Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Industrial

IN34A: Optimización
Profs: P. Conca, G. Duran, D. Sauré
Aux : B. Duarte, F. Cisternas, S. Souyris
J. Muñoz, M. Quinteros, G. Medina

Guía de Problemas de Programación Lineal
Semestre Primavera 2003

Modelamiento con Variables Binarias

1. El afamado galán Giussepe Mandinga, ha decidido establecer el número de amigas que tendrá durante los próximos T días. Para ello, ha listado a todas las candidatas de su agenda y ha realizado estimaciones sobre cada una de ellas. Es así como su lista la componen N candidatas y cada una de ellas le exigirá c_i días destinados completamente a ella, pero su recompensa será un regalo de cada una al momento del rompimiento, el cual se ha tasado en b_i. Se desea maximizar el valor de los regalos que obtendrá una vez transcurridos los T días, formule el modelo correspondiente.

2. Una empresa constructora de circuitos eléctricos ha comprado un brazo mecánico a modo de automatizar su producción. La construcción de cada circuito requiere hacer N conexiones, las cuales están separadas entre sí. Dada ésta separación el brazo demora t_{ij} segundos en ir desde la conexión i a la conexión j. Por último, se sabe que al finalizar la construcción de un circuito, el brazo vuelve a una posición inicial para permitir sacar el circuito de la línea productiva. Formule el modelo que permita encontrar el menor tiempo de construcción de cada circuito a modo de aumentar el nivel productivo de la empresa.

3. La gerencia de un supermercado de la capital está empeñada en disminuir la cantidad de robos que esta sufriendo diariamente como consecuencia de la acción de los "mecheros". De manera de poder analizar la cantidad de cámaras que se necesitarán para no dejar ningún lugar del interior del supermercado sin vigilar, han dividido el lugar en zonas (panaderías, carnicerías, etc..). El costo de instalar una cámara en la zona i, que depende de la cantidad de cables necesarios y los trabajos en altura, es c_i, y permitirá vigilar ciertas zonas[1]. Se le pide formular un modelo que permita tomar ésta decisión teniendo en cuenta que la gerencia desea gastar la menor cantidad de dinero posible.

4. Un problema fundamental en el diseño urbano es la localización de servicios básicos como colegios, hospitales y áreas recreacionales. En este problema formularemos un modelo simplificado para decidir la localización de estaciones de bomberos en una ciudad.

   La ciudad se puede dividir en I distritos, en que cada uno contiene p_i habitantes. Análisis preliminares (estudios de terrenos, factores políticos, etc.) han establecido que las estaciones de bomberos sólo pueden ser ubicadas en J sitios predeterminados dentro de la ciudad. Sea $d_{ij} \geq 0$ la distancia desde el centro del distrito i hasta el sitio j. Se deben seleccionar los sitios en los cuales construir una estación (en un sitio cabe a lo ma's una) y además se debe asignar una estación a cada distrito. Es decir, cada distrito de la ciudad debe tener una (y sólo una) estación de bomberos asociada. Una estación puede tener más de un distrito asociado. Construir una estación en el sitio j tiene un costo fijo asociado igual a c_j. Además, existe un costo variable que es linealmente proporcional (constante de proporcionalidad es f) a la cantidad total de gente que debe servir la estación. O sea, si se construye una estación en el sitio j, entonces el costo asociado es $c_j + fs_j$, en que s_j es la población total que debe servir la estación ubicada en j (es la suma de las poblaciones de todos los distritos asociados a esa estación). El presupuesto total destinado para construir las estaciones de bomberos es igual a B y no debe ser sobrepasado.

   Formule un modelo de programación lineal binaria que minimice la distancia máxima entre un distrito y su respectiva estación.

[1] Asuma que a_{ij} es un parámetro conocido que vale 1 si una cámara instalada en la zona i puede vigilar la zona j y 0 sino.

