

Nuevo algoritmo para programación de la producción minera

14

La minería es una industria compleja y altamente demandante de experticia y nuevo conocimiento. Esto debido a la gran cantidad de consideraciones que deben tenerse en torno a los inmensos volúmenes de material que remover, aspectos de seguridad, medio ambiente, gestión, optimización y finanzas, considerando además el hecho de que la planificación minera debe ser a largo plazo. Sólo a modo de ejemplo, en 2011 Codelco obtuvo ganancias de más de 17 mil millones de dólares en ventas y una producción de 1 millón 700 toneladas de material fino. Por ello avanzar en las mejoras que puedan hacerse en la fase de la planificación de la producción minera es crucial dado el potencial de influir positivamente en su valor.

En este campo de trabajo se encuentra Daniel Espinoza, Ph.D. en Ingeniería Industrial y Sistemas de Georgia Institute of Technology, con el paper *A New Algorithm for the Open-Pit Mine Production Scheduling Problem*, publicado en *Operations Research* en mayo de 2012. El trabajo presenta una nueva y mejor forma de solucionar el problema de qué material extraer y cómo y cuándo hacerlo. Esto es, considerando el factor de inter-temporalidad propio de un proceso a largo plazo. Con este nuevo algoritmo para planificación minera se obtienen resultados con una distancia no mayor a un 6% respecto del óptimo absoluto, que en términos prácticos es muy difícil de computar.

A modo de contexto es preciso señalar que la planificación minera se divide comúnmente en tres fases. En la primera se determina el modelo mediante el cual se divide la mina en bloques, a los cuales se les asigna un valor de acuerdo a su localización y a la ley de material que contenga. A esto se les denomina *economic block models*. Una segunda etapa consiste en la delineación del contorno final de la mina en donde se delimita la subregión en donde se extraerá el material; es necesario remover los bloques adyacentes a aquellos más rentables y en ciertos ángulos que consideren la viabilidad estructural de la mina y su apertura. Por último está la programación de la producción, que consiste en decidir qué bloques extraer, cuándo hacerlo y cómo. Si bien esta es la manera tradicional de planificación minera, no carece de limitaciones,

dada la complejidad y extensión del problema.

Según los registros de Espinoza y los demás autores: Renaud Chicoisne y Enrique Rubio, de la Universidad de Chile; Marcos Goycolea y Eduardo Moreno, de la Universidad Adolfo Ibáñez, el problema de programar la producción minera a rajo abierto se planteó a través de un modelo de programación entera “holístico y exacto”, Johnson en 1968. Sin embargo, el gran tamaño de instancias reales (hasta 10 millones de bloques) hace impracticable la aplicación real de estos modelos sin pasar por numerosos métodos heurísticos que carecen de exactitud.

Los autores propusieron una nueva descomposición de dicho método, resolviendo la relajación de la programación lineal (LP) en un lenguaje de programación sofisticado (C-PIT) considerando como restricción la capacidad por período de tiempo. Los cálculos muestran que se puede resolver, en minutos, la relajación LP para la implementación en instancias reales con más de 5 millones de bloques y 20 períodos de tiempo.

La metodología

La metodología contó con tres pasos. En primer lugar, el trabajo consistió en resolver la relajación de la programación lineal de C-PIT con un nuevo método de descomposición denominado *critical multiplier algorithm*. Segundo, se aplicó una heurística de redondeo a la solución fraccionaria obtenida de dicho algoritmo. En tercer lugar, se usó una heurística de búsqueda local para mejorar la calidad de las soluciones obtenidas por la heurística de redondeo.

Todos los algoritmos fueron desarrollados en lenguaje de programación C y los test computacionales se llevaron a cabo en un computador con Linux 2.6.9, 32 GB de RAM y dos procesadores Quad-Core Intel Xeon E5420.

Resultados y seguir avanzando

Los resultados obtenidos fueron soluciones enteras respetando las limitaciones de capacidad por período de tiempo. La implementación encontró una solución distante, a lo más un 6% del óptimo en pocos segundos. Un siguiente paso heurístico permitió encontrar

soluciones aún mejores (3%) en tiempo mayor de procesamiento (una hora). Para la mayoría de los casos, se obtuvieron soluciones en el 1-2% de optimalidad, dejando funcionar la heurística durante más tiempo. Métodos anteriores, se afirma en el *paper*, han sido capaces de hacer frente a los casos con sólo hasta 150.000 bloques y 15 períodos de tiempo.

Para los autores, mediante el citado artículo, se ha podido demostrar que es posible hacer frente, con éxito, a la formulación C-PIT en casos de tamaño real, considerando una o dos restricciones de capacidad de recursos por período de tiempo. Sin embargo, señalan, esto es solamente una prueba de concepto que no toma en cuenta ciertas limitaciones operacionales.

El próximo paso natural consistiría en ampliar el *critical multiplier method* para trabajar explícitamente con múltiples restricciones; reemplazar el modelo de restricción de capacidad fija por uno para capacidad variable. El segundo paso, un poco más adelante en la gran cadena de decisiones y acciones de una programación de gran tamaño, sería extender esta metodología para trabajar con múltiples destinos para cada bloque (Johnson 1968), problema que Bienstock y Zuckerberg (2010) abordan con mayor profundidad.

Paper de Daniel Espinoza y otros autores publicado en *Operations Research* en mayo de 2012.



Daniel Espinoza

Profesor Asistente del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile.