

## Implementation of strategic planning to mining in Colombia

Giovanni Franco-Sepúlveda <sup>a</sup> & Cristian Camilo Henao-Gómez <sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. [gfranco@unal.edu.co](mailto:gfranco@unal.edu.co)*

<sup>b</sup> *INGEX Grupo Minero, Medellín, Colombia. [chenao@ingexgrupominero.com](mailto:chenao@ingexgrupominero.com)*

Received: January 22<sup>th</sup>, 2015. Received in revised form: February 5<sup>th</sup>, 2015. Accepted: February 25<sup>th</sup>, 2015.

### Abstract

The main objective of this paper is to analyze the importance of strategic planning applied to Colombian mining. This research was performed the literature review and case studies of countries that have implemented a method that seeks continuous improvement of processes and making sound decisions mining companies based on factors that were not taken into account previously. We selected two investigations, one applied to surface mining and underground mining other, showing significant progress in using strategic planning as a means to an ongoing development. Each case is unique but can be applied anywhere in the world depending on the characteristics of the areas where the project will take place, also emphasizes the current framework of strategic planning and trends that this methodology presents a future in mining Colombia where intervention is necessary to achieve ideological and procedural significant development within the industries of the continent, it shows the lack of new methodologies and best in business investment from the country's mining institutions to mining companies.

*Keywords:* Colombia, strategic, mining, optimization, planning.

## Aplicación de la planificación estratégica a la minería en Colombia

### Resumen

El objetivo principal de este trabajo es analizar la importancia de la planificación estratégica aplicada a la minería colombiana, para ello se realizó la investigación y la revisión bibliográfica de casos de estudio en países donde se ha implementado un método que busca el mejoramiento continuo de los procesos y la toma de decisiones acertadas en compañías mineras, basados en factores que no eran tenidos en cuenta anteriormente. Se seleccionaron dos investigaciones, una aplicada a la minería superficial y otra a la minería subterránea, donde se muestra el avance significativo al utilizar la planificación estratégica como medio para lograr un desarrollo continuo. Cada caso es particular pero puede ser aplicado en cualquier parte del mundo dependiendo de las características de las zonas donde se desarrollan los proyectos mineros; También se hace énfasis en el marco actual de la planificación estratégica y las tendencias que esta metodología presenta a futuro en la minería colombiana donde es necesaria una intervención filosófica, ideológica y procedimental para lograr un desarrollo significativo dentro de las industrias del continente, se evidencia la falta de metodologías nuevas y óptimas en los negocios de inversión minera del país desde la institucionalidad minera hasta las compañías mineras.

*Palabras clave:* Colombia, estratégica, minería, optimización, planificación.

### 1. Introducción

En el marco del planeamiento minero los modelamientos basados en la planificación estratégica se postulan como una alternativa avanzada de diseño permitiendo un mejor desarrollo técnico en la minería. De ahí la importancia de este artículo, que expone una nueva visión en la planificación estratégica implementando dos métodos probados en otras economías, buscando siempre el retorno económico y financiero más productivo para las empresas, mostrando

algunos de los pocos trabajos desarrollados hasta el momento sobre este tema aplicado a la minería.

Se espera que la implementación de este método de análisis y diseño utilizando nuevos conceptos dentro de la planificación pueda ser formalizada en la minería colombiana con el fin de optimizar las operaciones e impulsar de manera positiva el desarrollo de la industria minera en el territorio nacional. Además, de que se conozcan otros métodos probados con grandes alcances dentro del negocio para toda la producción de minerales de interés económico. Se puede

mencionar en Colombia el carbón mineral con un 68% dentro del producto interno bruto (PIB) minero en 2011, el oro con 7% y el níquel con 8%, como los minerales que encabezan los ingresos en la minería colombiana [1].

Es el momento en el que la minería colombiana de un paso significativo en sus métodos de planificación para no quedar relegados dentro de la industria mundial, de ahí nace el propósito de este artículo que es fomentar la innovación en metodologías relacionadas con la minería mostrando métodos probados que brinden al país y a las empresas la capacidad de competir no solo en la industria nacional sino también en la mundial, generando valor agregado dentro de sus negocios.