Modelamiento con Variables Mixtas

1. Una empresa de mudanzas dispone de M camiones, donde la capacidad del camión i es V_i. Para un día determinado esta empresa ha contratado mudanzas con N clientes distintos. La carga a transportar del cliente j es R_j.

   Cada mudanza debe realizarse mediante un único flete y en cada flete no puede llevarse más de una mudanza. Un mismo camión puede hacer varios fletes en el día, siendo L_i el número máximo de fletes diarios que puede hacer el camión i. Si el camión i hace la mudanza del cliente j se tiene un beneficio B_{ij}.

   Además, debe tomarse en cuenta que los clientes s y t deben ser atendidos por camiones diferentes y los clientes v y w deben ser atendidos por un mismo camión en viajes diferentes.

   Por último, debe considerarse que si el camión M no fuera asignado a mudanza alguna en este día entonces puede contratarse para él un flete interurbano si así conviniera, cuyo destino puede ser La Calera, Valparaíso o Rancagua. El Beneficio del camión M al efectuar este único flete del día está dado por la expresión $B + bx$, donde B y b son constantes y x representa la distancia a recorrer en el viaje. La distancia a La Calera, Valparaíso y Rancagua es D_1, D_2 y D_3 respectivamente.

   Con estos antecedentes construya un modelo matemático de programación lineal que asegure atender a todos los clientes y que maximice el beneficio diario de esta empresa.

2. Se le ha encomendado al Ministerio de Transporte la misión de disminuir la emisión de contaminantes (por parte de las micros de la capital) en H toneladas en los próximos T años (para efectos de esta pregunta asuma que hay sólo un contaminante que se mide en toneladas). Los ahorros en emisión de contaminante se producen sólo si una micro cambia su tecnología de combustión. Existen J tecnologías distintas y si la micro i se cambia a la tecnología j el máximo ahorro posible es V_{ij} por año.

   Si bien el máximo ahorro posible es V_{ij}, puede ser conveniente ahorrar menos, ya que existe un costo variable asociado al ahorro de contaminante que depende de cuanto se ahorra. Por la primeras U_{ij} toneladas de contaminantes ahorradas por la micro i con la tecnología j en el período t se incurre en un gasto b_{ijt} (por tonelada). Por sobre U_{ij} se debe gastar h_{ijt} por tonelada, con h_{ijt} mayor que b_{ijt}.

   Si el cambio de tecnología se hace en el período t, la respectiva empresa dueña de la micro debe desembolsar un monto fijo (inversión) de c_{ijt} pesos. Cada micro puede cambiar de tecnología a lo más una vez durante los T años y cada empresa k puede gastar un máximo de M_k pesos en inversiones de este tipo. En total en Santiago hay I micros y se conoce S_k, el subconjunto de micros que pertenecen a la empresa k.

   Construya un modelo lineal mixto que determine cuánto debe ahorrar cada micro en cada período (y con qué tecnología) de manera que se cumpla la meta de ahorro en emisión de contaminante y se minimicen los costos totales.

   Indicaciones:
   - El monto M_k es sólo aplicable a los costos fijos (inversiones).
   - Si j corresponde a la tecnología actual que posee la micro i, entonces V_{ij} vale cero.

3. Una determinada empresa forestal puede producir L productos distintos y tiene I plantas productivas ubicadas en diferentes zonas, siendo S_{it} la capacidad total de producción de la planta i en el período t sin importar de que tipo de producto se trate. El tipo de producto l tiene un costo de producción de P_l sin importar la planta que lo fabrique ni el período en cuestión. Los productos son demandados por J ciudades diferentes, siendo D_{ljt} la demanda de la ciudad j por el producto l, en el período t. Las demandas deben satisfechas período a período.

