

## Modelo de programación entera-mixta para la elección óptima de parámetros de entrada en software comercial de despacho minero

Esteban Reyes<sup>1</sup>, Cristián E. Cortés<sup>1</sup>, Pablo A. Rey<sup>2</sup>, Tomás Palomo, Nicolás Sáez<sup>3</sup>, and Zdenko Koscina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Chile, Santiago, Chile  
{ccortes}@ing.uchile.cl

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, Chile  
prey@utem.cl

<sup>3</sup> i-DUX & Partners, Santiago, Chile  
{nsaez,zkoscina}@duxpartners.com

La presente investigación tiene lugar dentro del contexto de una importante operación minera de tipo rajo abierto ubicada en el extremo norte de Chile, dedicada a la producción y comercialización de concentrado de cobre. En operaciones de este tipo, los costos asociados a transporte de material pueden representar hasta el 60% de los costos de todo el ejercicio de la mina, por lo que la optimización del sistema de despacho juega un rol significativo en la competitividad de la compañía. El despacho en la operación mencionada, al igual que la gran mayoría de las operaciones mineras de Chile y el mundo, se realiza en base a un software comercial cuyo algoritmo está compuesto de tres módulos o subsistemas principales: Un primer módulo que determina los mejores caminos entre cada par de locaciones de la red de la operación minera mediante el algoritmo Dijkstra's Best Path; un segundo módulo que mediante un Modelo de Programación Lineal determina los flujos objetivo para cada camino de la red en base a parámetros de disponibilidad, utilización, priorización y disponibilidad de equipos, los cuales son ingresados de forma manual por los despachadores, entregando las tasas de toneladas/hora desde palas a destinos y destinos a palas, minimizando los requerimientos de transporte; y un tercer módulo consistente en un Modelo Dinámico que en tiempo real asigna camiones a caminos de la red buscando cumplir con los requerimientos entregados por el Modelo de Programación Lineal. El problema abordado consiste en el diseño de un modelo de Programación Entera-Mixta multi-período que permita mejorar el desempeño de los despachos de la operación a partir de la sugerencia de parámetros óptimos de entrada para el Modelo de Programación Lineal del software utilizado, buscando incorporar condiciones y objetivos adicionales y específicos de la mina, así como corregir algunas de las debilidades identificadas en dicho software. En particular, el modelo desarrollado aprovecha su carácter de multi-período para incorporar explícitamente restricciones que no están incluidas en el software utilizado por la mina, tales como el cumplimiento del plan de movimiento de mineral y estéril para cada turno (sujeto a políticas propias de la operación estudiada) y restricciones de continuidad en los flujos de cada período para evitar descompensaciones de la red frente a cambios en las condiciones de operación como variaciones en

la disponibilidad de palas o de chancadores debido a traslados, mantenimientos programados y no programados, entre otros.

Para evaluar las soluciones entregadas por el modelo de forma realista se construyó un simulador utilizando el software SIMIO, el cual ofrece herramientas de análisis y animación para simulaciones de eventos discretos orientado a objetos, capaz de replicar las condiciones de operación de la mina durante uno o más turnos, el cual incorpora eventos como detenciones operacionales de palas y chancadores, aleatoriedad en la duración de los procesos como cargas y descargas, y congestión en caminos y colas en los distintos puntos de la red. Dentro de este simulador se programaron réplicas de los módulos dos y tres del software comercial utilizado actualmente por la compañía, con el propósito de evaluar y validar las condiciones en que dicho software maximiza la utilización de los camiones, así como aquellas en las que pierde eficiencia, además de la interacción del nuevo modelo con los módulos mencionados