Exámenes

Enunciado 18 de mayo del 2019

Un alumno de la FAUBA nos pide que modelicemos la siguiente situación productiva de su huerta para la próxima temporada.

Tiene CANTE canteros que va a destinar al cultivo de distintas especies hortícolas. Cada cantero tiene una superficie de 30 m2, se le hace a cada uno un manejo independiente. Quiere maximizar ingresos para la próxima temporada, en la misma solo va a cultivar 1 vez cada cantero.

Especie	Familia	Prof. Raíces (cm)	Parte Comestible	Rendimiento (Kg / m2)	Precio Venta ($ / KG)
Tomate	Solanácea	Mayor a 100	Baya	15	5
Pimiento	Solanácea	50 a 100	Baya	RENPIM	8
Berenjena	Solanácea	50 a 100	Baya	RENBER	6
Apio	Umbelífera	Menor a 50	Hoja	5	7
Zanahoria	Umbelífera	50 a 100	Raíz engrosada	RENZAN	3
Perejil	Umbelífera	Menor a 50	Hoja	RENPER	VTAPER
Repollo	Crucífera	Menor a 50	Hoja	RENREP	VTAREP
Brócoli	Crucífera	Menor a 50	Inflorescencia	RENBRO	VTABRO
Batata	Convolvulácea	Mayor a 100	Raíz engrosada	RENBAT	VTABAT
Puerro	Aliácea	Menor a 50	Hoja	7	VTAPUE
Lechuga	Compuesta	Menor a 50	Hoja	3	4
Zapallito	Cucurbitácea	50 a 100	Baya	RENZAP	VTAZAP
Zapallo	Cucurbitácea	Mayor a 100	Baya	RENZAPA	3

En la tabla de la derecha se muestran características propias de cada especie

Nos pide que respetemos para cada cantero lo siguiente:

- Debe tener especies de las 3 profundidades de raíces.
- Si hay repollo y zanahorias el rendimiento de ambas especies es un 15% más.
- Si la cantidad de familias es impar entonces tiene que haber alguna crucífera.
- La familia con mayores especies plantadas no puede ser solanácea, a no ser que haya alguna especie cuya parte comestible sea la raíz engrosada.

Para la comercialización (acá hablamos a nivel huerta, es decir todos los canteros) va a enviar la parte comestible a la feria agroecológica considerando la siguiente demanda máxima en Kg: DEMBAYA, DEMRAIZ, DEMHOJA, DEMINFLORECENCIA. Si envía al mercado agroecológico más Kg de Bayas que de Inflorescencias esa diferencia podemos sumarla a DEMBAYA.

¿Qué es lo mejor que se puede hacer con la información disponible?

NOTA:CANTE, RENPIM (RENi), VTAPER (VTAi), DEMBAYA, DEMRAIZ, DEMHOJA, DEMINFLORECENCIA son constantes conocidas

A1 Caracterizar la situación problemática en cinco renglones o mediante un gráfico.

A2 Objetivo del problema, completo y claro. Hipótesis y supuestos.

A3 Modelo matemático de programación lineal y variables utilizadas para la resolución. Indicar claramente qué función

Análisis de la situación problemática

Se trata de un problema de planificación de producción donde se tienen distintos tipos de hortícolas, y se tiene una cierta cantidad de canteros.

Objetivo

Se quiere determinar la composición de cada cantero durante la próxima temporada para maximizar los ingresos.

Hipótesis

- No importa cuantas plantas haya en el cantero mientras haya 3 tipo de profundidades de 3 raíces
- No hay costos
- La familia con mayor especies plantadas se calcula por cantero
- La cantidad de planta a plantar se mide en metros

Modelo

Variables

A_{IJ} : Área de especie de cultivo agrícola I a plantar en el cantero J [m^2]
I = {Tomate, …, Zapallo}
J = {1,2, …, CANTE}
$Y_{Repollo\ J}$ {1 si hay repollo en el cantero J, 0 en caso contrario}
$Y_{Zanahoria\ J}$ {1 si hay zanahoria en el cantero J, 0 en caso contrario}
$Y_{RZ\ J}$ {1 si hay repollo y zanahoria en el cantero J, 0 en caso contrario}
$YMax_{F}$ {1 si la familia F es la de mayor cantidad de especies en el cantero J, 0 en caso contrario}
Y_{FJ} {1 si están plantadas especies de la familia F en el cantero J, 0 en caso contrario}
F = {SO, UM, CRU, CON, COM, CU, A}
Y_{INJ} {1 si la cantidad de familias de familias es impar en el cantero J, 0 en caso contrario}
E_{FJ} : Cantidad de especies de la familia f en el cantero J (Entera)
Y_{IJ} {1 si la especie I está en el cantero J, 0 en caso contrario}
$Y_{RE\ J}$ {1 si hay alguna verdura de raíz engrosada está en el cantero J, 0 en caso contrario}
YB {1 si hay exceso, 0 si hay defecto}
$CE_{Zanahoria\ J}$: Cantidad extra de zanahoria en el cantero J
$CE_{Repollo\ J}$: Cantidad extra de repollo en el cantero J

Restricciones

Área cantero:

$$\sum_{i \in I} A_{ij} \leq 30\ m^2$$

Tres profundidades:

$$A_{Tomate\ J} + A_{Batata\ J} + A_{Zapallo\ J} \geq n$$

$$A_{\text{Pimiento } J} + A_{\text{Berengena } J} + A_{\text{Zanahoria } J} + A_{\text{Zapallito } J} \geq n$$
$$A_{\text{Apio } J} + A_{\text{Peregil } J} + A_{\text{Repollo } J} + A_{\text{Brócoli } J} + A_{\text{Puerro } J} + A_{\text{Lechuga } J} \geq n$$

