

EVALUACIÓN Y GESTIÓN ESTRATÉGICA DE ACTIVOS

UNA METODOLOGÍA PARA ASEGURAR EL CUMPLIMIENTO DEL PLAN DE PRODUCCIÓN DE CORTO PLAZO

*Christian Lichtin, Matías Marañón
GEM | Gestión y Economía Minera Ltda.*

MOTIVACIÓN: ¿SE GESTIONA LA INCERTIDUMBRE DE MANERA PRE- VENTIVA EN EL CORTO PLAZO?

En un contexto donde la productividad ha llegado a ser el principal riesgo de la Industria Minera (Ernst & Young, 2014), donde se exigen al máximo los activos de la compañía, sumado a la continua presencia de incertidumbres en la operación, la probabilidad de cumplimiento del plan de producción de corto plazo es muy baja. Con el objetivo de hacer más factible el cumplimiento del plan minero anual, una gestión preventiva de los riesgos existentes debe ser utilizada.

Efectuando una gestión preventiva capaz de contrarrestar los efectos de la materialización de las incertidumbres al interior de la mina, no solo se hace un uso eficiente de los activos, sino también disminuye la necesidad de recurrir a decisiones reactivas frente a la materialización de ciertas incertidumbres, lo que generalmente conlleva mayores costos. Un ejemplo de gestión preventiva es lo que actualmente se hace en muchas operaciones respecto a la mantención de equipos, en donde constantemente se realizan mantenciones preventivas con el fin de no incurrir en costos adicionales producto de reparaciones no programadas. Por otra parte, una acción reactiva sería el no seguir el plan minero de corto plazo y priorizar mineral en búsqueda de lograr la meta en producción de fino, pudiendo traer como consecuencia retrasar la extracción

del lastre programado, afectando negativamente la producción del próximo período y su presupuesto.

GEM, utilizando la experiencia acumulada en más de cinco años asesorando operaciones mineras a cielo abierto, ha desarrollado una metodología llamada Evaluación y Gestión Estratégica de Activos (EGEA), que permite calcular las diferencias existentes entre la meta de producción a corto plazo y la producción que es más probable de materializar al incorporar los riesgos de la operación, permitiendo justificar medidas de gestión preventiva para cerrar las brechas existentes entre producción planificada y realizada.

La metodología EGEA considera un nivel de detalle que permite estudiar y gestionar preventivamente los impactos

La metodología EGEA considera un nivel de detalle que permite estudiar y gestionar preventivamente los impactos que las incertidumbres generan en las fases y en las operaciones unitarias.

que las incertidumbres generan en las fases y en las operaciones unitarias. Esta se basa en la evaluación del cumplimiento del plan minero de corto plazo a través de un análisis de riesgos, y una posterior evaluación de la implementación de planes de acción preventivos o alternativas de mejora en la operación. Así se determinan los efectos en el plan minero y con ello se puede asesorar a la operación en el corto plazo respecto a la mejor manera de hacer una gestión preventiva para reducir la gestión reactiva y alcanzar la meta comprometida.

1. ENFOQUE DE LA PLANIFICACIÓN SEGÚN EL HORIZONTE DE TIEMPO

LA PLANIFICACIÓN

En minería a cielo abierto, cuando se habla de planificación minera se hace referencia a tres niveles de planificación (corto, mediano y largo plazo), cada uno con horizontes y objetivos distintos, pero que deben ser articulados de manera tal que maximicen el valor del negocio. Se comienza con la planificación a largo plazo, la que tiene como principal tarea – desde el punto de vista operacional – el cálculo de la envolvente económica, discretización de las fases de extracción dentro de la envolvente económica definida, determinación de la tasa y secuencia de extracción, diseño minero, y definición de requerimientos de flotas; todo esto en búsqueda de un plan óptimo que maximice el valor de la operación. La planificación a mediano plazo traduce el plan de largo plazo en un plan operativo (con un horizonte de tiempo típicamente de 1 a 3 años), logrando la definición de un plan de producción y el presupuesto que permitan alcanzar las metas de producción. Finalmente, es en la planificación a corto plazo en donde, a través de un plan de producción que generalmente es determinístico (es decir, no se considera la volatilidad de las variables que lo determinan) se llega a un máximo nivel de detalle respecto a la logística y los recursos requeridos en cada proceso unitario (carguío y transporte, perforación y tronadura, etc.), para lograr las metas de producción mensuales, y con ello cumplir con la planificación a mediano plazo en lo que refiere a producción y presupuesto.

DE LA PLANIFICACIÓN A LA OPERACIÓN

Como se mencionó anteriormente, dentro de los objetivos de corto plazo destaca la definición de la logística necesaria, estrechamente vinculada a la secuencia de extracción y gestión de equipos, para maximizar la producción de fino (ya que en el corto y mediano plazo se intenta cumplir con las metas de producción comprometidas). Sin embargo, dicho cumplimiento está sujeto tanto a restricciones operacionales como administrativas, tales como:

- **Geométricas:** respeto de la secuencia de extracción y ángulo de talud.
- **Geometalúrgicas:** manejo eficaz de material mina y material en *stock* para cumplir con los objetivos de ley.
- **Capacidad:** gestionar de manera eficiente los procesos unitarios en la mina, tales como la capacidad del sistema carguío-transporte, para lograr las metas de producción.
- **Presupuestarias:** lograr los objetivos dentro del presupuesto definido en la planificación a mediano plazo.

DESAFÍOS

Actualmente la planificación a mediano y corto plazo se apoya en distintos *software* que ayudan a la labor de los planificadores – con una componente de “prueba y error” – para determinar una secuencia óptima de extracción. Por otra parte, la metodología tradicional de planificación a mediano y corto plazo y la ejecución del plan minero (Operación Mina) tiene que lidiar con problemáticas provenientes del nivel de agregación con la que la planificación a largo plazo se realiza. Específicamente, existe una gran dificultad en el cumplimiento de las restricciones geometalúrgicas, ya que el nivel de agregación con el que se determina el

En el actual contexto de búsqueda de aumento en la productividad, sumado a la continua presencia de incertidumbres en la operación (e.g. disponibilidades de equipos, rendimientos efectivos o eventos geotécnicos), resultan planes muy difíciles o inviables de cumplir.

plan de largo plazo no garantiza que en el corto plazo las restricciones de leyes se puedan respetar. A lo anterior se suma que la definición del sistema carguío-transporte y el perfil de la Capacidad Mina obedecen a un plan de largo plazo que prioriza explotación masiva. No obstante, en el corto plazo la operación enfrenta una realidad selectiva, pudiendo aumentar el nivel de remanejo y así disminuyendo la productividad del sistema carguío-transporte y poniendo en riesgo la producción de fino (Vargas, 2011).