   Como no existe la posibilidad de almacenar producto en las plantas, la empresa esta estudiando la posibilidad de arrendar bodegas ubicadas en diferentes puntos geográficos. El arriendo de las bodegas se hace período a período, esto quiere decir que si se arrienda la bodega k en el período t, no necesariamente la bodega k debe haber estado arrendada el período $t - 1$ o seguir arrendada para el período $t+1$. Hay K posibles bodegas para arrendar. De esta manera, la producción de las plantas se llevará a las bodegas y desde allí se abastecerá a las ciudades. No existe inventario, las bodegas sólo se utilizan para etiquetar los distintos artículos. Si se arrienda la bodega k se incurre en un gasto fijo F_{kt} pesos por el pago del arriendo en el período t. Ahora bien, si se arrienda una bodega por 3 o más períodos consecutivos se recibirá un reembolso de W pesos. Por cada unidad del artículo l que ingresa a la bodega k se gasta E_{tk} pesos por concepto de etiquetación, la capacidad de la bodega k es de Q_k unidades de producto sin importar su tipo.

Además, se sabe que cada unidad debe ser abastecida desde una única bodega en cada período y también se sabe que la bodega k puede despachar como mínimo al total de ciudades que abastezca la cantidad de L_k y como máximo la cantidad de U_k unidades de artículos (del total de artículos que despacha). Si la bodega despacha más de U_k unidades de producto, se le debe pagar un bono extra a los empleados de esa bodega igual a B_k pesos fijos, independiente de la magnitud del exceso.

El costo de transporte del producto l desde la planta i a la bodega k en el período t es de M_{likt} pesos y el costo de transporte desde la bodega k a la ciudad j del producto l en el período t es de N_{lkjt} pesos.

Plantee un modelo de programación lineal mixto que permita determinar que bodegas deben arrendarse para que el costo de producción, transporte, arriendo y almacenamiento sea mínimo.

4. Suponga que usted que trabaja en la Gerencia de Marketing de una empresa y que le han pedido que defina las promociones que se realizarán durante los distintos meses del año para el producto estrella de la empresa. Estas promociones pueden ser, por ejemplo, distintas reducciones de precio(10 %, 20 %, etc.) por períodos breves, concursos y sorteos, regalos por la compra del producto, entre otros. Para esta planificación, la siguiente información es relevante:

   - Cuenta con un presupuesto de B pesos para todo el año.
   - En cada mes cuenta con H_m horas hombre de personal(por ejemplo, promotoras y vendedores).
   - Existe un conjunto de N promociones posibles del cual usted puede seleccionar hasta n promociones para realizar en cada mes(este conjunto es el mismo para los distintos meses del ao).
   - En cada mes no se pueden efectuar más de n promociones.
   - Una promoción i ($i = 1...N$) en el mes m necesitará un presupuesto de b_{im} pesos. Además si se realiza una promoción i en el mes m, las ventas aumentarán en vf_{im} pesos en dicho mes además de vu_{im} por cada hora hombre de personal de ventas incluido. (Nota: Si no se realiza ninguna promoción durante todo el año las ventas serán iguales a v_0.)

   Formule un problema de programación lineal que al resolverlo le permita determinar el calendario óptimo de promociones, es decir, cuál es el conjunto de promociones que se deben llevar a cabo en cada mes y con qué dotación de personal asignado que le permite a usted maximizar las ventas totales del año.

5. La empresa de zapatos MEDIAHORA desea planificar su producción e inventarios para los próximos T períodos de modo de cumplir con la demanda esperada de sus clientes. Para esto, ha agregado sus productos en K familias y dispone de un estudio que predice que la demanda esperada por productos de la familia k en el período t será d_{kt}. La empresa sabe que el cuello de botella en el proceso productivo es la cantidad de horas de artesanos, siedo A_t la cantidad de horas de artesanos disponibles en el período t. Esta cantidad por temas de capacitación, no puede aumentar ni disminuir en el horizonte. Se sabe además que cada unidad de los productos pertenecientes a la familia k consume a_k horas de artesano.