Repollo en el cantero:

$$m * Y_{\text{Repollo } J} \leq A_{\text{Repollo } J} \leq M * Y_{\text{Repollo } J}$$

Zanahoria en el cantero:

$$m * Y_{\text{Zanahoria } J} \leq A_{\text{Zanahoria } J} \leq M * Y_{\text{Zanahoria } J}$$

Repollo y Zanahoria en el cantero:

$$2 * Y_{RZ\ J} \leq Y_{\text{Zanahoria } J} + Y_{\text{Repollo } J} \leq 1 + Y_{RZ\ J}$$

Cantidad de familias impar:

$$Y_{SO\ J} * n \leq A_{\text{Tomate } J} + A_{\text{Pimiento } J} + A_{\text{Berenjena } J} \leq Y_{SO\ J} * M$$
$$Y_{UM\ J} * n \leq A_{\text{Apio } J} + A_{\text{Zanahoria } J} + A_{\text{Perejil } J} \leq Y_{UM\ J} * M$$
$$Y_{CRU\ J} * n \leq A_{\text{Repollo } J} + A_{\text{Brócoli } J} \leq Y_{CRU\ J} * M$$
$$Y_{CON\ J} * n \leq A_{\text{Batata } J} \leq Y_{CON\ J} * M$$
$$Y_{A\ J} * n \leq A_{\text{Puerro } J} \leq Y_{A\ J} * M$$
$$Y_{COM\ J} * n \leq A_{\text{Lechuga } J} \leq Y_{COM\ J} * M$$
$$Y_{CU\ J} * n \leq A_{\text{Zapallito } J} + A_{\text{Zapallo } J} \leq Y_{CU\ J} * M$$

$$E_{F\ J} - Y_{IN\ J} * 0.5 \leq \left(\sum_{f \in F} Y_{fj}\right) * 0.5 \leq E_{F\ J} + Y_{IN\ J} * 0.5$$
$$Y_{IN\ J} \leq Y_{CRU\ J}$$

Raíz engrosada:

$$Y_{RE\ J} * n \leq A_{\text{Zanahoria } J} + A_{\text{Batata } J} \leq Y_{RE\ J} * M$$

Especie en cantero:

$$n * Y_{IJ} \leq A_{IJ} \leq M * Y_{IJ}$$

$$E_{SO\ J} = Y_{\text{Tomate } J} + Y_{\text{Pimientos } J} + Y_{\text{Berenjena } j}$$
$$E_{UM\ J} = Y_{\text{Apio } J} + Y_{\text{Zanahoria } J} + Y_{\text{Perejil } j}$$
$$E_{CRU\ J} = Y_{\text{Repollo } J} + Y_{\text{Brócoli } J}$$
$$E_{CON\ J} = Y_{\text{Batata } J}$$
$$E_{A\ J} = Y_{\text{Puerro } J}$$
$$E_{COM\ J} = Y_{\text{Lechuga } J}$$
$$E_{CU\ J} = Y_{\text{Zapallito } J} + Y_{\text{Zapallo } J}$$

Solo 1 max:

$$\sum_{f \in F} YMax_{fJ} = 1$$
$$YMax_{SO\ J} \leq Y_{RE\ J}$$

Demanda mínima:

Bayas:

$$\sum_{j=1}^{CANTE} \sum_{m \in M} A_{mj} * R[m] \leq DEMBAYA + EXCESO$$

M = [Tomate, Pimiento, Berenjena, Zapallito, Zapallo]

Raíz:

$$CE_{Zanahoria\,J} + \sum_{j=1}^{CANTE} \sum_{n \in N} A_{nj} * R[n] \leq DEMRAIZ$$

N= [Zanahoria, Batata]

Hoja:

$$CE_{Repollo\,J} + \sum_{j=1}^{CANTE} \sum_{o \in O} A_{oj} * R[o] \leq DEMHOJA$$

O = [Perejil, Repollo, Puerro, Lechuga]

Florencencia:

$$\sum_{j=1}^{CANTE} \sum_{p \in P} A_{pj} * R[p] \leq DEMFLORECENCIA$$

P = [Brócoli]

Exceso mercado agroecológico:

$$\sum_{j=1}^{CANTE} \sum_{m \in M} A_{mj} * R[m] - \sum_{j=1}^{CANTE} \sum_{p \in P} A_{pj} * R[p] = EXCESO - DEFECTO$$

$EXCESO \leq M * YB$

$DEFECTO \leq M * (1 - YB)$

Rendimiento:

$REMZAN * 0.15 * A_{Zanahoria\ J} - M * (1 - Y_{RZ\ J}) \leq CE_{zanahoria\ J} \leq REMZAN * 0.15 * A_{Zanahoria\ J} + M * (1 - Y_{RZ\ J})$

$CE_{Zanahoria\ J} \leq Y_{RZ\ J} * M$

$REMREP * 0.15 * A_{Repollo\ J} - M * (1 - Y_{RZ\ J}) \leq CE_{Repollo\ J} \leq REMREP * 0.15 * A_{Repollo\ J} + M * (1 - Y_{RZ\ J})$

