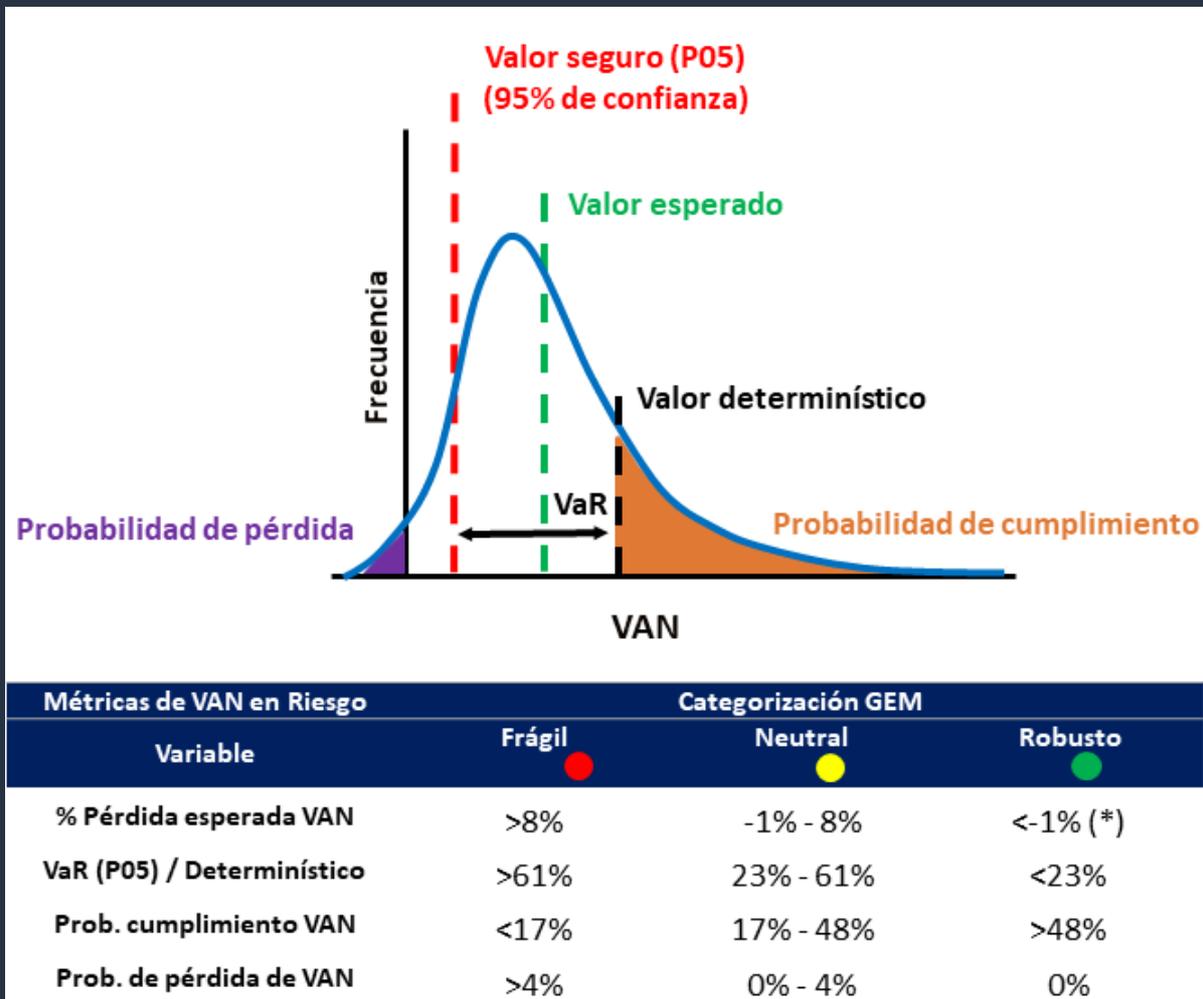
"Las evaluaciones determinísticas no son capaces de capturar la robustez y flexibilidad de proyectos y operaciones"

Mediante la evaluación de la probabilidad de ocurrencia e impacto que genera un grupo de riesgos a considerar en un plan, es posible identificar los riesgos más relevantes para el estudio y de esta forma tomar medidas de control y/o mitigación. Es por esta razón que el Análisis de Riesgos es una potente herramienta para la Gestión de Riesgos.