   La empresa posee una bodega con capacidad para almacenar B unidades en cada período. El costo de almacenar cada unidad de productos pertenecientes a la familia k en el período t es b_{kt}. Sin embargo, también existe la posibilidad de almacenar en bodegas de terceros, sín límite, pero a un costo por unidad para los productos pertenecientes a la familia k en el período t igual a g_{kt}.

a) Plantee un modelo de programación lineal que permita encontrar la estrategia óptima para el problema de MEDIAHORA que tipo de modelo de programación lineal obtubo?

b) Comente la validez del modelo si $g_k t$ fuese menor que $b_k t$, pero asumiendo que por política de la empresa la bodega de terceros sólo se puede ocupar cuando se ha copado la bodega propia. Que tipo de modelo estima necesario en este caso?Por qué?

Solución de los Problemas de Modelamiento con Variables Binarias

1. Este tipo de problemas se conoce como problema de la mochila, ya que es equivalente a decidir que articulos meter a una mochila de capacidad limitada de modo de maximizar el beneficio

   a) **Variables:**
   x_i: 1 si Mandinga será amigo de la candidata i, 0 en cualquier otro caso.

   b) **Función Objetivo:**
   $$Max \quad Z = \sum_i b_i x_i$$

   c) **Restricciones:**

   1) No pasarse del límite de tiempo.
   $$\sum_i c_i x_i \leq T$$

   2) Naturaleza de las variables
   $$x_i \in \{0, 1\} \qquad \forall\ i.$$

2. Este tipo de problemas se conoce como el problema del vendedor viajero, porque equivale a resolver el problema de un vendedor que debe recorrer N casas en su recorrido, devolviendose al punto de partida.

   a) **Variables:**
   x_{ij}: 1 si el brazo mecánico va desde i a j, 0 en cualquier otro caso.

   b) **Función Objetivo:**
   $$Min \quad Z = \sum_{i,j} t_{ij} x_{ij}$$

   c) **Restricciones:**

   1) Ingresar exactamente una vez a una conexion.
   $$\sum_i x_{ij} = 1 \qquad \forall\ j.$$

2) Salir exactamente una vez de una conexion.

$$\sum_j x_{ij} = 1 \qquad \forall\, i.$$

3) No permitir que se realicen ciclos disjuntos.

$$\sum_{i \in S, j \in S} x_{ij} \leq card(S) - 1 \qquad \forall\, S.$$

Con S el conjunto de todos los posibles ciclos, es decir, un S corresponde a todos los subconjuntos de i nodos posibles, otro S corresponde a todos los subconjuntos de i+1 nodos, otro con i+2, así sucesivamente desde i = 1 hasta i = (número total de nodos). card(S) corresponde a la función que entrega el cardinal o módulo de S.

4) Naturaleza de las variables

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \qquad \forall\, i, j.$$

3. *a)* **Variables:**

   x_i: 1 si se instala una camara en la zona i, 0 en cualquier otro caso.

   b) **Función Objetivo:**

$$Min \quad Z = \sum_i c_i x_i$$

   c) **Restricciones:**

   1) Vigilar todas las zonas con las camaras.

$$\sum_i a_{ij} x_i \geq 1 \qquad \forall\, j.$$

   2) Naturaleza de las variables

$$x_i \in \{0, 1\} \qquad \forall\, i.$$

4. *a)* Variables de Decisión:

   x_j : 1 si se construye una bomba en el distrito j. 0 en cualquier otro caso
   y_{ij} : 1 si distrito i es asignado a bomba en j es a. 0 en cualquier otro caso
   s_j : Cantidad de gente asignada a bomba en j
   z : Máxima distancia entre un distrito y una bomba

   b) Restricciones:

   1) Cada distrito debe ser asignado a una sola bomba.