$CE_{Repollo\ J} \leq Y_{RZ\ J} * M$

Funcional

$$Z(MAX) = \sum_{J=1}^{CANTE} A_{Tomate\,J} * 15 * 5 + A_{Pimiento\,J} * REMPIM * 8 + A_{Berenjena\,J} * REMBER * 6 + + A_{Apio\,J} * 5 * 7 + (A_{Zanahoria\,J} + CE_{Zanahoria\,j}) * REMZAN * 3 + A_{Perejil\,J} * REMPER * VTAPER + + A_{Repollo\,J} * REMREP * VTAREP + A_{Brócoli\,J} * REMBRO * VTABRO + A_{Batata\,J} * REMBAT * VTABAT + A_{Puerro\,J} * 7 * VTAPUE + A_{Lechuga\,J} * 3 * 4 + A_{Zapallito\,J} * REMZAP * VTAZAP + A_{Zapallo\,J} * REMZAPA * 3$$

Enunciado 4 de Julio 2019

Una empresa radicada en Buenos Aires (en adelante BA) ha abierto nuevas oficinas en Montevideo (en adelante MVD) y en Santiago de Chile (en adelante SC). Tiene un equipo técnico distribuido, con diferentes nacionalidades y áreas de incumbencia. Durante las próximas 2 semanas se deberá desarrollar un proyecto que, por su importancia, implica la participación de todas las sucursales.
El proyecto se organizará en dos etapas semanales, con los siguientes requerimientos:

Profesión	**ETAPA 1**	**ETAPA 2**
Analistas	A1	A2
Developers	D1	D2
Testers	T1	T2
Comerciales	C1	C2

Cada sucursal cuenta con profesionales que provienen del mismo país. En la tabla a continuación se indican las cantidades de cada tipo de profesional que hay en cada sucursal:

Profesión	**Buenos Aires**	**Montevideo**	**Santiago**
Analistas	A_BA	A_MVD	A_SC
Developers	D_BA		D_SC
Testers	T_BA	T_MVD	T_SC
Comerciales	C_BA		C_SC

Cada etapa debe realizarse en alguna de las tres sucursales y es posible reubicar recursos cada semana. La oficina de Montevideo se encuentra en el World Trade Center y para mantener los beneficios impositivos requiere que haya (en todo momento) al menos 3 uruguayos por cada extranjero. Para viajar de una oficina a otra, se puede hacer por avión (de cualquier oficina a cualquier otra) o por buquebus, solo de BA a MVD o de MVD a BA. El costo es fijo: $AV por persona y por tramo para viajes en avión y $BQ por persona y por tramo para viajes en buquebus. Si una persona hizo 3 viajes por el mismo medio de transporte, la empresa recibe un reembolso promocional del 25%. Relocalizar a un profesional en BA tiene un costo semanal por persona de $COSTO_BA, en MVD de $COSTO_MVD y en Santiago de $COSTO_SC.
A modo de festejo y de unir al equipo, una vez terminado el proyecto se realizará una fiesta con todos los empleados en Buenos Aires. El costo de la fiesta es $FIESTA.

¿Qué es lo mejor que se puede hacer con esta información?

NOTA: *$AV, $BQ, $COSTO_BA, $COSTO_MVD, $COSTO_SC, $FIESTA y elem en tablas* son constantes conocidas.
A1 Caracterizar la situación problemática en cinco renglones o mediante un gráfico.
A2 Objetivo del problema, completo y claro. Hipótesis y supuestos.
A3 Modelo matemático de programación lineal y variables utilizadas para la resolución. Indicar claramente qué función cumple cada ecuación. Tener en cuenta que ***si el modelo no es lineal, este punto se anulará***.

Análisis de la situación problemática

Se trata de un problema de organización de recursos, donde se tienen 3 oficinas de una misma empresa en Buenos Aires, Montevideo y Santiago de Chile, y se tiene un proyecto muy grande que se tiene que completar en 2 etapas.

Objetivo

Se quiere determinar la ciudades donde se realizará cada etapa y la cantidad de profesionales de cada país que participaran en el plazo de 2 etapas de manera tal de minimizar los costos.

Hipótesis y supuestos

- Hay que pagar boleta de vuelta a un empleado que no sea de Buenos Aires
- No se contemplan costos de traslado en un mismo país
- Todos los profesionales están disponibles para viajar y trabajar
- Los sueldos no están contemplados
- El reembolso del 25% es sobre el total de los 3 pasajes
- No hay inflación que haga variar los costos
- Los recursos no mencionados no son limitantes ni tiene costo asociado.

Modelo de programación lineal

Variables

Y_{IJ} : Bivalente. 1 si la etapa I se hizo en la ciudad J. 0 en caso contrario
I = {1, 2} J = {BA, MVD, SC}
P_{IKJ} : Cantidad de profesionales K de la ciudad J en la etapa I.
K = {Analistas, Developers, Tester, Comerciales}
PE_{IJ} : Cantidad de profesionales extranjeros de la ciudad J
$PE_{B\ MVD}$: Cantidad de profesionales que viajan en buquebus a MVD
$PE_{B\ BA}$: Cantidad de profesionales que viajan en buquebus a BA
$PE_{A\ MVD}$: Cantidad de profesionales que viajan en avión a MVD
$PE_{A\ BA}$: Cantidad de profesionales que viajan en avión a BA

Restricciones

Analistas:

$$\sum_{j \in J} P_{1AJ} = A1$$

$$\sum_{j \in J} P_{2AJ} = A2$$

Developers:

$$\sum_{j \in J} P_{1DJ} = D1$$

$$\sum_{j \in J} P_{2DJ} = D2$$

Testers:

$$\sum_{j \in J} P_{1\,T\,J} = T1$$

$$\sum_{j \in J} P_{2\,T\,J} = T2$$

Comerciantes:

$$\sum_{j \in J} P_{1\,C\,J} = C1$$

$$\sum_{j \in J} P_{2\,C\,J} = C2$$

Se realiza en una sola ciudad:

$$\sum_{j \in J} Y_{i\,j} = 1$$

3 uruguayos por extranjero en MVD:

$$(P_{1\,A\,MVD} + P_{1\,D\,MVD} + P_{1\,T\,MVD} + P_{1\,C\,MVD}) \leq 3 * Y_{1\,MVD} * (A1 + D1 + T1 + C1)$$
$$(P_{2\,A\,MVD} + P_{2\,D\,MVD} + P_{2\,T\,MVD} + P_{2\,C\,MVD}) \leq 3 * Y_{1\,MVD} * (A1 + D1 + T1 + C1)$$