En base al análisis de contribución de los riesgos principales identificados al Valor en Riesgo en base a los resultados obtenidos de la muestra analizada se concluye que los riesgos de mayor impacto en operaciones son el CAPEX, el precio del producto principal y la recuperación del producto principal, mientras que para los proyectos los principales riesgos son el precio del producto principal y el CAPEX.

La **Figura 9** presenta las principales métricas del VAN producto de la experiencia GEM a partir del estudio de la muestra de distintos estudios de Análisis de Riesgos realizados en el pasado.

Figura 9 - Métricas relevantes de VAN en riesgo y categorización GEM para la industria



(*) La métrica de pérdida esperada es negativa en el caso que el valor esperado sea mayor que el valor determinístico
Nota: el número de observaciones (N) corresponde a los proyectos que presentaban datos de las métricas presentadas

Como se puede ver, la tabla dentro de la figura muestra tres intervalos para cada una de las métricas evaluadas. La categoría "Frágil" corresponde a los datos entre los percentiles 0% a 25%, la categoría "Neutral" corresponde a los datos entre los percentiles 25% a 75% y finalmente la categoría "Robusto" corresponde a los datos entre los percentiles 75% a 100%. Los intervalos correspondientes para cada categoría son indicadores que pueden ser utilizados por los proyectos para evaluar tanto la robustez como la vulnerabilidad en cada una de las métricas evaluadas.

Si se toma como ejemplo un proyecto de la gran minería del cobre en Chile se puede identificar el posicionamiento de este frente a la industria caracterizada por GEM en cada una de las métricas presentadas. En la **Figura 10** se puede ver el posicionamiento de dicho proyecto.

Figura 10 - Métricas relevantes de VAN en riesgo y categorización GEM para un proyecto de ejemplo

NPV-at-Risk metrics	GEM categorization			Example project	
	Fragile 	Neutral 	Robust 	Value	Category 
% NPV expected loss	>8%	-1% - 8%	<-1%	4.8%	
VaR (P05) / Deterministic	>61%	23% - 61%	<23%	10.1%	
NPV prob. Compliance	<17%	17% - 48%	>48%	7%	
NPV prob. of negative	>4%	0% - 4%	0%	0%	

El proyecto en cuestión tiene una pérdida esperada del 4,8%, por lo que es considerado neutral de acuerdo con la categorización GEM en dicho KPI. Por un lado, se puede ver que es un proyecto robusto frente al riesgo, ya que tiene un VaR de 10,1%, y además no corre riesgo de pérdida de VAN (es decir, es un proyecto que genera valor al inversionista incluso en un escenario muy negativo de materialización de riesgos).

Por otro lado, la probabilidad de cumplimiento del VAN es de sólo 7%, lo que es considerado frágil, mostrando así que, aunque el proyecto es robusto en cuanto a la no pérdida de valor, las metas económicas propuestas por el proyecto probablemente no serán alcanzadas (por lo que se pueden considerar optimistas).

CONCLUSIONES

El cumplimiento de las metas productivas y económicas, así como la ejecución de los proyectos en los plazos y montos planificados son parte de los grandes desafíos que enfrenta la industria minera. Lo anterior, puede tener como consecuencia pérdidas significativas para una empresa minera.

De acuerdo a la experiencia de GEM en la industria, una de las causas de no cumplimiento de las metas es que al momento de realizar la evaluación de un proyecto **no se consideran todas las incertidumbres** que podrían afectar su ejecución o el funcionamiento de una operación. Otro aspecto importante es que en ocasiones las **incertidumbres son identificadas, pero su impacto en la evaluación es subestimado.**

Este reporte de Perspectiva presenta una herramienta capaz de entregar una solución al problema antes planteado: Análisis de Riesgos. Esta es una herramienta eficaz y necesaria para determinar el valor esperado de la planificación y evaluar su robustez frente a nuevos escenarios. Además, permite conocer el impacto que cada riesgo genera en el VAN, identificar oportunidades de mejora o proponer alternativas de desarrollo.