$$\sum_j y_{ij} = 1 \qquad \forall i$$

2) Solo se puede asignar distrito i a bomba j si esta esta contruida

$$y_{ij} \leq x_j \qquad \forall i, j$$

3) Respetar presupuesto

$$\sum_j (x_j c_j + f s_j) \leq B$$

4) Cantidad de gente que debe ser servida por cada bomba.

$$s_j = \sum_i y_{ij} p_i \qquad \forall i, j$$

5) Establecer la máxima distancia recorrida.

$$z \geq y_{ij} d_{ij} \qquad \forall i, j$$

6) Naturaleza de las variables.

$$x_i, y_{ij} \in \{0, 1\} \qquad \forall\ i, j$$

$$s_j, z \geq 0$$

c) Función Objetivo:

Minimizar la maxima distancia entre una bomba y su distrito asociado.

$$\min z$$

Solución de los Problemas de Modelamiento con Variables Mixtas

1. a) **Variables:**
   w_{ij}: 1 si el camión i realiza la mudanza del cliente j, 0 en cualquier otro caso.
   δ_{mk}: 1 si el camión m realiza un flete interurbano a la ciudad k, 0 en cualquier otro caso.

   b) **Función Objetivo:**

$$Max \quad Z = \sum_{ij} B_{ij} \cdot w_{ij} + \sum_{mk} (B + b \cdot D_k) \cdot \delta_{mk}$$

   c) **Restricciones:**

1) Capacidad de los camiones.

$$\sum_j R_j \cdot w_{ij} \leq V_i \qquad \forall\ i.$$

2) Cada cliente debe ser atendido por un sólo camión.

$$\sum_i w_{ij} = 1 \qquad \forall\ j$$

3) Un camión debe hacer un número limitado de fletes al día.

$$\sum_j w_{ij} \leq L_i \qquad \forall\ i.$$

4) Los clientes s y t deben ser atendidos por camiones diferentes.

$$w_{is} + w_{it} \leq 1 \qquad \forall\ i.$$

5) Los clientes v y w deben ser atendidos por un mismo camión en viajes diferentes.

$$w_{iv} = w_{iw} \qquad \forall\ i.$$

6) Si se realiza un viaje interurbano no se puede realizar mudanzas con ese camión.

$$\sum_j w_{mj} \leq L_i \cdot (1 - \delta_{mk}) \qquad \forall\ k.$$

7) Sólo puede realizar a lo más un viaje interurbano en el día.

$$\sum_k \delta_{mk} \leq 1 \qquad \forall\ m.$$

8) Naturaleza de las variables.

$$w_{ij} \in \{0, 1\} \qquad \forall\ i, j.$$

$$\delta_{mk} \in \{0, 1\} \qquad \forall\ m, k.$$

2. *a*) **Variables:**

x^m_{ijt}: ahorro en emisión de contaminantes de la micro i con la tecnología j en el período t para el tramo m.

z_{ijt}: 1 si la micro i cambia a la tecnología j en el período t, 0 en cualquier otro caso.

b) **Función Objetivo:**

$$Max \quad Z = \sum_{ijt} (b_{ijt} \cdot x^1_{ijt} + h_{ijt} \cdot x^2_{ijt}) + \sum_{ijt} c_{ijt} \cdot z_{ijt}$$

c) **Restricciones:**

1) Cumplimiento de meta de reducción de contaminantes.

$$\sum_{ijtm} x^m_{ijt} \geq H$$

2) Sólo se producen ahorros si las micros cambian de tecnología.

$$\sum_{m} x_{ijt}^{m} \leq V_{ij} \cdot \sum_{\theta \leq t} z_{ij\theta} \qquad \forall\, i,j,t.$$

3) Cantidad máxima de ahorro para el primer tramo.

$$x_{ijt}^{1} \leq U_{ij} \qquad \forall\, i,j,t.$$

4) Cada micro puede cambiar de tecnología a lo más una vez en el horizonte.