Profesionales extranjeros:

$$\sum_{k \in k} \sum_{j \in J \neq SC} P_{1\,k\,j} - M * (1 - Y_{1\,SC}) \leq PE_{1\,SC}$$

$$\sum_{k \in k} \sum_{j \in J \neq SC} P_{2\,k\,j} - M * (1 - Y_{2\,SC}) \leq PE_{2\,SC}$$

Buquebus o Avión:

$$PE_{1\,MVD} = PE_{B\,MVD} + PE_{A\,MVD}$$

$$PE_{B\,MVD} \leq \sum_{k \in K} P_{1\,k\,BA}$$

Funcional

INCOMPLETO!!!

Ejercicio 23 de Noviembre del 2019

A En una ciudad de nuestro país existe gente que tiene problemas con los almuerzos en las jornadas laborales. Buscando solucionar el problema, un cocinero amateur que quiere ver que hace de su vida laboral, pensó en armar con sus 4 amigos “*El club de los cocineros de familia*” para preparar viandas para los empleados.

Los platos que van a entregar son Ensaladas, Sandwich y Pastas. Hay un solo tipo de cada plato por día. A las empresas se las cobran a un único precio *$ENS* cada ensalada, *$SAND* cada sandwich y *$Pastas* cada plato de pastas. Cada cocinero i tiene capacidad para hacer *ENS_i* ensaladas, *SAND_i* sandwichs y *PAS_i* platos de pastas.

Cada empresa i realiza cada día una cantidad de pedidos de cada comida k igual a *PEDIDOS_ik* (para el modelo es una constante cuyo valor se conoce cada día). Se deben cumplir con todos los pedidos. Los pedidos les llegan a la central CdeFlia que va dividiendo por cada cocinero de acuerdo a lo que es más conveniente para el club.

Para el orden de reparto de los platos por cada empresa se debe cumplir que en primer lugar se reparta en la empresa (salvo la D) que más pedidos en total hizo ese día. La empresa D quiere la comida a las 13, por eso se debe ir a D en el orden tres. Se conocen las distancias *DISTij* (en kilómetros) entre cada par de empresas (A, B, C, D y E) y entre la central CdeFlia y cada empresa. La persona que lleva los pedidos les cobra *$X* por cada kilómetro que tiene que recorrer.

Deben poder obtener al menos *$BENEFICIOS* por todo esto por día. Si no llegan, tendrán que aumentar *IP$* a cada plato de pastas

Por cada plato de tipo k (k=ensalada, sandwich, pastas) hay que pagarle a cada cocinero j *$P_kj*. Para que el club funcione bien hay que planificarlo de tal manera que exista la menor diferencia posible entre lo que cobra cada cocinero y lo que cobran los demás (tratando de que cobren más o menos lo mismo cada uno de los cinco).

¿Qué es lo mejor que se puede hacer con la información disponible?

NOTA:*ENS_i, SAND_i, PAS_i, $ENS, $SAND, $Pastas, DISTij, $X, PEDIDOS_ik, $BENEFICIOS, IP$ y $P_kj* son constantes conocidas

A1 Caracterizar la situación problemática en cinco renglones o mediante un gráfico.

A2 Objetivo del problema, completo y claro. Hipótesis y supuestos.

A3 Modelo matemático de programación lineal y variables utilizadas para la resolución. Indicar claramente qué función cumple cada ecuación. Tener en cuenta que ***si el modelo no es lineal, este punto se anulará***.

Análisis de la situación problemática

Se trata de un problema de planificación con un problema del viajante. Se tiene varios cocineros que realizan 3 platos de comida. Cada plato tiene un costo distinto dependiendo de qué cocinero que lo realice. Además se deben entregar los pedidos a las i empresas de manera tal que se entregue a las empresas de mayor pedido primero exceptuando a la empresa D que se debe entregar a las 13 hs.

Objetivo

Se quiere determinar la cantidad de platos de las distintas comida que debe realizar cada cocinero en un periodo de tiempo de manera tal de minimizar la diferencia entre los salarios de los cocineros.

Hipótesis

- Si la empresa D tiene la mayor cantidad de pedidos, siempre debe ir en orden 3.
- Los cocineros trabajan y están dispuestos a trabajar todos los días.
- La empresa repartidora siempre está dispuesta para hacer los pedidos.
- No inflación que altere los precios/salarios.
- Todo recurso no mencionado no es limitante ni tiene un costo asociado.
- Las empresas siempre pagan la cantidad de pedidos realizados por día.
- La cantidad de platos realizados día a día son exactos.
- La cantidad de platos vendidos son exactos.
- Se van a poder realizar todos los tramos.
- Debe recorrer las empresas una sola vez.
- No hay subtours.