## 2. Metodología

El presente artículo fue desarrollado en cuatro fases de ejecución secuenciales, basadas en la investigación bibliográfica y comparación de resultados, concluido un proceso investigativo se da comienzo al otro hasta finalizar la hipótesis manejada de la implementación de la planificación estratégica en la minería colombiana y sus posibles alcances, buscando en la minería nacional un mejoramiento continuo. Como primera fase se realizó una investigación bibliográfica de la planificación estratégica en diversidad de negocios de inversión a nivel mundial y nacional, en la segunda fase se identifican metodologías aplicadas en minería subterránea y de superficie de algunos sistemas de planificación estratégica que no estén siendo utilizados en Colombia, también se categorizaron las metodologías halladas con el fin de exponer los dos mejores resultados de la aplicación de la planificación estratégica en casos probados. Como fase tres se discutió cada metodología y se concluyó acerca de cada una de las sistemáticas ejecutadas en los proyectos mundiales analizando cada propuesta en la integración a la minería colombiana. Para terminar se tuvo en cuenta los posibles aportes del uso de la metodología en los negocios mineros colombianos y como debería aplicarse estos métodos en nuestra industria.

## 3. Aplicación mundial y resultados alcanzados

La gran minería de Australia en la última década ha tenido diversos cambios importantes en las operaciones mineras, reducciones de precios de los metales y una mayor competencia han impulsado a los operadores a reducir costos y mejorar la eficiencia de sus procesos [2]; pero es necesario preguntarse ¿quién planifica las minas? ¿Se cuenta con la capacidad necesaria para tomar decisiones acertadas en la planificación de un proyecto? Por esto se considera necesario implementar la planificación estratégica, permitiendo a las empresas implicadas en la explotación de recursos lograr la correlación de la estrategia comercial y la optimización minera, siendo esta de total dominio por parte de los directores de proyecto, de los analistas de mercado, vendedores, especialistas en finanzas, gerentes, geólogos y los ingenieros de planificación minera.

A la fecha se desarrollan nuevas aplicaciones en la minería mundial con base en los primeros trabajos de

planificación estratégica que entregaron resultados satisfactorios, sobretodo en el valor presente neto (VPN) de las industrias mineras, por este motivo se citan en este artículo dos ejemplos en los que la planificación minera ha generado grandes ganancias al ser aplicados en casos estratégicos. En primer lugar, está el caso de estudio de las minas del Valle de Hunter, Australia, donde actualmente se tiene minería de carbón a cielo abierto con operaciones gestionadas por Rio Tinto Coal [3]. Los planificadores siempre consideraron un entorno económico cambiante y para su desarrollo se realizó un trabajo llamado “Ataque por tres puntas”, denominado así por el autor y está dado por las siguientes restricciones:

- Modelo informático para un programa de la vida de la mina.
- Examinar todos los factores de valor para la operación.
- La producción, la minería, rendimiento de las plantas, el ferrocarril, los límites del puerto y plazos de entrega [3]

El modelo usado es la programación dinámica iterativa, con aproximaciones sucesivas para buscar el VPN máximo durante la vida útil [3]. En la ecuación (1) se puede ver el modelo utilizado en este caso de estudio.

$$V'(R, T) = 0 \leq r \leq R_{all}^{Max} \omega \left\{ c(t, r, w) + \frac{V'(R-r, T+t)}{(1+\delta)^t} \right\} \quad (1)$$

en donde:

V = Máximo VPN

R = Recurso en Mt

T= Tiempo (días)

Es un método donde se busca la mejor estrategia ( $\omega$ ) que maximiza la suma del flujo de caja ( $c$ ), para un incremento del recurso ( $r$ ) y el VPN máximo de la reserva, los flujos de caja de recursos restantes se descuentan (por  $\delta$ ) y comienzan después de que el incremento de los recursos se extrae (en el tiempo  $t$ ). En esta formulación, el valor máximo ( $V$ ), de toda la reserva se sustituye por una estimación del valor máximo ( $V'$ ), las políticas se controlan cada período y los ingresos y costos determinan el flujo de caja [3].

Los alcances generados por el uso de este método son significativos en el VPN llegando a varias conclusiones: se revisaron las posibilidades de optimización en las minas donde se ejecutan medidas alternativas de secuenciamiento o situaciones donde se den valor a los equipos. Adicional a esto, se requiere de gran trabajo en la recolección y manipulación de los datos para apoyar los análisis, pero se adquirieron conocimientos nuevos para re planificar diseños actuales y realizar diseños futuros. Para finalizar se observó que con un modelo computarizado, se adquirió la capacidad de analizar gran cantidad de alternativas de una forma rápida y consistente.