INCERTIDUMBRES

A los desafíos expuestos anteriormente, se agrega que la operación de corto plazo (con la correspondiente asignación de equipos) no está exenta de la materialización de incertidumbres, las cuales no han sido contempladas explícitamente en la definición del plan de producción (siendo este determinístico). De este modo, en el actual contexto de búsqueda de aumento en la productividad, sumado a la continua presencia de incertidumbres en la operación (e.g. disponibilidades de equipos, rendimientos efectivos o eventos geotécnicos), resultan planes muy difíciles o inviables de cumplir. Por lo tanto, evaluaciones de: i. El cumplimiento del plan minero de corto plazo, ii. La implementación de planes de acción preventivos, iii. La incorporación de la incertidumbre al momento de “operativizar” el plan

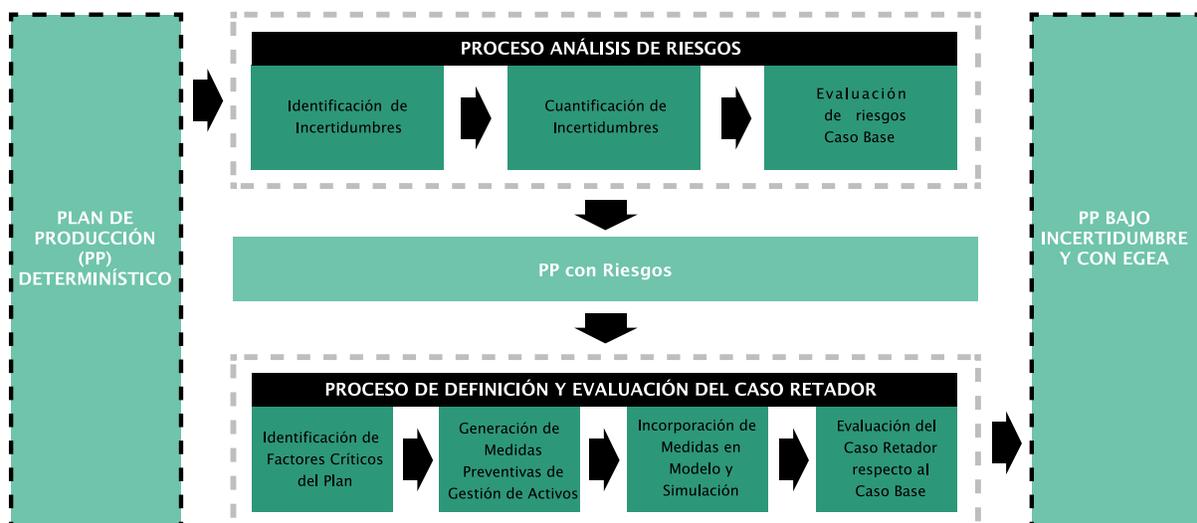
minero; son cada vez más necesarias para gestionar los impactos que incertidumbres operacionales y políticas de disminución de costos generan en el cumplimiento de las metas productivas.

2. EVALUACIÓN Y GESTIÓN ESTRATÉGICA DE ACTIVOS (EGEA)

Para realizar una EGEA es necesario realizar dos macro procesos. Primero se comienza con un análisis de riesgos al plan de corto plazo (Caso Base), en el cual se identifican y cuantifican las incertidumbres que podrían afectar su cumplimiento. Luego de este análisis se lleva a cabo el proceso de definición y evaluación del Caso Retador, en donde se determinarán los planes de acción preventivos y/o alternativas de mejora necesarias para contrarrestar el efecto de la materialización de las incertidumbres en el plan de producción. Se debe notar que también se puede estudiar el efecto que tendría en el cumplimiento del plan de producción una política de reducción de costos, como sería una renegociación de los contratos de reparación y mantenimiento.

En la **FIGURA 2.1** se resumen los pasos a seguir para la implementación de la metodología.

FIGURA 2.1: PASOS EN UNA EVALUACIÓN Y GESTIÓN ESTRATÉGICA DE ACTIVOS (EGEA)



IDENTIFICACIÓN DE INCERTIDUMBRES DE LA OPERACIÓN

El primer paso para incorporar riesgos en la evaluación de planes mineros consiste en identificar aquellas fuentes de incertidumbre que pudieran ser relevantes para el cumplimiento de las metas productivas de corto plazo, limitándose a incluir en el análisis solo aquellas con mayor impacto en la operación.

TIPOS DE INCERTIDUMBRES

Dado que las metas de corto plazo se traducen en el cumplimiento de una meta de producción, ya sea de cantidad de mineral y/o producción de fino, las incertidumbres que efectivamente tienen un impacto en el cumplimiento del plan de producción son internas de la operación, ya que las incertidumbres externas (e.g. permisos ambientales, tasa de interés, legislación, *royalty*, etc.) tienen un mayor impacto en la planificación de mediano y largo plazo o difícilmente pueden ser gestionadas durante la operación de corto plazo. En la **TABLA 2.1** se indican aquellas incertidumbres internas más comunes en la operación minera con potencial impacto en el cumplimiento del plan de producción de corto plazo.

TABLA 2.1: INCERTIDUMBRES INTERNAS MÁS COMUNES EN LA OPERACIÓN MINERA A CORTO PLAZO

| TIPO | INCERTIDUMBRES MÁS COMUNES |
|------------|--|
| Geología | Distribución de leyes, continuidad de las unidades geológicas |
| Geotecnia | Falla en paredes de la mina, deslizamiento de cuñas, derrumbe en bancos productivos |
| Metalurgia | Recuperación, ley de mineral soluble |
| Operación | Disponibilidad de equipos, disponibilidad de recursos humanos, falla en infraestructuras, variabilidad de la mezcla a planta, disponibilidad de insumos, restricciones ambientales, dilución, productividad de equipos, condiciones climáticas |

CUANTIFICACIÓN

Una vez que han sido identificadas las incertidumbres relevantes para las actividades operacionales del corto plazo, se hace necesario cuantificarlas. Este proceso en general requiere, además de la búsqueda de datos históricos y el uso de herramientas estadísticas, de una componente experta, así como de la visión de los planificadores respecto a los factores clave de la operación.

EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS AL PLAN DE CORTO PLAZO

Con las incertidumbres debidamente cuantificadas, obteniendo la categoría de riesgos, se está en condiciones de incorporar los riesgos en el plan de corto plazo que se desea evaluar, lo cual delimita el Caso Base. Esto último se logra a través de una modelación por fases, la que puede considerar variables geometalúrgicas y geotécnicas de las mismas, la interacción del sistema carguío-transporte a nivel de equipos para determinar la Capacidad Mina, la configuración de las flotas, y la influencia de distintos indicadores como productividad y otros relacionados al mantenimiento.

A través de un modelamiento del plan de corto plazo y posterior Simulación de Monte Carlo (Glasserman, 2003), que considere la materialización de las incertidumbres en la operación, es posible caracterizar el Caso Base con su probabilidad de cumplir la meta de producción.

DEFINICIÓN Y EVALUACIÓN DEL CASO RETADOR

Luego del análisis de riesgos, un proceso de definición y evaluación del Caso Retador es llevado a cabo para finalizar la EGEA. En primer lugar se deben identificar los puntos críticos del plan, lo cual se logra a través de la visualización de los sectores operativos más sensibles al cumplimiento de la meta productiva, es decir, aquellas fases en las que el plan no se estaría cumpliendo debido a la materialización de sus incertidumbres. El paso siguiente es generar medidas preventivas de gestión de activos para disminuir la brecha entre el Caso Retador y el Caso Base. Ejemplos de medidas podrían ser la reasignación en el carguío y/o transporte o la incorporación de un cargador frontal en la fase crítica. También se podría analizar el impacto en la producción y productividad de cambios en los contratos de mantenimiento, como lo sería un

aumento de riesgo debido a una reducción en el costo de contrato MARC (*Maintenance and Repair Contract*). Luego, las medidas son incorporadas en el modelo para realizar una nueva simulación. Finalmente, mediante la evaluación del Caso Retador respecto al Caso Base se determina el impacto positivo de las alternativas de gestión o acciones preventivas consideradas en el plan de producción, y de esta manera indicar cuál es la mejor manera, tanto operativa como presupuestariamente, que el Gerente Mina tiene para alcanzar la meta de producción comprometida.

Toda operación debiese considerar al menos cuatro fuentes de incertidumbres: Capacidad Mina, Capacidad Planta, Geología y Metalurgia.

3. APLICANDO LA METODOLOGÍA

Cuando ya han sido identificadas las incertidumbres relevantes, estas deben ser modeladas (cuantificadas) para luego estimar el impacto que tendrán en el cumplimiento del plan minero. Al momento de determinar o diseñar un plan minero se consideran valores determinísticos, omitiendo el impacto que genera la volatilidad de cada una de las variables en el plan minero, más aún en el corto plazo. Para obtener planes que presenten un alto grado de robustez (poca variabilidad frente a los riesgos identificados), con una alta capacidad de cumplimiento en el corto plazo, las incertidumbres debiesen considerarse al momento de determinar la manera en que el plan minero se ejecutará (la Operación Mina). No obstante, lo anterior no es una práctica habitual en minería, en donde los planes se generan con valores esperados, y por lo tanto, están expuestos a la materialización de múltiples riesgos.

Teniendo definido el plan minero de largo plazo, es decir, la guía que determina hacia dónde se dirige la Operación Mina, es necesario definir el plan de corto plazo que sea capaz de articular los objetivos propios de la planificación a largo, mediano y corto plazo. Es decir, la planificación a corto plazo, y la definición de cómo ejecutar dicho plan, son cruciales ya que buscan

cumplir con las metas anuales establecidas utilizando de la mejor manera los activos que la operación disponga. Sin embargo, en relación a la Capacidad Mina es poco probable que al momento de asignar equipos a las distintas fases definidas para el corto plazo se conozca el impacto de los riesgos asociados a estos equipos, ni tampoco cómo estos equipos interactúan con los demás eslabones de la Operación Mina. Esto es importante porque, si bien cada equipo tiene su comportamiento propio, la manera en que estos se asignan determina el desempeño de la operación obteniéndose cierta probabilidad de cumplir con los compromisos establecidos.

3.1. ENFOQUE EN CAPACIDAD MINA: SISTEMA CARGUÍO-TRANSPORTE

En base a la experiencia de GEM, toda Operación Mina debiese considerar cuatro fuentes de incertidumbre: Capacidad Mina, Capacidad Planta, Geología y Metalurgia. Sin embargo, en algunas operaciones pueden existir otras fuentes de incertidumbre relevantes, tales como geotécnicas. En la Perspectiva N° 3 “¿Por qué no se cumplen las metas Productivas? – Análisis de riesgos en minería” publicada por GEM en 2013, se muestra que la Capacidad Mina está en promedio bien estimada, es decir, al momento de considerar los riesgos de carguío y transporte, la Capacidad Mina resulta en promedio ser cercana a la planificada. Sin embargo, la alta variabilidad de la Capacidad Mina (la cual se ha determinado en el rango de [-10%, 16%] respecto al valor planificado), termina impactando de forma significativa en el cumplimiento productivo de corto plazo.

Dado que la Capacidad Mina de toda operación es el primer eslabón del proceso minero-productivo, es crucial que se explote el material que se deba extraer en el momento en el que se debe explotar. La capacidad de movimiento de material de la mina está dada por los equipos que trabajan en la misma, en especial los equipos de carguío y transporte. Por lo mismo, se busca siempre que estos equipos se mantengan la mayor parte del tiempo en actividad, en donde el cumplimiento de la Capacidad Mina, que depende de ciertos indicadores como lo son la Confiabilidad, Disponibilidad (D_f), la Utilización (UEBD) y el Rendimiento (R_{ef}), es la meta principal de toda Gerencia de Operaciones Mina.

GEM ha desarrollado evaluaciones principalmente

CAPACIDAD MINA AJUSTADA POR RIESGO

Por su parte, la Disponibilidad de los equipos puede obtenerse en base a MTTF (*Mean Time To Failure*) y MTTR (*Mean Time To Repair*). Esto permite modelar la Disponibilidad a un mayor nivel de detalle que posteriormente permita modificar el comportamiento de esta variable en cada equipo o flota de equipos. Esta se puede ver en la ecuación A.1.

$$D_f = \frac{\frac{\text{Tiempo disponible}}{\# \text{ de fallas}}}{\frac{\text{Tiempo disponible}}{\# \text{ de fallas}} + \frac{\text{Fuera de servicio}}{\# \text{ de fallas}}} \times 100\% = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

Tanto para la estimación de la capacidad de carguío como para la de transporte, la relación entre los conceptos mencionados, que se muestra en la ecuación A.2, es indistintamente válida.

$$\text{Capacidad}_t = HN * D_{f_t} * UEBD_t * R_{ef_t} \quad (\text{A.2})$$

Donde HN corresponde a las horas nominales de cierto periodo “t”.

