



TRABAJO 2

PLANIFICACIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

ICT-2233 Flujo en Redes

Prof. Homero Larraín Izquierdo
Ayudantes: Martina Baquedano

Descripción del problema

Una pyme, productora de dulces, le contrata para realizar un plan de producción para múltiples períodos (días) de una red de casas en las que los dulces son producidos. La pyme opera en Puerto Montt. Cada casa (planta de producción) cuenta con cierta capacidad de producción y de almacenamiento. Además, se cuenta con bodegas adicionales que no están asociadas a una planta en particular. Los bienes producidos son demandados por diversos almacenes, en cuyo horizonte de demanda está contemplado un *peak* durante Halloween. Para realizar su planificación, usted cuenta con la siguiente información:

- Una red vial de la ciudad, en formato Open Street Map (OSM).
- Una lista \mathcal{O} de nodos de la red vial donde se encuentran las casas productoras (plantas de producción). Cada planta de producción cuenta con una bodega en su misma ubicación.
- Una lista \mathcal{D} de nodos de la red vial donde se encuentran los almacenes que demandan los dulces.
- Una lista \mathcal{B} de nodos de la red vial donde se ubican las bodegas adicionales, distintas a las bodegas asociadas a cada casa en \mathcal{O} .
- Un horizonte de planificación $\mathcal{T} = \{1, \dots, T\}$ con los períodos de operación a considerar.
- Capacidades mínimas y máximas de producción, l_{it}^{prod} , u_{it}^{prod} , con $i \in \mathcal{O}$, $t \in \mathcal{T}$
- Costos de producción, c_{it}^{prod} , con $i \in \mathcal{O}$, $t \in \mathcal{T}$.
- Costo de almacenaje entre el período t y $t + 1$, c_{it}^{inv} , con $i \in \mathcal{O} \cup \mathcal{B}$, $t \in \{1, \dots, T - 1\}$.
- Capacidades máximas de almacenamiento entre períodos consecutivos, u_i^{inv} , con $i \in \mathcal{O} \cup \mathcal{B}$.
- Costo fijo por el uso de una bodega adicional, K_i , con $i \in \mathcal{B}$. Este es el precio fijo que se debe pagar por arrendar la bodega $i \in \mathcal{B}$ para poder utilizarla durante todo el horizonte de planificación (independiente de si se utiliza todos los días o no).
- Inventarios iniciales de I_i^0 , $i \in \mathcal{O} \cup \mathcal{B}$.
- Demandas mínimas y máximas asociadas a los almacenes, l_{jt}^{dda} y u_{jt}^{dda} , con $j \in \mathcal{D}$, $t \in \mathcal{T}$. Es decir, la cantidad enviada al almacén $j \in \mathcal{D}$ en el período $t \in \mathcal{T}$ debe estar comprendida entre estas cotas.
- Precio de venta p_{jt} , con $j \in \mathcal{D}$, $t \in \mathcal{T}$.
- Costo de transporte **por unidad de distancia**, c^{tte} .

Note que todos los costos entregados son por unidad de producto, excepto el costo fijo de las bodegas. Los costos de transporte son por unidad de producto transportada, por unidad de distancia. Esto implica que usted deberá pre procesar la instancia para conocer las distancias entre los nodos relevantes.

Al planificar la producción, usted debe considerar que lo que se produce en una planta i un día en particular debe permanecer en la bodega de la localidad i hasta al menos el día siguiente. Los dulces que comienzan el día en una bodega o centro de distribución pueden ser enviados a cualquier otra bodega, centro de distribución, o nodos de demanda, llegando dentro del mismo día. En palabras sencillas: suponga que los envíos desde una bodega se realizan en la mañana, mientras que la producción de los bienes finaliza durante la tarde.

Su objetivo es diseñar un plan de producción, almacenamiento y transporte que maximice las utilidades de la pyme, considerando todos los costos e ingresos de la operación durante el horizonte de planificación.

Estructura del trabajo

Este proyecto se estructura en dos partes, que se describen a continuación:

Parte I: Desarrollo de la herramienta de planificación.

El objetivo de esta parte es formular e implementar el problema de planificación de producción, almacenaje y transporte como un PFMC. Se debe considerar que la cantidad de bodegas adicionales a contratar está fija y que estas corresponden a un conjunto $\hat{\mathcal{B}} \subseteq \mathcal{B}$ (los costos fijos de todas las bodegas en $\hat{\mathcal{B}}$ se deben pagar independiente de si se usan o no). Para esta parte considere que el transporte de los dulces solo se puede realizar desde un nodo perteneciente a \mathcal{O} hacia un minorista \mathcal{D} o hacia una bodega adicional perteneciente a $\hat{\mathcal{B}}$. A su vez, una unidad de producto en $\hat{\mathcal{B}}$ únicamente puede ser transportada hacia un nodo minorista \mathcal{D} .

En esta parte deberá incluir lo siguiente:

- Pre procesamiento de la red vial para calcular los costos de transporte de la instancia entre los nodos relevantes.
- Construcción, descripción y solución del PFMC asociado a la instancia dado un conjunto de bodegas adicionales a utilizar, $\hat{\mathcal{B}} \subseteq \mathcal{B}$. Se requiere la inclusión de un grafo dibujado (a mano, en draw.io, etc.) del PFMC, que muestre una instancia reducida del problema en el que se pueda ver todos los tipos de nodos y arcos utilizados.
- Construcción de una función que reciba como argumentos un periodo de tiempo, y que entregue un gráfico que muestre las plantas, bodegas y minoristas, y que ilustre las rutas y cargas transportadas entre estos nodos. Si además esta gráfica muestra niveles de inventario inicial y final en cada nodo, el grupo recibirá una bonificación.
- Construir una función que reciba como argumentos una bodega, y que entregue la evolución de su nivel de inventario. Esta función también debe permitir hacer este análisis en forma agregada para el sistema (es decir, sumado para todas las bodegas).
- Construir una función que construya un reporte de operación diaria, que indique claramente el plan operativo del día, en un formato que podría ser fácilmente entendido por el personal responsable de ejecutar las instrucciones.

Parte II: Análisis.

Utilizando las herramientas programadas en la parte I, se pide realizar los siguientes análisis:

1. Presentación de resultados e indicadores de desempeño relevantes en base a una red de bodegas adicionales $\widehat{\mathcal{B}}$ dada. Esto implica mostrar en forma clara al menos lo siguiente:
 - a. Desglose de costos totales por transporte, bodegaje, producción y demanda no satisfecha.
 - b. Mostrar cuánto, dónde y en qué periodos se debe producir.
 - c. Evolución del inventario a nivel de sistema, y en dos o tres bodegas a modo de ilustración. Las bodegas a escoger deben idealmente mostrar situaciones distintas entre sí, por ejemplo, una bodega saturada y otra con capacidad holgada.Los gráficos entregados deben ser acompañados de un análisis escrito, orientados a concluir qué tendencias se pueden observar o recomendaciones se pueden hacer en base a los resultados obtenidos.
2. Usted ha observado que, en la práctica, los movimientos de carga se están realizando solo desde bodegas de plantas ($i \in \mathcal{O}$) hacia bodegas adicionales o clientes finales ($i \in \mathcal{B} \cup \mathcal{D}$). Esto es consecuencia del hábito, porque en realidad nada impide mover carga entre bodegas de plantas. Usted desea evaluar si es que existe una oportunidad de reducir los costos de la operación aprovechando esta flexibilidad. Estime el efecto esperado en los costos (incluido un desglose) que tendría aplicar esta idea, resolviendo y comparando este escenario con el anterior. Siga suponiendo que el conjunto de bodegas adicionales está dado por $\widehat{\mathcal{B}}$ y que es fijo.
3. Para reducir sus costos de operación frente al *peak* de demanda que su empresa enfrenta, usted puede contratar capacidad de bodegaje adicional desde el conjunto de bodegas \mathcal{B} , pagando el costo fijo correspondiente K_i en caso de utilizarlas. Usted debe decidir qué bodegas contratar (no es obligación mantener abiertas las bodegas en $\widehat{\mathcal{B}}$), u con esto estimar cuánto ahorro se podría obtener con esta medida. Debe seguir suponiendo que sí es posible mover dulces entre bodegas, como se indica en el punto anterior.