El segundo caso de estudio se fundamenta en la planificación de la minería subterránea australiana. Una metodología basada en una formulación entera mixta de programación matemática que ha sido desarrollada para la planificación estratégica subterránea donde se usa el método de corte y relleno. El objeto es maximizar el valor económico

esperado de concentrados de minerales o productos minerales liberados y seleccionados. La solución óptima se obtiene cuando la función objetivo está ligada a la minería, geología, transformación, comercialización, fundición, refinación, restricciones ambientales y financieras [4]. La metodología reside en definir la política óptima en cuatro aspectos:

- a. Acceso a los recursos geo metalúrgicos, modelos multivariados de depósitos minerales y definición de los escenarios estratégicos, tácticos y operativos.
- b. Definición de los factores estáticos y dinámicos que modifican durante la vida útil prevista de las operaciones mineras.
- c. Optimización de geometrías simultáneamente, las reservas de mineral, secuencias de minería, la minería y las producciones de procesamiento de minerales.
- d. Evaluar el valor económico esperado realista.

En resumen, la metodología se basa en una formulación de programación entera mixta matemática desarrollada en AMPL (*A Mathematical Programming Language*) usando el IBM ILOG CPLEX solucionador Optimizador para realizar los cálculos. Los resultados muestran que la metodología permite evaluar el valor económico esperado realista de concentrados mediante el acceso a recursos geo metalúrgicos y modelos multivariados de depósitos minerales, un número ilimitado de escenarios estratégicos, tácticos y operativos se pueden analizar en un corto plazo mediante la definición de los factores modificadores estáticos y dinámicos, geología, explotación, procesamiento, comercialización, fundición, refinación, las limitaciones ambientales y financieras y sus parámetros [4].

#### 4. Perspectivas de la minería colombiana con la planificación estratégica

La planificación será anticipar el posible futuro y actuar fundamentalmente sobre las salidas de las empresas. La planificación estratégica tiene que ver más con el entorno, cambio de las condiciones ambientales en que se desarrolla la vida de la empresa, uno de los cuales es naturalmente, el tiempo. Una decisión estratégica a corto plazo, puede ser parar una mina, por falta de rentabilidad en un mercado dado y en un momento determinado, y otra es dar inicio cuando han variado las condiciones del mercado. Toda empresa tiene una planificación estratégica bien sea formal o no, bien la lleve a cabo o no, es sólo cuestión de quien formula dicha estrategia. Si los altos niveles de la compañía no dan suficiente importancia a la planificación estratégica, otros niveles internos o inferiores de la organización lo hacen o lo que es peor, algunos elementos externos a la empresa como gobiernos, consumidores, clientes, competidores, ecologistas, sindicatos pueden forzarla y cambiar el destino de la empresa [5].

Las perspectivas de este artículo son mostrar nuevas metodologías de planeamiento basado en aplicaciones mundiales con resultados óptimos en su VPN y en el mejoramiento continuo de las compañías, se espera cambiar en parte la mentalidad de los dirigentes de la industria que han venido trabajando en algunos casos con tecnologías por decirlo de algún modo inadecuadas en comparación con las aplicadas en otros países mineros (Chile, Estados Unidos,

Canadá, Australia, etc.), se evidencia la necesidad de implementar nuevas metodologías para no quedar relegados en el tiempo y en los métodos y se espera que surjan muchas inquietudes sobre el tema. Se debe tener total conocimiento de las áreas profesionales involucradas dentro del negocio. La necesidad de involucrar a una amplia gama de profesionales dentro de las estructuras organizativas que pueden proporcionar un alto grado de interacción, la comunicación y la participación de una serie de operaciones complejas, muy especialmente, en el diseño de la mina son fundamentales [6].

Whittle y Cahill realizan varias preguntas en un estudio realizado en 2001 para obtener información de qué conocimientos se involucran en la planificación estratégica, los encuestados tuvieron que responder a preguntas sobre los procesos y las estructuras relativas a la etapa de factibilidad de una nueva mina o la expansión de una mina pre-existente, el propósito de estas preguntas fue la de construir una imagen de las responsabilidades dentro de la organización y la comprensión en cuanto a qué nivel se tomaron algunas decisiones [6]. Las mismas preguntas pueden realizarse a los ingenieros y planificadores de minas radicados en la industria nacional y saber con más certeza su conocimiento respecto a la planificación estratégica y adoptar caminos enfocados a una mejora en las labores mineras; las preguntas del estudio fueron:

1. ¿Quién decide cual debe ser el alcance básico del proyecto?
2. ¿Quién elabora los planes y que significan?
3. ¿De dónde vienen la información financiera como precios y costos proyectados?
4. ¿Quién decide qué tipos de descuento se debe usar?