$$\sum_{jt} z_{ijt} \leq 1 \qquad \forall\, i,j,t.$$

5) Presupuesto de inversión de cada empresa.

$$\sum_{tj} \sum_{i \in S_k} c_{ijt} \cdot z_{ijt} \leq M_k \qquad \forall\, k.$$

6) Naturaleza de las variables.

$$x_{ijt}^{m} \geq 0 \qquad \forall\, i,j,t,m.$$

$$z_{ijt} \in \{0,1\} \qquad \forall\, i,j,t.$$

3. *a*) **Variables:**

z_{ilt}: número de unidades del producto l producidas en la planta i en el período t.

x_{iklt}: número de unidades del producto l enviadas desde la planta i a la bodega k en el período t.

f_{kjlt}: número de unidades del producto l enviadas desde la bodega k a la ciudad j en el período t.

δ_{kt}: 1 si se arrienda la bodega k en el período t, 0 en cualquier otro caso.

w_{kjt}: 1 la bodega k abastece la ciudad j en el período t, 0 en cualquier otro caso.

γ_{kt}: 1 si la bodega k despacha más de U_k unidades de producto en el período t, 0 en cualquier otro caso.

β_{kt}: 1 si la bodega k al período t, lleva 3 o más días consecutivos arrendada, 0 en cualquier otro caso.

b) **Función Objetivo:**

$$Max \quad Z = \sum_{ilt} z_{ilt} \cdot P_l + \sum_{kt} F_{kt} \cdot \delta_{kt} - \sum_{kt} W \cdot \beta_{kt} + \sum_{iklt} x_{iklt} \cdot E_{kt} + \sum_{kt} B_k \cdot \gamma_{kt} + \sum_{iklt} x_{iklt} \cdot M_{iklt} + \sum_{kjlt} f_{kjlt} \cdot N_{kjlt}$$

c) **Restricciones:**

1) Capacidades de producción de las plantas.

$$\sum_{kl} x_{iklt} \leq S_{it} \qquad \forall\, i, t.$$

2) Satisfacción de la demanda.

$$\sum_{k} f_{kjlt} = D_{jlt} \qquad \forall\, j, l, t.$$

3) Conservación de flujo en las bodegas.

$$\sum_{i} x_{iklt} = \sum_{j} f_{kjlt} \qquad \forall\, k, l, t.$$

4) Capacidad de las bodegas.

$$\sum_{jl} f_{kjlt} \geq Q_k \cdot \delta_{kt} \qquad \forall\, k, t.$$

5) Cada ciudad debe ser abastecida desde una sola bodega.

$$\sum_{k} w_{kjt} = 1 \qquad \forall\, j, t.$$

6) Despacho mínimo de productos.

$$\sum_{jl} f_{kjlt} \geq L_k \cdot \delta_{kt} \qquad \forall\, k, t.$$

7) Existencia de bono extra para los trabajadores.

$$\gamma_{kt} \geq \frac{\sum_{jl} f_{kjlt} - U_k}{M} \qquad \forall\, k, t.$$

8) Existencia de reembolso.

$$\beta_{kt} \geq \frac{\sum_{\theta=t-3}^{t-1} \delta_{k\theta} - 2}{2} \qquad \forall\, k, t = 4, ..., T.$$

9) Conservación de flujo en las plantas.

$$z_{ilt} = \sum_{k} x_{iklt} \geq S_{it} \qquad \forall\, i, l, t.$$

10) Relación entre las variables.

$$w_{kjt} \leq \delta_{kt} \qquad \forall\ k, j, t.$$

$$f_{kjlt} \leq D_{ljt} \cdot w_{kjt} \qquad \forall\ k, j, l, t.$$

11) Naturaleza de las variables.

$$x_{iklt}, f_{kjlt}, z_{ilt} \geq 0 \qquad \forall\ i, k, j, l, t.$$

$$\delta_{kt}, \gamma_{kt}, \beta_{kt}, w_{kjt} \in \{0, 1\} \qquad \forall\ k, j, t.$$