Cabe destacar que la fórmula descrita en la ecuación A.2 es válida bajo condiciones determinísticas y también bajo incertidumbre. Con el objetivo de establecer la relación entre valores programados en el futuro y los que son esperables que realmente se materialicen, la metodología de factor de ajuste (FA) puede ser utilizada (Gestión y Economía Minera Ltda., 2013). Es importante destacar que a lo largo de los distintos estudios que GEM ha realizado ha identificado distintas maneras de cuantificar y modelar los riesgos, siendo la metodología del factor de ajuste solo una de ellas.

Entonces, la ecuación A.3 puede ser usada para ajustar la capacidad de carguío y de transporte por riesgo, siendo estas últimas comúnmente utilizadas en las evaluaciones que GEM realiza.

$$FA_{\text{Capacidad},t} = FA_{\text{Disponibilidad},t} * FA_{UEBD,t} * FA_{R_{ef},t} \quad (\text{A.3})$$

Dado que en el corto plazo los equipos están asignados a cada una de las fases de la operación, es posible estimar el riesgo existente en cada fase determinado por la asignación de equipos y también por la priorización que tenga cada fase. Por lo general, al tener problemas en la Capacidad Mina, se tiende a priorizar mineral por sobre el lastre con el fin de mantener la meta de producción.

con enfoque en un mediano-largo plazo, con el objetivo de medir los riesgos a nivel de la operación minera completa. En base a dichos estudios, GEM ha detectado que gran parte del cumplimiento de las metas establecidas dependen estrechamente de la Operación Mina (sin desconocer que hay una serie de otras variables con impactos importantes), ya que es el primer eslabón en el proceso productivo. Si a esto se le suma la importancia que tiene el corto plazo en lograr cumplir con la guía de largo plazo, es necesario

desarrollar metodologías enfocadas en la Operación Mina de Corto Plazo.

3.2. EJEMPLO NUMÉRICO

A continuación, a través de un ejemplo de un plan de producción anual – pudiendo ser el plan anual 2015 – se busca ilustrar cómo se realiza una Evaluación y Gestión Estratégica de Activos, la que considera en primer lugar la evaluación de riesgos en un plan de corto plazo. Luego, en base a las conclusiones extraídas

de la evaluación de riesgos se guiará a la operación a través de gestión preventiva, además de asesorar a la operación en alternativas de gestión reactiva, para aumentar las probabilidades de cumplimiento de la meta de producción de corto plazo.

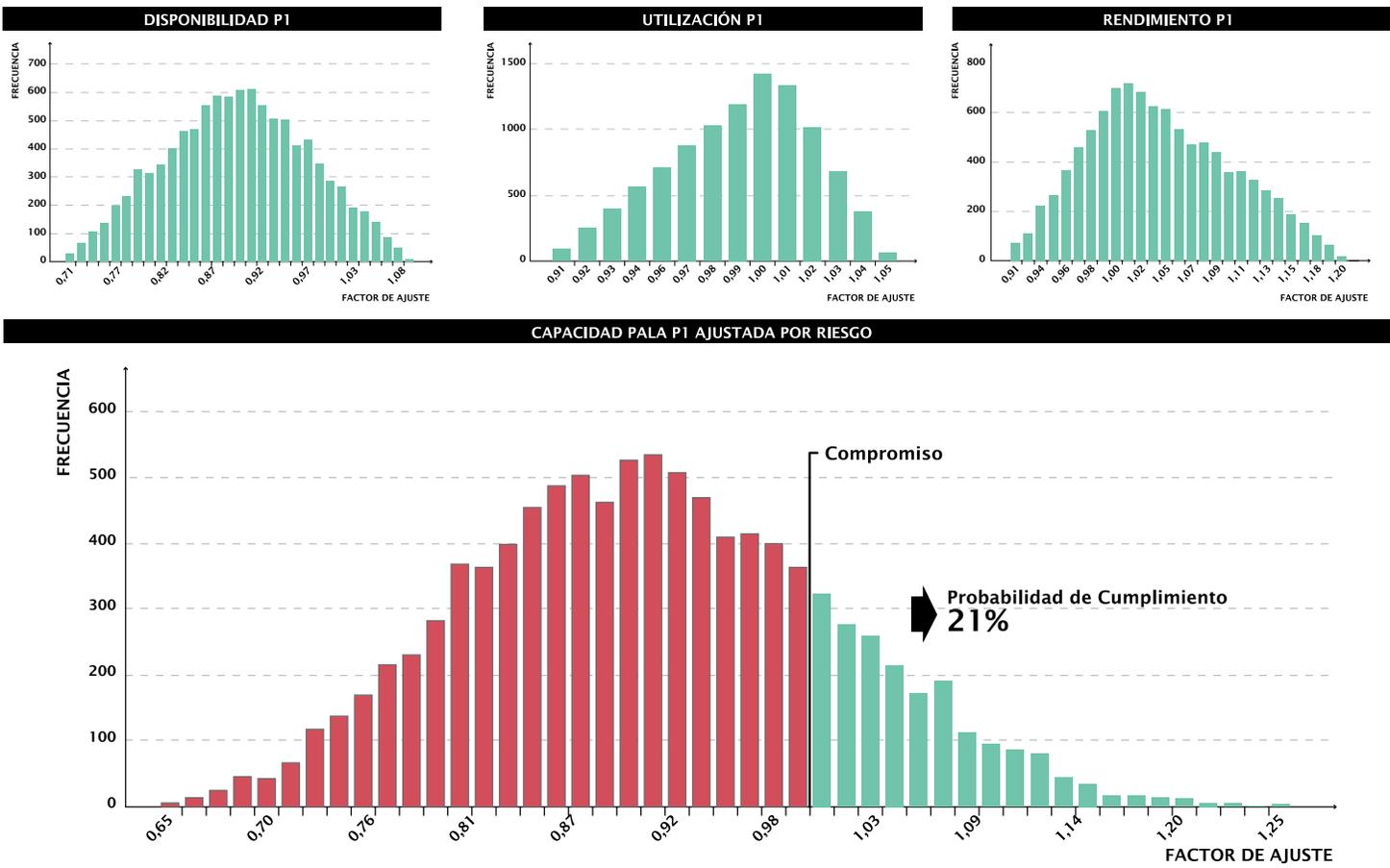
La **TABLA 3.1** muestra una posible asignación de equipos de carguío a cuatro fases del plan minero 2015, en donde los equipos de transporte no están asignados y tienen la flexibilidad suficiente para ser destinados a cualquiera de las cuatro fases. Por otra parte, existe un priorización en base a las leyes del mineral, postergando el lastre, en caso de ser necesario.