Modelo

Variables

$TENS_d$: Cantidad de ensaladas totales realizadas en el día d.
$TSAND_d$: Cantidad de sandwich realizados en el día d.
$TPAS_d$: Cantidad de platos de pastas realizados en el día d.
$TPASNA_d$: Cantidad de plato de pasta realizados en el día d sin el aumento
$TPASCA_d$: Cantidad de plato de pasta realizados en el día d con el aumento
$CostoC_{id}$: Costo total del cocinero i en el día d.
$CENS_{id}$: Cantidad de platos de ensalada realizados por el cocinero i en el día d.
$CSAND_{id}$: Cantidad de sandwich realizados por el cocinero i en el día d.
$CPAS_{id}$: Cantidad de platos de pasta realizados por el cocinero i en el día d.
YPAS : {1 si se tiene que aumentar el precio del plato de pasta, 0 en caso contrario}
Y_{ih} : {1 si va de la empresa i a la empresa h, 0 en caso contrario}
U_i : Orden de visita de la ciudad i
$YMax_c$: {1 si el cocinero c tiene el mayor salario, 0 en caso contrario}
$YMin_c$: {1 si el cocinero c tiene el menor salario, 0 en caso contrario}
$Ventas_d$: Cantidad de plata de las venta platos en el día d
$Salarios_d$: Cantidad de salarios diarios que se debe pagar a todos los cocineros el día d
$GEnvio_d$: Gasto diario del día por los platos enviados a las empresas
MAX : Salario máximo de los cocineros
MIN : Salario mínimo de los cocineros

Restricciones

Demanda máxima de platos por cocinero:

$$CENS_{id} \leq ENS_i$$

$$CSAND \leq SAND_i$$

$$CPAS_{id} \leq PAS_{i}$$

Cantidad de platos a realizar:

$$TENS_{d} + TSAND_{d} + TPAS_{d} = \sum_{i \in Empresas} \sum_{k \in Platos} PEDIDOS_{ikd}$$

Cantidad de platos realizados por los cocineros:

$$TENS_{d} = \sum_{i \, \varepsilon \, Cocineros} CENS_{id}$$

$$TSAND_{d} = \sum_{i \, \varepsilon \, Cocineros} CSAND_{id}$$

$$TPAS_{d} = \sum_{i \, \varepsilon \, Cocineros} CPAS_{id}$$

Platos de totales de pasta:

$$TPAS_{d} = TPASNA_{d} + TPASCA_{d}$$

$$TPASCA_{d} \leq M * YPAS$$

$$TPASNA_{d} \leq M * (1 - YPAS)$$

Aumento precio del plato de pasta:

$$Ventas_{d} = TENS_{d} * \$ENS + TSAND_{d} * \$SAND \, \$ip +$$

$$+ TPASNA_{d} * \$PAS + TPASCA_{d} * (\$PAS + \$IP)$$

$$Salarios_{d} = \sum_{i \, \varepsilon \, cocineros} (CENS_{id} * \$P_{ensalada \, i} + CSAND_{id} * \$P_{sandwich \, i} + CPAS_{id} * \$P_{pasta \, i})$$

$$GEnvío_{d} = \sum_{i \, \varepsilon \, Empresas} \sum_{j \, \varepsilon \, Empresas} Y_{ij} * DIST_{ij} * \$X$$

$$VENTAS_{d} - SALARIOS_{d} - GEnvio_{d} \leq \$BENEFICIOS + M * YPAS$$

Solo se visita una vez la empresa:

$$\sum_{h \in I} Y_{ih} = 1$$

Solo se sale una vez de la empresa:

$$\sum_{i \in I} Y_{ih} = 1$$

Sin subtours:

$$U_{i} - U_{h} + 5 * Y_{ih} \leq 4$$

La empresa D siempre es visitada tercera:

$$U_{D} = 3$$

Entrega de más pedidos a menos:

$$PEDIDOS_{IJ} \leq PEDIDOS_{kj} + M * Y_{ik}$$

$$U_k - Y_{ik} \leq U_i \leq U_k + M * (1 - Y_{ik})$$

Salario máximo: (para todos los cocineros)

$$CENS_{id} * \$P_{ensalada\ i} + CSAND_{id} * \$P_{sandwich\ i} + CPAS_{id} * \$P_{pasta\ i} \leq MAX$$

$$MAX \leq CENS_{id} * \$P_{ensalada\ i} + CSAND_{id} * \$P_{sandwich\ i} + CPAS_{id} * \$P_{pasta\ i} + M * YMAX_c$$

$$\sum_{c\ \varepsilon\ Cocineros} YMAX_c = 4$$

Salario mínimo: (para todos los cocineros)

$$CENS_{id} * \$P_{ensalada\ i} + CSAND_{id} * \$P_{sandwich\ i} + CPAS_{id} * \$P_{pasta\ i} - M * YMIN_c \leq MAX$$

$$MAX \leq CENS_{id} * \$P_{ensalada\ i} + CSAND_{id} * \$P_{sandwich\ i} + CPAS_{id} * \$P_{pasta\ i}$$

$$\sum_{c\ \varepsilon\ Cocineros} YMIN_c = 4$$

Funcional

$$Z(Min) = MAX - MIN$$

Ejercicio 11 de Diciembre del 2019

A Es necesario planificar la infraestructura de generación eléctrica de un país. Para ello, se ha dividido al país en 3 zonas. Para cada zona se conoce la necesidad de energía para el 2021, además de la energía generada en diferentes tipos de centrales al día de hoy:

Zona	Demanda (GWH)	Generación térmica (GWH)	Generación hidroel. (GWH)	Generación Nuclear (GWH)	Generación Solar (GWH)	Generación eólica (GWH)
A	9000	4500	1000	0	400	0
B	25000	18000	1800	1700	0	100
C	8000	2000	8000	0	0	800

Es necesario cubrir la demanda de cada zona. Eso se puede hacer desde la propia zona o desde las otras zonas a través de líneas de alta tensión. Las centrales térmicas, solares o eólicas se pueden construir del tamaño que haga falta, con costo de CT, CS y CE $/GWH respectivamente. Es posible construir dos centrales hidroeléctricas en la zona C, la represa "El Cóndor" de 950 GWH, con un costo de CC$ y la represa "Barranquita" de 500 GWH, con un costo de CB$. No se puede hacer "Barranquita" si no se construye "El Cóndor". También hay un proyecto de ampliación de la Central Nuclear Embolsa, en la zona B en 300 GWH por un costo de CN$.