Es fundamental estar basados en la estrategia comercial y la optimización minera para lograr que la planificación estratégica tenga un resultado óptimo en las minas de oro, carbón, materiales de construcción entre otras; explotadas por compañías como Cerrejón, Drummond, Cerro Matoso, Anglo Gold Ashanti, CNR, MPX, Prodeco, Gran Colombia Gold, Mineros S.A, Tolima Gold, Argos, Acerías Paz del Rio, Medoro Resources, etc. Se debe enfocar el trabajo en los dos pilares base (estrategia comercial y optimización minera) como muestra la Fig. 1.

Teniendo en cuenta la Fig. 1, se entiende por:

1. Estrategia comercial, un proceso que va desde la búsqueda de necesidades insatisfechas hasta la satisfacción misma mediante esfuerzos integrados, en el país las compañías mineras independiente del tamaño de sus explotaciones deben enfocarse a realizar una estrategia comercial teniendo en cuenta siempre la responsabilidad social que en muchos casos o en su mayoría está ausente en el momento de realizar una planificación, es desde lo social donde se encontrara un mayor soporte legal y de permanencia para las compañías en el medio, manejar los negocios de inversión de la mano de las comunidades involucradas asegura un entorno tranquilo en el transcurso de la vida útil de mina, adicional a esto se debe tener en cuenta el mercado y su entorno cambiante para realizar una estrategia adecuada para el manejo de los productos.

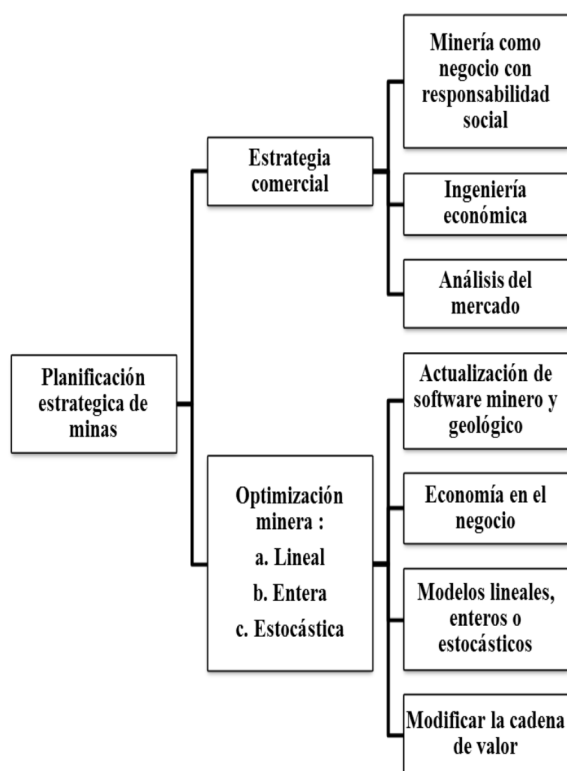


Figura 1. Enfoque de la planificación estratégica en Colombia.  
Fuente: Elaboración propia

2. Optimización minera, es básicamente un problema que puede ser resuelto a través de:

La programación lineal donde todos los parámetros se conocen con exactitud y determina las relaciones entre las variables de la función objetivo y las restricciones son lineales. El método comúnmente utilizado para resolver estos problemas se llama SIMPLEX; también con programación entera donde se presentan problemas en los cuales cualquiera o todas las variables deben ser enteros. Existen diferentes métodos de resolución de problemas mediante programación, estos son: Branch and Bound, planos de corte, ramas y corte, y meta-heurísticas y la programación estocástica que es una técnica de optimización que se utiliza cuando los problemas implican incertidumbre (en este caso la incertidumbre asociada a la geología, el mercado y los precios) Esta incertidumbre se puede representar a través de distribuciones de probabilidad o por medio de los escenarios posibles [7].

La optimización es el centro de enfoque donde se debe llegar, en las minas debe haber herramientas que permitan a los diseñadores o planeadores de diversas etapas de mina una mejor interpretación a futuro de los comportamientos de ésta teniendo en cuenta los cambios en el transcurso del tiempo. Es fundamental contar con software especializados en los temas específicos de minería (perforación y voladura, cargue y transporte, trituración y molienda, procesamiento, etc.) para realizar simulaciones que permitan una planificación de excelente calidad, implementando métodos que siempre tengan en cuenta la incertidumbre que hoy se pasan por alto en la actual forma de planificar de las compañías del país. En Colombia aún hay empresas que realizan sus cálculos y

diseños con herramientas inadecuadas y que no están diseñadas para propósitos tales como el diseño de labores mineras y la optimización.