GEM es la empresa consultora líder de la industria minera en Análisis de Riesgos. Ha realizado alrededor de 200 estudios de Análisis de Riesgos a operaciones y proyectos mineros de diversas empresas mineras (a nivel nacional e internacional). Esto le ha permitido generar métricas relevantes para determinar la robustez de un proyecto u operación.

En base a la experiencia GEM, los riesgos con mayor frecuencia e impacto en operaciones mineras son: (1) CAPEX, (2) recuperación del producto principal y (3) precio del producto principal. Para los proyectos, los riesgos de mayor frecuencia e impacto son: (1) precio del producto principal, (2) CAPEX y (3) plazo de ejecución.

Considerando el impacto de los riesgos en el VAN, es posible reportar indicadores relevantes para determinar las desviaciones de operaciones y proyectos respecto al VAN planificado. En los estudios de Análisis de Riesgos realizados por GEM, el porcentaje de pérdida esperada del VAN en promedio es de 7,2%, el porcentaje de Valor en Riesgo es de 57,6% y la probabilidad de cumplimiento del VAN en promedio es de un 35,2%.

Todo lo antes mencionado, muestra que el Análisis de Riesgos es una **herramienta imprescindible para incorporar los riesgos en cualquier plan, identificar oportunidades de mejora y de este modo, establecer metas factibles para una compañía,** para generar proyectos robustos ante la materialización de los riesgos.

AUTORES

ISAAC PAREDES

Ingeniero Especialista
iparedes@gem-mc.com

FABIÁN NEIRA

Ingeniero Analista
fneira@gem-mc.com

JUAN SERRA

Analista
jserra@gem-mc.com

JAIRO NAVARRO

Analista
jnavarro@gem-mc.com



CONTACTO

Chile: Av. Las Condes 12.461,
torre 3, oficinas 805-806,
Las Condes, Santiago

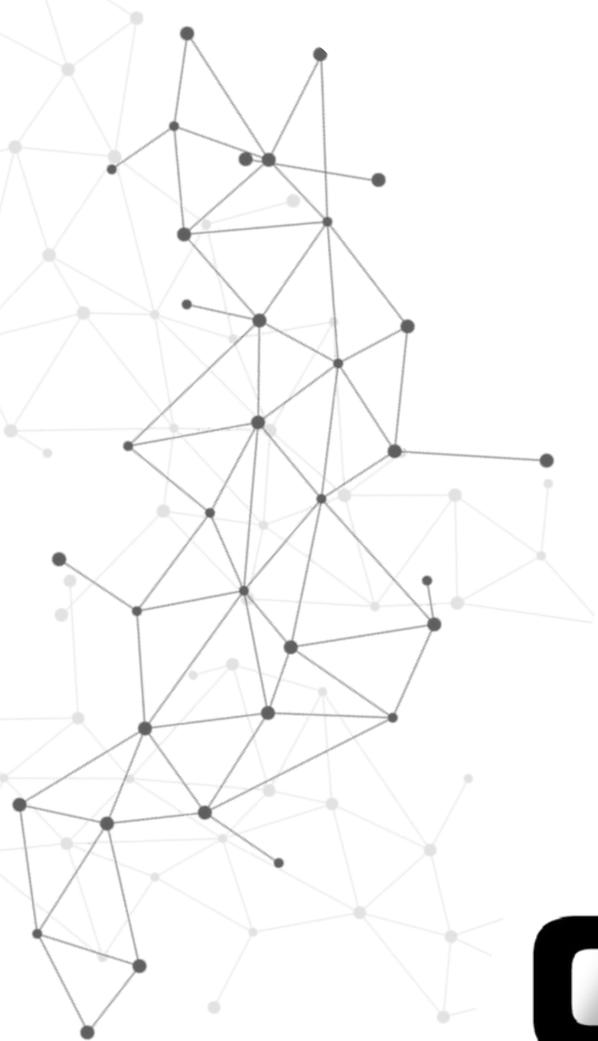
Singapur: 1 Raffles Place #40-02 One
Raffles Place Singapore (048616)

JUAN IGNACIO GUZMÁN

Gerente General
jguzman@gem-mc.com

<https://www.gem-mining-consulting.com>





Paving the way for the future of mining