Hay 3 líneas de alta tensión que vinculan las zonas entre sí: La línea A-B puede transportar AB GWH. La línea B-C puede transportar BC GWH. La tercera línea vincula a la zona B con un país limítrofe, y puede transportar hasta BE GWH. Por decisión política, no se importará energía a través de esta línea. La energía que se exporte por esta línea se podrá vender a EXPOR$ por GWH. Se cobra por adelantado. Cualquiera de las tres líneas puede incrementar su capacidad, a un costo de LL$ por GWH de incremento. Ante la presión de grupos ecologistas, se ha decidido que si se amplía la central nuclear, la capacidad construida en energías renovables (solar y eólica) debe ser al menos 400 GWH. Esta restricción no es necesaria si la energía que más amplía su capacidad es la energía solar.

Para financiar estas obras se cuenta con un presupuesto de PRES$. Si esto no es suficiente, se pueden tomar créditos en el sector bancario, con un interés del 10% anual. Para las energías renovables, se pueden pedir créditos blandos al Banco Mundial con un máximo de BMCRED$ a una tasa del 3%. Si no se construyen las hidroeléctricas, este máximo se puede duplicar. También se puede tomar un crédito de la OPEP para construir centrales térmicas de hasta OPEPCRED$, con una tasa del 8% anual.

Se pueden realizar programas de educación para reducir la demanda de energía, específicos para cada zona. Cada programa requiere de un equipo de profesionales y 4 simuladores energéticos. Se cuenta en la actualidad con dos equipos de profesionales y 3 simuladores energéticos. Se pueden comprar más simuladores, a un costo de SE$ cada uno. No se desea incrementar la planta de profesionales. Cada programa puede reducir la demanda de la zona en un 2%. Si hay un sobrante de dinero al final del año, se pueden otorgar créditos a las Pymes del sector, a una tasa del 8%

¿Qué es lo mejor que puede hacer (Inserte nombre del Ministro de Energía aquí) con la información disponible?

(*) CT, CS, CE, CC, CB, CN, AB, BC, BE, EXPOR, LL, PRES, BMCRED, OPEPCRED, SE son constantes conocidas

A1 Caracterizar la situación problemática en cinco renglones o mediante un gráfico.

A2 Objetivo del problema, completo y claro. Hipótesis y supuestos.

A3 Modelo matemático de programación lineal y variables utilizadas para la resolución. Indicar claramente qué función cumple cada ecuación. Tener en cuenta que si el modelo no es lineal, este punto se anulará.

Análisis de la situación problemática

Se trata de un problema de planificación de obras más que de produccion. Donde se tienen distintas centrales eléctricas de distinto tipo (tipo) la cuales distribuyen energía a 3 lugares distintos y estos tienen un consumo el cual se debe satisfacer

Objetivo

Se quiere determinar si se deben crear nuevas centrales, si se debe aumentar la capacidad de la central nuclear embolsa, si se incrementa la capacidad de las líneas de alta tensión y si se debe tomar el crédito o no, de manera tal de minimizar el costo durante el próximo año.

Hipótesis

- La demanda de energía de cada zona es exacta y debe cumplirse
- La calidad de energía producida por cualquier tipo de planta es la misma
- La capacidad de las conexiones solo pueden subir y estas soportan cualquier voltaje
- Los recursos no mencionados no son limitante y no tienen un costo asociado
- La energía no utilizada no puede almacenarse
- Si se amplía Embolsa, las energías renovables deben aumentarse en la zona B
- Las energías renovables son la energía solar y la energía eólica, únicamente.
- Cada grupo de profesionales trabajan en una única zona.

Modelo

Variables

EP_{zt} : Cantidad de energía producida en la zona z del tipo t
EPX_{zt} : Cantidad de energía producida extra en la zona z del tipo t
EE_{ij} : Cantidad de energía enviada en la zona i a la zona j
ER_{ij} : Cantidad de energía recibida en la zona i a la zona j
EV: Cantidad de energía exportada.
Tipos = {T, H, S, E, N}
Zonas = {A, B, C}
$EXLL_{z1\ z2}$: Capacidad extra del cable de alta tensión entre z1 y z2
$Y_{ELCONDOR}$: {1 si se realiza la represa El Cóndor en la zona C, 0 en caso contrario}
$Y_{BARRANQUITA}$: {1 si se realiza la represa Barranquita en la zona C, 0 en caso contrario}
Y_{Embosa} : {1 si se amplía la central nuclear Embolsa, 0 en caso contrario}
YSE : {1 si hay más energía solar y eólica, 0 en caso contrario}
$Y_{REDUCE\ Z}$: {1 si se reduce el consumo en al zona Z, 0 en caso contrario}
$Y_{NoHidro}$: {1 si no se construyen hidroeléctricas, 0 en caso contrario}
FR : Financiamiento para energías renovable
CR : Costo de las energías renovables
PR: Préstamo para energías renovables
FT : Financiamiento para energías térmicas
CT : Costo de las energías térmicas
PT: Préstamo para energías térmicas

