

Tarea 4: Agendamiento de mina de SLS
usando programación entera mixta
MI5073 Planificación Minera
DIMIN, FCFM, Universidad de Chile

Prof. Juan L. Yarmuch Aux. Erick Sanhueza
Ayu. Gabriel Ojeda Ayu. Francisco Arévalo

9 de julio de 2021

1. Objetivo

El objetivo de la presente tarea es definir la secuencia de extracción y desarrollos para una mina de SLS que maximice el flujo de caja descontado (VAN).

2. Descripción del problema

Queremos saber cual es la secuencia de extracción y desarrollos (horizontales y verticales) que maximiza la suma de los beneficios descontados en el tiempo.

Por consiguiente, asociaremos una variable x a cada segmento de rampa $r \in \mathcal{R}$ para cada periodo $t \in \mathcal{T}$. De igual forma, consideramos una variable x a cada uno los segmentos horizontales, que tomará el valor 1, si el segmento $h \in \mathcal{H}$ ha sido minado en el periodo $t \in \mathcal{T}$, 0 de lo contrario.

En el caso de la extracción de los caserones asumiremos una variable x para cada caserón $c \in \mathcal{C}$ y cada periodo $t \in \mathcal{T}$, que denotaremos como x_{ct} . La variable x_{ct} tomará valores entre 0 y 1 correspondiendo a la fracción del caserón c extraído en t .

2.1. Parámetros

Cada segmento de rampa r , cada segmento horizontal h y cada caseron c tendrán asociado un costo w y un recurso $f \in \mathcal{F}$, respectivamente. Para

cada periodo de tiempo, se considera una capacidad máxima de recursos M ; estos recursos pueden representar metros horizontales, metros verticales o una capacidad máxima de minado (M^h , M^r o M^c).

2.2. Sets

El conjunto de caserones es denotado como \mathcal{C} . Asimismo, el conjunto de los segmentos de rampa y los segmentos horizontales son denotados como \mathcal{R} y \mathcal{H} , respectivamente. Para simplificar notación definiremos al conjunto de actividades como: $\mathcal{A} = \mathcal{C} \cup \mathcal{R} \cup \mathcal{H}$.

La relación que modela la precedencia de las actividades se puede escribir como el par ordenado (u, v) que se interpreta como la actividad v precede a la actividad u . El conjunto de los pares ordenados (u, v) donde u y v pertenecen al conjunto de precedencias \mathcal{P} .

2.3. Restricciones

Tendremos 3 tipos de restricciones:

- restricciones de precedencia de actividades.
- restricciones de capacidad (recursos).
- restricciones de unicidad temporal de actividades.

2.4. El modelo matemático

En base a la notación presentada, el modelo matemático lo podemos escribir de la siguiente forma:

$$\max \quad f(x) = \sum_{t \in \mathcal{T}} \delta_t \sum_{a \in \mathcal{A}} w_a \cdot x_{at}$$

s.t.

Precedencia de actividades:

$$x_{ut} \leq \sum_{\tau \leq t} x_{v\tau} \quad (u, v) \in \mathcal{P}$$

Restricción de capacidades:

$$\sum_{a \in \mathcal{A}} f_a^i \cdot x_{at} \leq M_t^i \quad t \in \mathcal{T} \quad f^i \in \mathcal{F}^i \quad i \in \{r, h, c\}$$

La actividad solo se puede realizar una vez en todo el horizonte temporal:

$$\sum_{t \in \mathcal{T}} x_{at} \leq 1 \quad a \in \mathcal{A}$$

Dominio de las variables:

$$x_a \in \{0, 1\} \quad a \in \mathcal{A} - \mathcal{C}$$

$$x_a \in [0, 1] \quad a \in \mathcal{C}$$

3. Construcción del modelo en PuLP

El estudiante deberá construir el modelo matemático en PuLP/Python considerando el layout de la Figura 1.

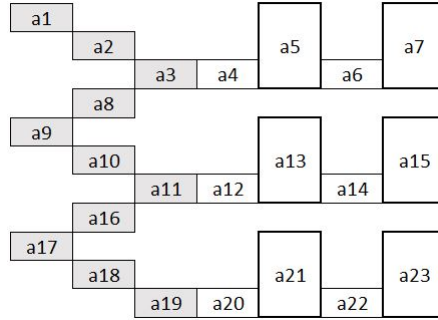


Figura 1: Layout SLS.

Los sets \mathcal{A} y \mathcal{W} son especificados a continuación:

```
set_A=[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23]
set_W={1:-100.0, 2:-100.0, 3:-100.0, 4:-50.0, 5:600, 6:-50.0, 7:200.0, 8:-110.0, 9:-110.0, 10:-110.0, 11:-110.0,
        12:-55.0, 13: 400, 14:-55.0, 15:250, 16:-120, 17:-120, 18:-120, 19:-120, 20:-55.0, 21:8000, 22:-120, 23:230 }
```

La Figura 2, representa los arcos requeridos para el cálculo del set de precedencia de actividades \mathcal{P} .

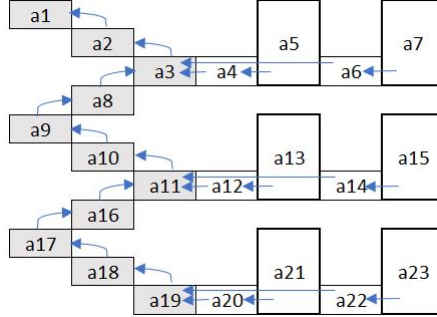


Figura 2: Precedencia de actividades.

El set \mathcal{T} será definido como $\mathcal{T} = \{1, 2, \dots, 10\}$. Los sets \mathcal{F}^i se definen como:

```
set_Fr={1:300.0, 2:300.0, 3:300.0, 8:300.0, 9:300.0, 10:300.0, 11:300.0, 16:300, 17:300, 18:300, 19:300 }
set_Fh={4:500.0, 6:300.0, 12:600.0, 14:200.0, 20:800.0, 22:100.0}
set_Fc={5:1000.0, 7:1200.0, 13:700.0, 15:1600.0, 21:2000.0, 23:800.0}
```

Finalmente, los parámetros del problema se definen como sigue.

```
d=0.1
M_r=900
M_h=900
M_c=1500
```

Dónde d corresponde a la tasa de descuento, M_r y M_h a la capacidad de metros anuales en desarrollos verticales y horizontales, respectivamente; y M_c a la capacidad mina en toneladas por año.

El estudiante deberá entregar una carta Gantt de las actividades con el resultado de su optimización. El reporte debe incluir un análisis de los resultados, que pueden ser complementados con la sensibilización de alguno de los parámetros entregados.

4. Comentarios

La tarea se realizará de forma individual. Cada estudiante deberá adjuntar un informe ejecutivo (de aproximadamente 5 páginas) que resuma sus resultados. El estudiante debe adjuntar su código Python en U-Cursos.