Notar que en el último apartado no se espera que encuentre un óptimo global al problema, pero sí que su decisión esté justificada por un análisis de los datos y de escenarios, y que su solución supere un *benchmark* que será entregado junto con la instancia. La solución que logre el mayor aumento de utilidades entre todos los grupos será premiada con una bonificación.

Productos a entregar

Este trabajo contempla la elaboración de un informe, y la entrega en formato digital del código para la herramienta programada.

Especificaciones para el informe

Los informes a entregar deberán ser escritos en formato de informe técnico. La extensión máxima de cada informe es 10 páginas en Times New Roman (o similar) tamaño 12, a interlineado simple. No incluya portada, resumen, ni índice. Si así lo desea, puede utilizar el formato de este documento como base. El informe debe abordar, como mínimo, los siguientes puntos:

- Breve introducción: Descripción del problema y visión general del contenido del informe.
- Metodología de solución de los problemas: Identificación de las partes del problema y descripción de la solución a implementar para cada una de ellas. ¿Qué algoritmos o heurísticas se utilizan en cada parte? Ponga especial atención a:

- Cómo se convierte la información de la instancia en una instancia concreta de un PFMC, es decir, qué grafo construye, y qué parámetros (generaciones, costos, y cotas si corresponde) utiliza.
- El análisis comparativo de la parte II, indicando cuánto se ahorra al permitir viajes entre bodegas de plantas. Utilice las visualizaciones que implementó en la parte I del trabajo.
- El análisis realizado en la parte II para la planificación de la red de bodegas adicionales. Utilice las visualizaciones que implementó en la parte I del trabajo.
- Los análisis de los resultados de los escenarios evaluados deberán ser presentados en forma clara, usando figuras y mapas cuando lo amerite.
- Estructura general del (los) código(s) utilizados. Estos se pueden incluir en la sección donde se detalla la metodología. No incluya el código en el informe, basta con un pseudocódigo (para ejemplos de pseudocódigos, revisar AMO), un diagrama de flujo, u otro medio mientras sea claro.

Especificaciones para el código

La herramienta deberá ser programada en Python, usando las librerías Networkx y Osmnx. Los códigos deben estar adecuadamente comentados e indentados, ser autoexplicativos y autocontenidos, y ser consistentes con la metodología descrita en el informe. Los códigos serán verificados para prevenir plagio con JPlag. Se permitirá el uso de código encontrado en Internet, pero se debe citar adecuadamente la fuente, y los comentarios del código deben ser propios. Está permitido el uso de Chat GPT como apoyo a la programación, pero no en la redacción del informe.

Otros aspectos generales

El trabajo se debe realizar en grupos de cuatro alumnos. La inscripción de los grupos se realizará en Canvas, y deben estar conformados al menos dos semanas antes de la fecha de entrega del trabajo.

La fecha de entrega es el martes 29 de octubre. Se realizarán un taller de apoyo para la programación de esta tarea.

Las entregas se pueden enviar hasta las 23:59 de la fecha indicada vía Canvas (los retrasos serán fuertemente penalizados). Se debe entregar un archivo GXX.rar o GXX.zip (donde XX es el número de grupo) que contenga el informe (en formato *.pdf) y el código en formato *.ipynb. No envíe ejecutables. Los nombres de los integrantes del grupo deben estar al inicio del informe. La nota final de este trabajo considerará una componente importante de evaluación entre pares.

El profesor y los ayudantes nos reservamos el derecho de solicitar a los grupos antecedentes adicionales durante la corrección del trabajo, que podrían traducirse en una demostración en vivo del funcionamiento de la herramienta programada.

Cualquier duda sobre el trabajo, hacerla preferentemente a través del foro del curso en Canvas, o hacerla llegar a Martina Baquedano (martina.baquedano@uc.cl).