4. *a*) **Variables de Decisión:**

   x_{im} : 1 si se realiza promoción i en mes m. 0 en cualquier otro caso

   y_{im} : Cantidad de personal asignado a promoción i en mes m

   b) **Restricciones:**

   1) Presupuesto.

   $$\sum_{im} b_{im} \leq B$$

   2) Cantidad máxima de empleados a utilizar

   $$\sum_{i} y_{im} \leq H_m \qquad \forall m$$

   3) Solo asigno personal a promoción i en m si se ha decidido hacerla

   $$y_{im} \leq M x_{im} \qquad \forall i, m,$$

   con $M >> 1$, en este caso el máximo valor que puede tomar M es H_m

   4) Máxima cantidad de promociones cada mes

   $$\sum_{i} x_{im} \leq n \qquad \forall m$$

   5) Naturaleza de las variables.

   $$x_{im} \in \{0, 1\} \qquad \forall\ i, m$$

   $$y_{im} \geq 0$$

   c) **Función Objetivo:**

   Máximizar las ventas

   $$\text{máx} \sum_{im} v f_{im} x_{im} + \sum_{im} v u_{im} y_{im}$$

5. *a*) 1) Variables de Decisión:

   x_{kt} : cantidad de producción de k en t

   y_{kt} : cantidad de inventario de k en t en bodega propia (inventario al termino de t)

   z_{kt} : cantidad de inventario de k en t en bodega de terceros (inventario al termino de t

2) Restricciones:

a' Capacidad de producción.

$$\sum_k a_k x_{kt} \leq A_t \qquad \forall t$$

b' Flujo de producción

$$y_{k,t-1} + z_{k,t-1} + x_{k,t} = d_{k,t} + y_{k,t} + z_{k,t} \qquad \forall k,t$$

c' Capacidad de Bodega

$$\sum_k y_{kt} \leq B \qquad \forall t$$

d' Naturaleza de las variables.

$$x_{kt} \in \{0,1\} \qquad \forall\ i, m$$

$$x_{kt}, y_{kt}, z_{kt} \geq 0$$

3) Función Objetivo:

Minimizar los costos

$$\text{mín} \sum_{kt} y_{kt} b_{kt} + z_{kt} g_{kt}$$

$b)$ Este problema es complejo. Si el modelo se mantiene como en la parte (a) y g¡b, siempre se llenarán primero las bodegas de terceros y como se tiene capacidad finita NUNCA se utilizarán las bodegas propias.

Es por esto que se debe agregar una nueva restricción para solucionar este problema. Esta restricción debe asegurar que se llene hasta su capacidad máxima la bodega propia para luego llenar la bodega de terceros.

Es necesario incluir una restricción y una variable binaria que sea capaz de producir este salto. Lo que genera un modelo mixto.

Sean:

Y_t	:	cantidad de inventario total a guardar en bodegas propias en t
Z_t	:	cantidad de inventario total a guardar en bodegas arrendadas en t
∂_t	:	1 si se tiene que $Y_t = B$, 0 si $Y_t < B$

Luego si tenemos que $Y_t < B \Rightarrow (B - Y_t > 0) \Rightarrow (1 - \partial_t) = 1$

Esto lo podemos expresar como $(B - Y_t) < (1 - \partial_t)M$ con $M >> 1$. Ya que si $\partial_t = 1$ entonces tenemos que en ese caso $(B - Y_t) < 0$, luego $Y_t \geq B$, pero como sabemos que $Y_t \leq B$ entonces $Y_t = B$

Agregando la restricción $Z_t \leq \partial_t M, M >> 0$ obligamos a que Z_t sea ≥ 0 solo cuando $\partial_t = 1$

`Dudas, consultas y comentarios a`

`gmedina@ing.uchile.cl`