

Título

Fast algorithms for open pit planning: Tackling uncertainty in mining.

Autores

Xavier Emery, Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Chile.

Enrique Jélvez, Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Chile.

Nelson Morales, Grupo de Planificación Minera, AMTC, Universidad de Chile.

Manuel Reyes-Jara*, Grupo de Planificación Minera, AMTC, Universidad de Chile.

Resumen

Dos temas centrales en planificación minera son el determinar del pit final y el agendamiento de bloques. El primer problema, permite definir los límites totales de un yacimiento, dimensionando así la inversión y su vida útil y, por lo tanto, estableciendo una primera aproximación al valor y tamaño del negocio. El segundo, del agendamiento de bloques, consiste en definir qué porciones del yacimiento serán extraídas y procesadas en cada período, construyendo así el plan de producción y, en consecuencia, la promesa productiva por cada período, los flujos económicos y el VAN.

Para ambos problemas, existen algoritmos (como el de Lerchs & Grossman [L&G], para pit final) o modelos que permiten encontrar soluciones óptimas (como el de Johnson, para el agendamiento). Sin embargo, estos algoritmos y modelos no consideran la existencia de incertidumbre (geológica, operacional o de mercado), teniendo una aplicabilidad limitada cuando se considera la variabilidad estocástica de ciertos parámetros como ley o precio. Más aún, mientras el problema del pit final puede resolverse medianamente rápido, el de agendamiento requiere un esfuerzo computacional importante, que lo hace incompatible a la hora de considerar múltiples escenarios para realizar planificación bajo incertidumbre.

Este trabajo presenta enfoques nuevos para la resolución de ambos problemas, con el requerimiento que permitan una resolución rápida y mejor adaptada a temas de incertidumbre, al mismo tiempo que se pueda utilizar High Performance Computing para la aceleración del cómputo a la hora de calcular múltiples escenarios. Para pit final, se plantea la utilización de simulated annealing para el cálculo del pit final, que si bien en términos de tiempo puede resultar menos eficiente que L&G, tiene otras ventajas para efectos de modelar incertidumbre geológica: yacimiento representado con pocos vértices de conos, generación de simulaciones de conos y planteamiento de versión bayesiana del pit condicionada a nueva información del rajo debido a la operación y sondaje. Para el problema del agendamiento se proponen técnicas de agregación que permiten construir soluciones aproximadas, pero de gran valor. Lo anterior se puede lograr de dos formas: (i) por agregación de tiempo, reduciendo el número de periodos, lo cual tiene un alto impacto, pues el número de bloques es mucho mayor que el número de periodos y (ii) por agregación de bloques, la cual consiste en agrupar los bloques en unidades de mayor tamaño, llamados macrobloques, que después de hallar una solución del sub problema, son refinados para volver a la instancia original.

Los resultados obtenidos corresponden a las versiones lineales de los algoritmos anteriormente descritos y parte de la línea de trabajo futuro consiste en distribuir el cálculo computacional en varios equipos simultáneamente (paralelización), mejorando los tiempos de ejecución de los algoritmos. En el caso de pit final se pueden distribuir los cálculos internos de los conos; en el caso de agendamiento, se pueden aplicar las heurísticas para dos o más periodos con capacidades equivalentes y luego estos sub problemas se resuelven iterativamente hasta llegar a las unidades fundamentales.