Siguiendo con el ejemplo, para cada equipo se identificó como incertidumbre relevante la Disponibilidad, el Uso de la Disponibilidad y el Rendimiento. Por cada equipo se modelaron cada una de estas variables con el fin de estimar la capacidad de carguío ajustada por riesgo, en donde para modelar estas variables se utilizó la metodología de factor de ajuste. Los resultados del

| Fases Mineras | Equipos de carguío | Equipos de transporte | Priorización |
|---------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Fase 1 (F1) | P1, P2 y P3 | | 1 (mineral alta ley) |
| Fase 2 (F2) | P4, P5 y P6 | Sin Asignación | 2 (mineral alta ley) |
| Fase 3 (F3) | P7, P8 y P9 | | 3 (mineral baja ley) |
| Fase 4 (F4) | P10, P11 y P12 | | 4 (lastre) |

análisis de la pala P1 se muestran en la **FIGURA 3.1**. Una vez realizado el mismo análisis para los otros equipos, estimando el riesgo para cada una de las fases mineras, es posible estimar la probabilidad de cumplimiento del plan de producción. Para ello se realiza una Simulación de Monte Carlo, y para determinar la

FIGURA 3.1: CUANTIFICACIÓN DE INCERTIDUMBRES MINA Y CAPACIDAD EN RIESGO



probabilidad de cumplimiento del plan se registra el número de iteraciones que resultaron con igual o mayor valor que el valor de la producción comprometida. Por otro lado, la **FIGURA 3.2** muestra los histogramas de movimiento de material total de la operación y de producción del *commodity*, ambos en riesgo. En dicha figura se aprecia que la probabilidad de cumplir con el plan minero es de un 2,1% en términos de movimiento de material, y de 13,1% en términos de producción comprometida. Esto se debe a la priorización de mineral y a la postergación del lastre. No obstante, la postergación indefinida de lastre no es factible en el largo plazo y en algún momento el lastre postergado deberá ser removido para mantener el mineral a la vista.

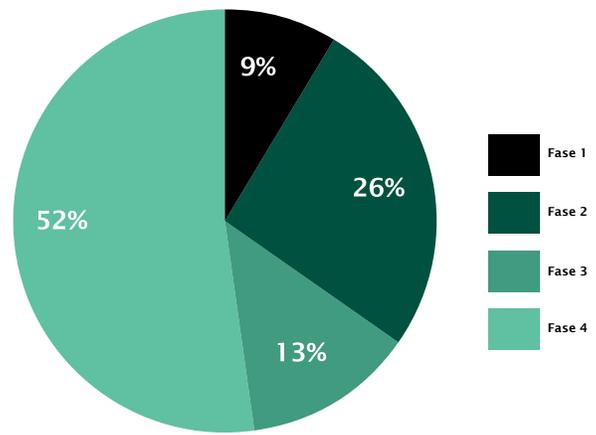
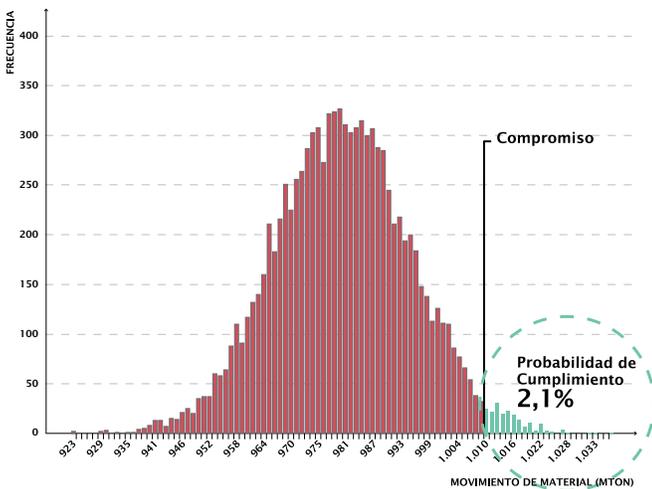
Finalmente, la **FIGURA 3.3** muestra el atraso promedio experimentado por cada una de las fases, en donde se aprecia que la Fase 4 presenta un mayor atraso alcanzando un 52% del material total atrasado en el año. Por otro lado, la Fase 2 posee un atraso mayor que el experimentado por la Fase 3, a pesar de que la primera tiene preferencia sobre la última (recordar la priorización presentada en la **TABLA 3.1**). Esto es debido a que el desempeño de los equipos de carguío de la Fase 2 es menor que los de la Fase 3, por lo que, más allá de que haya capacidad de transporte disponible, si no hay equipos para cargar el material este no puede ser extraído. Es por ello que el transporte disponible que la Fase 2 no es capaz de utilizar es asignado a las

FIGURA 3.2: MOVIMIENTO DE MATERIAL Y PRODUCCIÓN BAJO INCERTIDUMBRE

FIGURA 3.3: MOVIMIENTO DE MATERIAL Y PRODUCCIÓN BAJO INCERTIDUMBRE

HISTOGRAMA MOVIMIENTO DE MATERIAL

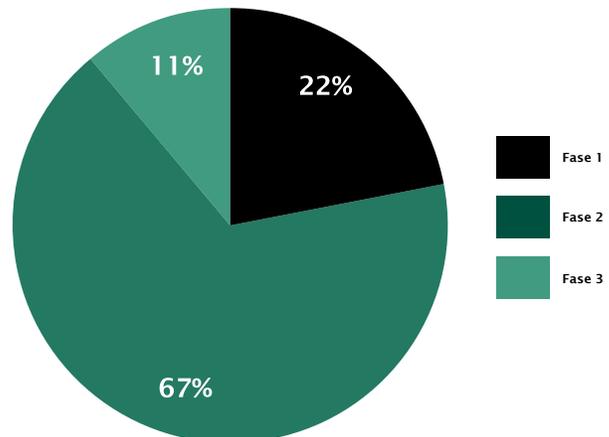
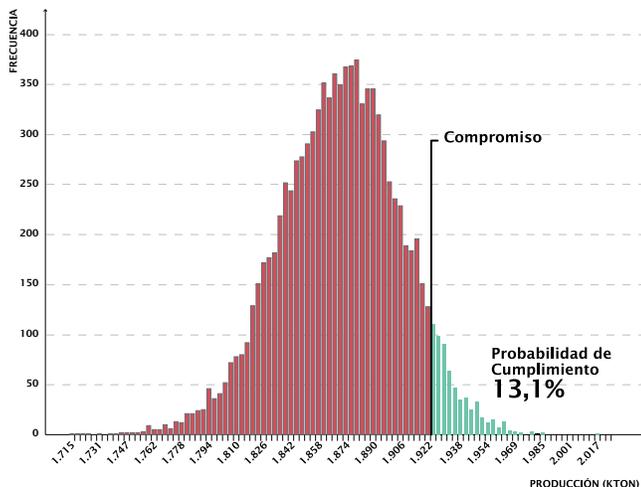
DISTRIBUCIÓN ATRASO DE MATERIAL POR FASES



ATRASO MEDIO TOTAL = 31 MTON

HISTOGRAMA PRODUCCIÓN DEL COMMODITY

DISTRIBUCIÓN ATRASO DE PRODUCCIÓN POR FASES



ATRASO MEDIO TOTAL = 49 KTON

Al tener claro cuáles son las fases que generan un mayor impacto en el cumplimiento de las metas productivas, es posible idear mecanismos que permitan mejorar la explotación de dichas fases utilizando los recursos de manera eficiente y eficaz.

fases con menor priorización. En base a lo anterior es posible identificar que la Fase 2 es una fase crítica en la operación, lo que queda ratificado al observar la distribución del atraso esperado de la producción, en donde la Fase 2 abarca más de dos tercios del total. Por otro lado, a pesar de que la Fase 3 posee un mayor atraso de material que la Fase 1, el atraso de esta última, al tener una ley promedio mayor, genera un mayor atraso en la producción. Esto es una muestra de que las fases de mineral no se comportan necesariamente de la misma manera al evaluarse bajo distintas métricas (atraso de material o atraso de producción).

A través de este tipo de análisis es posible determinar los “cuello de botella” de la operación y determinar cuáles son las fases críticas de la operación, y así establecer guías para la posterior gestión de los riesgos. Al tener claro cuáles son las fases que generan un mayor impacto en la probabilidad de cumplimiento de las metas productivas, es posible idear mecanismos que permitan mejorar la explotación de dichas fases utilizando los recursos de manera eficiente y eficaz.

Una vez realizada la evaluación bajo incertidumbre del plan minero, en donde se caracteriza la operación en términos de sectores críticos o debilidades del plan, es posible gestionar los riesgos. Es decir, el cuantificar los riesgos y luego evaluar los impactos que estos generan en el plan minero permite llevar a cabo una gestión preventiva. Dicho proceso es explicado en el siguiente Capítulo, en donde se mostrará cómo una gestión preventiva (específicamente cambios en el manejo de activos) aplicada sobre el mismo ejemplo descrito en esta sección, permite aumentar la probabilidad de cumplimiento del plan minero.

4. DEFINICIÓN Y EVALUACIÓN DEL CASO RETADOR

Ya identificadas las principales incertidumbres que existen en la operación minera, cuantificadas dichas incertidumbres y luego estimado el impacto que generan en las distintas metas que tenga comprometida la organización, se cuenta con suficiente información para gestionar los riesgos antes evaluados a través de acciones preventivas o de ciertas decisiones de carácter estratégico. La evaluación del caso sin gestionar es importante ya que es el Caso Base, el cual muestra cuál es la probabilidad de cumplir el plan incluidos los riesgos analizados, y cualquier tipo de gestión debe ser comparada contra dicho caso. Dicho de otro modo, una vez determinadas las fortalezas y debilidades de la operación, es necesario mejorar las partes que disminuyen la probabilidad de cumplir con los compromisos adquiridos y, por otro lado y no menos importante, mantener lo que se espera se esté realizando bien.

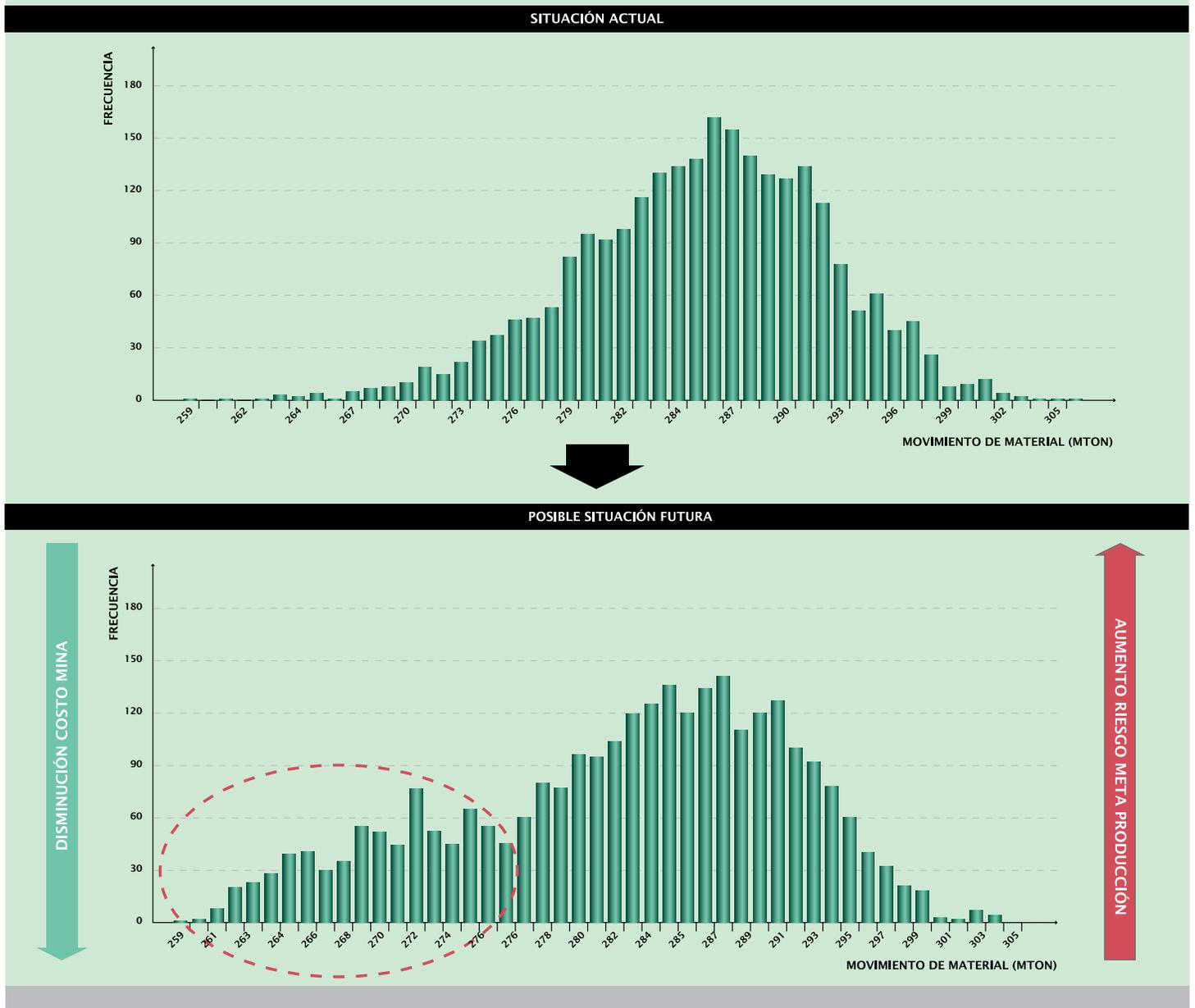
En relación al ejemplo del Capítulo anterior, al evaluar los riesgos se determinó que los equipos de carguío de la Fase 2 tienen mayores problemas para cumplir con los requerimientos que el plan minero les exige. Por otro lado, a pesar de que la explotación de la Fase 1 es la que mejor se realiza (es la que menos atraso de material presenta), al tener las mayores leyes, genera un impacto importante en el atraso de la producción (mayor que el que genera la Fase 3). En base a lo anterior, como primer objetivo se debe intentar mejorar la capacidad de carguío de los equipos de la Fase 2 y la Fase 1. No obstante, se debe tener en cuenta que la capacidad de extracción está determinada tanto por la capacidad de