NS : Número de simuladores comprados
SOBRANTE: Exceso de caja
$Y_{NoHidro}$: {1 si no hay hidroeléctricas, 0 en caso contrario }

Restricciones

Consumo de A:

$$9000 * (1 - 0.02 * Y_{reduce\ A}) = \sum_{t\ \varepsilon\ Tipos} EP_{t\ A} + EE_{BA} - EE_{AB}$$

Consumo B:

$$25000 * (1 - 0.02 * Y_{reduce\ B}) = \sum_{t\ \varepsilon\ Tipos} EP_{t\ B} + EE_{BC} + EE_{BA} - EE_{CB} - EE_{AB} - EV$$

Consumo C:

$$8000 * (1 - 0.02 * Y_{reduce\ C}) = \sum_{t\ \varepsilon\ Tipos} EP_{t\ C} + EE_{CB} - EE_{BC}$$

Si no hago la central “El Cóndor”, tampoco hago “Barranquita”:

$$Y_{BARRANQUITA} \leq Y_{ELCONDOR}$$

Capacidad de las centrales:

$$EE_{AB} + EE_{BA} \leq AB + EX_{AB}$$

$$EE_{CB} + EE_{BC} \leq BC + EX_{BC}$$

$$EV \leq BE + EX_{BE}$$

Elaboración de energía zona A:

$$EP_{AT} = 4500 + EPX_{AT}$$

$$EP_{AS} = 400 + EPX_{AS}$$

$$EP_{AE} = EPX_{AE}$$

$$EP_{AH} = 1000$$

$$EP_{AN} = 0$$

Elaboración de energía zona B:

$$EP_{BT} = 18000 + EPX_{BT}$$

$$EP_{BS} = EPX_{BS}$$

$$EP_{BE} = 100 + EPX_{BE}$$

$$EP_{BH} = 1800$$

$$EP_{BN} = 1700 + 300 * Y_{emblosa}$$

Elaboración de energía zona C:

$$EP_{CT} = 2000 + EPX_{CT}$$

$$EP_{CS} = EPX_{CS}$$

$$EP_{CE} = 800 + EPX_{CE}$$

$$EP_{CH} = 8000 + 950 * Y_{ELCONDOR} + 500 * Y_{BARRANQUITA}$$

$$EP_{CN} = 0$$

Debe haber 400 gwh de energía solar y eólica si se agranda la central de embolsa:

$$400\ *\ Y_{EMBOLSA}\ \leq\ EPX_{BE}\ +\ EPX_{BS}\ +\ M\ *\ YSE$$

Costo energía térmica:

$$CT\ =\ \sum_{z\ \varepsilon\ Zonas} EPX_{zT}$$

Costo energía renovables:

$$CR\ =\ \sum_{z\ \varepsilon\ Zonas} EPX_{zS}\ +\ EPX_{zE}$$

Costo de energía producida:

$$Costo_{Energía}\ =\ \sum_{z\ \varepsilon\ Zonas} EPX_{zT}\ *\ \$Ct\ +\ EPX_{zS} *\ \$CS\ +\ EPX_{zE}\ *\ \$CE$$

Financiamiento renovables:

$$FR\ =\ CR\ -\ PR$$

$$PR\ \leq\ BMCRED\$\ *\ (1\ +\ Y_{NoHidro})$$

Financiamiento térmicas:

$$FT\ =\ CT\ -\ PT$$

$$PT\ \leq\ OPEPCRED\$$$

Caja:

$$PRES\$\ +\ EV\ *\ EXPOR\$\ -FT\ -FR\ -\ Costo_{Energía}\ -\ Y_{embolsa}\ *\ CN\$\ -\ Y_{ELCONDOR}\ *\ CC\$$$

$$-\ Y_{BARRANQUITA}\ *\ CB\$\ -\ \sum_{l\ en\ Líneas} EX_{l}\ *\ LL\$\ -\ SE\$ * NS\ =\ SOBRANTE\ -\ PB$$

Solo hay 2 equipo de profesionales

$$\sum_{z\ \varepsilon\ Zonas} Y_{reduce\ z}\ \leq\ 2$$

Cantidad de simuladores:

$$\sum_{z\ \varepsilon\ Zonas} Y_{reduce\ z} *\ 4 \leq NS\ +\ 3$$

No hay Hidroeléctricas:

$$Y_{NoHidro} =\ 1 - Y_{ELCONDOR}$$

Funcional

$$Z(max)\ =\ SOBRANTE\ *\ 1.08\ -\ PR\ *\ 1.03\ -\ PT\ *\ 1.08\ -\ PB\ *\ 1.1$$

Checklist

- [X] Consumo por zona
- [X] Producción extra solar, térmica y eólica
- [X] Transmisión de energía entre zonas
- [X] Venta de energía
- [X] Reducción de consumo por planes educativos
- [X] Caja
- [X] Planes educativos
- [X] Barranquita va después de Condor
- [ ] Funcional
- [X] Préstamos bancarios 10%
- [X] Para energías renovables (solar y eólica) >> préstamos de BM <= BMCRED$, 3% (sin hidro duplica)
- [X] Para termicas >> préstamo de OPEP <= OPEPCRED$, 8%
- [ ] Sobrante de dinero >> préstamos a pymes, 8%