Adicional a esto, las empresas deben dar a sus productos un valor agregado, no solo tener la mente en explotar un recurso para comercializarlo como materia prima, sino cambiar esa mentalidad que se tiene frente al mercado y entrar a competir con productos de alta calidad elaborados en la industria local, ver el negocio desde otro punto de vista modificando su cadena de valor. Si en Colombia se alcanza un nivel de planificación semejante al de los países con grandes niveles de producción, se puede lograr que la minería tome un papel fundamental en los ingresos no solo para el país reflejado en el PIB, sino también en generar una confianza inversionista que de la mano de la buena planificación y un buen manejo administrativo, llevarían a Colombia a convertirse en uno de los países con mayor crecimiento y desarrollo económico del continente.

5. Conclusiones

Se describen a continuación algunas de las conclusiones que surgen de la elaboración de este artículo.

Los ejemplos mencionados en este artículo son muestra de la gran capacidad que tiene la planificación estratégica en el sector, de la mano de otras ramas del conocimiento (geología, economía, sistemas, administrativa, entre otras) en conjunto pueden lograr un mejor rendimiento de las industrias analizando variables antes no tomadas en cuenta en un planeamiento minero, introduciendo herramientas tecnológicas (equipos y software) y capacitando el grupo de empleados o la fuerza de trabajo existente buscando un mejoramiento continuo de los procesos.

Se deben tener planificaciones mineras con una larga vida proyectada, que plantee soluciones a los problemas para las evaluaciones basadas exclusivamente en VPN, para asegurar una buena aplicación del método al usar variables estocásticas, introduciendo también las incertidumbres que hoy no se tienen en cuenta en la planificación de las industrias y compañías mineras disgregadas en el territorio nacional colombiano.

Las metodologías pueden ser aplicadas con grandes beneficios económicos laborales y sociales dentro del territorio nacional, siendo este un compromiso conjunto de las compañías para lograr ver resultados a mediano plazo tanto en la gran minería como en los pequeños mineros.

Es necesaria la ayuda estatal y gubernamental para hacer regir, controlar y verificar las normativas legales y garantizar que las metas trazadas por las compañías sean cumplidas a cabalidad basados en un plan de labores establecidas y aprobado por los entes encargados para no cometer los mismos errores que en el pasado y hoy día cuestan grandes ingresos al país.

Bibliografía

[1] Fedesarrollo. Impacto socioeconómico de la minería en Colombia. 1<sup>ra</sup> Ed. Colombia, Bogota, Digital, 2012.

- [2] Imrie, J., Ore flow optimization-mine to mill. [On line] 2012, Available at FTP: [www.hatch.ca](http://www.hatch.ca), Australia.
- [3] Wharton, C., Coal mining in the Hunter Valley-A strategic mine planing, case study. AusIMM Orebody Modelling and Strategic Mine Planning, Perth, 13 P., 2009.
- [4] Turner-Sad, G., Joint cut and fill mining and mineral processing methodology for the strategic mine planning process. 2<sup>nd</sup>. Int. Seminar on mining planning, Antofagasta, Chile, 16 P., 2011.
- [5] Moyano, F., Curso de evaluación y planificación minera, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Cátedra de Laboreo de Minas. Madrid, España, 2002.
- [6] Whittle, D., Who plans mines? Strategic mine planning conf. 12 P., Perth, WA, 2001.
- [7] Franco, G., et al., Stochastic optimization model in coal deposits. 2nd Int. Seminar on Mining Planning, Antofagasta, Chile, 10 P., 2011.

**G. Franco-Sepúlveda**, es graduado como Ingeniero de Minas y Metalurgia en 1998, Magister en Ciencias Económicas en 2006, y candidato a Doctor en Ingeniería, todos de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Colombia. Actualmente Profesor Auxiliar en dedicación exclusiva adscrito al Departamento de Materiales y Minerales de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Director del Grupo de Planeamiento Minero-GIPLAMIN, clasificado en Colciencias en categoría C.  
ORCID: 0000-0003-4579-8389

**C.C. Henao-Gómez**, es graduado como Ingeniero de Minas y Metalurgia 2014, de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Colombia. Joven Investigador del Grupo de Planeamiento Minero-GIPLAMIN. Actualmente Ingeniero Planeador de IngeX Grupo Minero S.A.S.  
ORCID: 0000-0002-8517-4610