La operación puede conocer a priori las debilidades de la Capacidad Mina, pero a través de estos análisis es posible determinar cuál es el nivel de riesgo existente, es decir, cuán lejos del cumplimiento del plan se encuentra la operación.

ALTERNATIVAS DE GESTIÓN

Es posible determinar el aumento en el riesgo si las condiciones de los contratos de terceros cambian. Por ejemplo, si en busca de la disminución del costo mina se decide recortar el costo en mantención (que alcanza entre un 30 y 40% del costo mina) esto puede aumentar el riesgo de cumplimiento del plan. A su vez, un análisis de este tipo permitirá determinar qué equipos son “cuello de botella” y cuáles no, siendo sobre estos últimos recomendada la redefinición de contratos de mantención. En la **FIGURA 4.1** se ilustra un ejemplo en donde un cambio en las condiciones de los contratos MARC afecta el comportamiento esperado del movimiento de material. Uno de los resultados importantes de la aplicación de esta metodología es la determinación de los activos que tienen cierta holgura, es decir, no están exigidos en su máxima capacidad, por lo que existiría espacio para la redefinición de los contratos asociados a dichos equipos.

FIGURA 4.1: IMPACTO DE POLÍTICAS DE REDUCCIÓN DE COSTOS

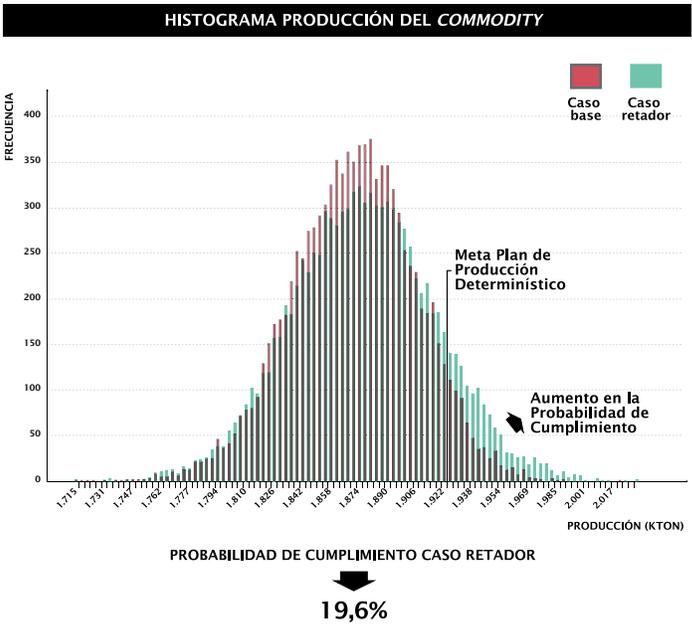
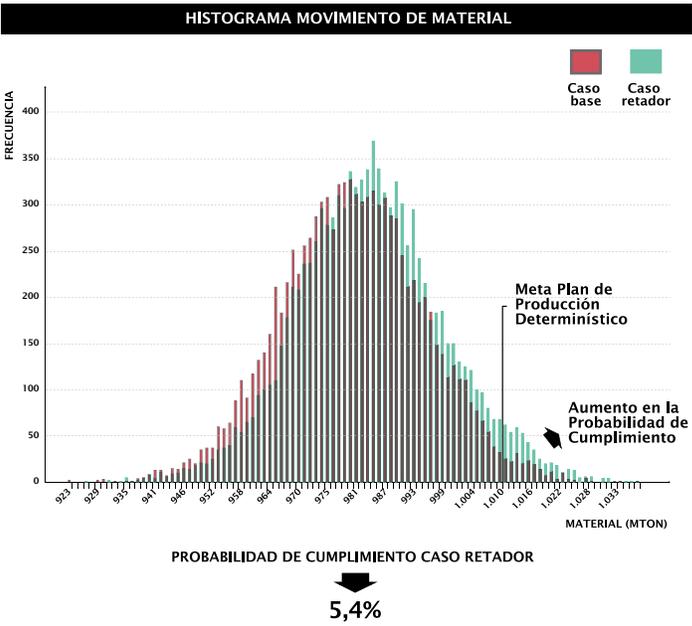


carguío como por la de transporte, por lo que no se debe descuidar la capacidad de transporte de la operación. Es importante determinar si el atraso de la Fase 4 se debe a problemas con los equipos de carguío en dicha fase o porque, dada la priorización de mineral sobre lastre, no existe capacidad de transporte disponible para el estéril (recordar que la Fase 4 corresponde a lastre).

Existen distintas maneras de fortalecer las fases críticas, ya sea por la inclusión de equipos de apoyo o por una reasignación de equipos que considere sus riesgos, en donde equipos con mejores indicadores estén en las fases más importantes (siendo todas estas acciones preventivas). La operación puede conocer a priori las debilidades de la Capacidad Mina, pero a través de estos análisis es posible determinar cuál es el nivel de riesgo existente, es decir, cuán lejos del cumplimiento del plan se encuentra la operación. Con esto se tiene mayor fundamento para justificar inversiones o equipos de apoyo que permitan tener un plan con mayor productividad y robustez.

Utilizando la misma operación minera del ejemplo del Capítulo anterior, se puede medir el impacto que generan ciertas medidas preventivas en relación al cumplimiento del plan minero. Al realizar una evaluación de los riesgos existentes en la faena se concluyó que la Fase 2 era una fase crítica, seguida de la Fase 1. Por otro lado, existe una gran cantidad de lastre que se atrasa producto de que la Capacidad Mina está siendo sobrestimada en la planificación y/o a la priorización de fases a raíz de la materialización de las incertidumbres. En la **FIGURA 4.2**, donde en rojo se muestra la distribución de probabilidad de cumplimiento del Caso Base y en verde la distribución de probabilidad de cumplimiento del Caso Retador, muestra cómo cambia la probabilidad de cumplir con el movimiento de material y la producción comprometidos al aumentar en un 10% la capacidad de carguío de la Fase 2. Existen varias alternativas que permiten lograr dicho aumento, y a través de una evaluación estratégica de diferentes alternativas de gestión de los activos es posible determinar cuál es la mejor opción, apoyando la toma de decisiones de la Operación Mina.

FIGURA 4.2: MOVIMIENTO DE MATERIAL Y PRODUCCIÓN CON GESTIÓN DE RIESGOS



REFLEXIÓN

Dentro del horizonte de corto plazo de una operación a cielo abierto, tanto encargados de la ejecución del plan de corto plazo como planificadores se enfrentan a una serie de restricciones e incertidumbres, lo que provoca que las metas productivas comprometidas sean difíciles de cumplir. Esto cobra aún mayor importancia al considerar

Una gestión preventiva suele tener mejores resultados globales que una reactiva.

el nuevo contexto operacional, caracterizado por una búsqueda de mayor productividad. Considerando los puntos anteriores, es imprescindible someter los planes a una EGEA, ya que dicha metodología permite: i. Identificar e incorporar las incertidumbres propias de la operación, ii. Modelar la operación de corto plazo con un alto nivel de detalle, iii. Identificar falencias y/o aspectos críticos de la planificación (una vez que son llevadas a la operación) y su impacto en el plan determinístico, y iv. Generar y evaluar planes de acción de carácter preventivo para poder acercarse a la operación a la meta operativa.

Por último, es preciso mencionar que la orientación de la metodología EGEA es asesorar a los encargados de la operación y planificadores de corto plazo respecto al potencial de cumplimiento del plan productivo, además de entender cómo dicho cumplimiento se ve afectado por sus incertidumbres y qué medidas preventivas se pueden tomar para enfrentar este panorama desafiante. Lo anterior se sustenta en la convicción de que una gestión preventiva suele tener mejores resultados globales que una reactiva, y que el principal objetivo a corto plazo es lograr la meta productiva, sin perjudicar la continuidad operativa al interior de la mina (a mediano y largo plazo) y sin salirse del presupuesto.



REFERENCIAS

Ernst & Young (2014). Business risks facing mining and metas 2014-2015. Disponible en: <http://www.ey.com/GL/en/Industries/Mining---Metals/Business-risks-in-mining-and-metals>.

Gestión y Economía Minera Limitada (2013). Perspectiva Nº 3: ¿Por qué no se cumplen las metas productivas? Análisis de Riesgos en Minería. Disponible en: <http://www.gem-ing.cl/persp.html>.

Glasserman, P. (2003). Monte Carlo Methods in Financial Engineering. New York: Springer.

Vargas, M. (2011). Modelo de Planificación Minera de Corto y Mediano Plazo Incorporando Restricciones Operacionales y de Mezcla. Disponible en: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-vargas_mv/pdfAmont/cf-vargas_mv.pdf.

Le ayudamos a identificar los aspectos críticos generando mecanismos que permitan lograr los compromisos de su operación

EVALUACIÓN Y GESTIÓN ESTRATÉGICA DE ACTIVOS PARA EL CUMPLIMIENTO DEL PLAN ANUAL



LE OFRECEMOS ASESORÍA
EXPERTA PARA CUMPLIR LAS
METAS DE SU PLAN 2015



GEM
Gestión y Economía Minera Ltda.

www.gem-ing.cl

CHRISTIAN LICHTIN

Ingeniero Civil Industrial con Mención Minería de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

clichtin@gem-ing.cl

MATÍAS MARAÑÓN

Ingeniero Civil Industrial con Mención Minería de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

mmaranon@gem-ing.cl

ACLARACIÓN

Este documento ha sido publicado por GEM|Gestión y Economía Minera Ltda. bajo el entendimiento de que su responsabilidad está limitada a proveer una opinión profesional e independiente. Aunque su preparación ha involucrado dedicación y cuidado razonables, GEM no garantiza la precisión del conjunto de datos, supuestos, predicciones ni de otras afirmaciones realizadas. Si el usuario utiliza este documento o su información para obtener recursos o tomar cualquier tipo de decisión que involucre otras compañías, GEM no acepta responsabilidad alguna frente a terceros, sin importar su proveniencia y sin limitaciones.

El presente reporte ha sido elaborado utilizando la Nueva Ortografía de la Lengua Española (RAE, 2010).

Este servicio ha sido entregado bajo los controles establecidos por un Sistema de Gestión de la Calidad aprobado por Bureau Veritas Certification conforme con ISO 9001. Número de Certificado: 8309

CONTACTO

WEB: www.gem-ing.cl

TELÉFONO: + 56 2 2225 30 21

AGRADECEMOS ENVIAR SUS COMENTARIOS DE ESTE ARTÍCULO AL

MAIL: contacto@gem-ing.cl

© Gestión y Economía Minera Ltda. (GEM). 2014. Derechos Reservados.