Ejercicio 27 de Octubre del 2018

A Tomás se canso de trabajar en la empresa donde trabajo siempre (PineApple) y decidió que quiere probar suerte en el mercado especulativo. Durante todos sus años de trabajo, consiguió ahorrar 1.5 Millones de pesos para poder invertirlos en que lo desee. Además, la empresa donde trabajaba le fue dando acciones a medida que pasaba el tiempo y ahora tiene CANT_ACCIONES de la empresa, las famosas PineApples.
El plan de Tomás es en 90 días tener la mayor cantidad de pesos posible.
Para ganar más dinero puede usar distintas alternativas: comprar divisas y comprar acciones.
Sobre las divisas, sabe que puede comprar dólares, euros, pesos argentinos, coronas checas y yuanes. Su plan es el de ir comprando y vendiendo divisas a medida que van subiendo y bajando el tipo de cambio, para eso estuvo estudiando y resultó en que sabe que la moneda i (peso, dólar, etc) va a tener un valor el dia d de Vidm con respecto a la moneda m (peso, dólar, etc). Por ejemplo V_dolar_3_yuan significa el valor que va a valer comprar 1 (un) dólar el día 3 en yuanes y V_yuan_3_dolar significa el valor que va a valer comprar 1 (un) yuan el dia 3 en dólares. Sabe que el banco no tiene todas las divisas todos los días, por lo que pregunto y averiguo que el banco tiene Did de la divisa i en el día d para venderle. Dado que necesita vivir esos 90 días, ya estimó que va a gastar $300 pesos por día. Tomás quiere diversificar, no quiere en ningún momento tener sus ahorros en menos de dos tipos de divisas distintas.
Sobre las acciones, conoce el precio que tiene cada acción en dólares, por lo que, si quiere comprar una acción, debería tener disponible en su cuenta los dólares para comprarlas, el precio de cada acción a el dia i es Pai. Solo puede comprar acciones de Google, Facebook y PineApples y como quiere tener una actitud agresiva, no quiere tener al mismo tiempo acciones de Facebook y Google. Al momento de vender una acción, deberá pagar el impuesto a las ganancias, que es el 35% de la plata que gano con la acción, (por ejemplo si compro una acción a 10 y la vendió a 20, la ganancia es 10 y tiene que pagar el impuesto por el 35% de esos 10 dólares).
Un banquero amigo le ofreció prestarle como máximo PRÉSTAMO pesos el día uno, teniendo que devolver la plata al final de los 90 días pagando los intereses vencidos. La tasa de interés es del 5% mensual.
Al enterarse su jefe de todo esto, le ofreció quedarse en la empresa cobrando COBRO plata por mes, pero con la condición que de que no toque sus ahorros.
¿Qué es lo mejor que puede hacer Tomás con esta información?
NOTA: CANT_ACCIONES, Vidm, Did, Pai, PRÉSTAMO, COBRO son constantes conocidas
A1 Caracterizar la situación problemática en cinco renglones o mediante un gráfico.
A2 Objetivo del problema, completo y claro. Hipótesis y supuestos.
A3 Modelo matemático de programación lineal y variables utilizadas para la resolución. Indicar claramente qué función cumple cada ecuación. **Tener en cuenta que si el modelo no es lineal, este punto se anulará.**

Análisis de la situación problemática

Objetivo

Determinar la cantidad de divisas y acciones comprar y vender por día durante 90 días o quedarme con el dinero ahorrado más el aumento por mes en el trabajo, para obtener mayor ganancia posible

Hipótesis

- El servicio de compra y venta de acciones y divisas estará disponible todos los días durante los 90 días
- El préstamo se paga a finalizar los 90 días
- El préstamo se utiliza para la compra de divisas
- Los recursos no mencionado no son limitantes ni tienen un costo asociado
- La condición impuesta por el jefe implica que no se puede comprar divisas o acciones
- El préstamo del amigo lo puede pagar con sus ahorros o con plata destinada pero siempre en pesos
- Se pueden comprar divisas en término continuas
- El precio de compra y venta de las acciones es el mismo durante los 90 días.

Modelo

Variables

A_{ID} : Ahorro en la divisa I el día D
CAC_{AD} : Cantidad de acciones compradas el día D de la empresa A
CAV_{AD} : Cantidad de acciones vendidas al día D de la empresa A
YD_{ID} : {1 si tiene ahorros en la divisa I el día D, 0 en caso contrario}
YA_{AD} : {1 si tiene acciones A el día D}
D = [1…90]
I = [D, E, P, C, Y]
A = [Google, Facebook, PineApples]
AC_{AD} : Cantidad de acciones al día D compradas
YPJ : {1 si acepta la propuesta del jefe, 0 en caso contrario}
YPA: {1 si toma el préstamo del amigo, 0 en caso contrario}
AC_{IDM} : Ahorro comprado de la divisa I al día D con la moneda M
IJC_{IDM} : {1 si efectúa el cambio de la divisa M a la I en el día D, 0 en caso contrario}
YAC_{AD} : {1 si quiere compra la acción A el día D, 0 en caso contrario}
YAV_{AD} : {1 si quiere vender la acción A el día D, 0 en caso contrario}

Restricciones

Relación divisa-bivalente:

$$n * A_{ID} \leq YD_{ID} \leq M * A_{ID}$$

No ahorro en menos de dos divisas:

$$\sum_{i \varepsilon I} YD_{iD} \geq 2$$

Relación acción-bivalente:

$$n * AC_{AD} \leq YA_{ID} \leq M * AC_{AD}$$

No tengo acciones de facebook y google a la vez:

$$Y_{Facebook\ D} + Y_{Google\ D} \leq 2 - n$$

Aporte en pesos diarios

$$A_{Pesos\ D} \leq A_{Pesos\ D-1} + 300 \ (d = [2 \ldots 90])$$
$$A_{Pesos\ 1} \leq 300 + PRESTAMO * YPA$$

Compra de divisas:

$$A_{ID+1} \leq A_{ID} + \sum_{m \varepsilon I\, i \neq m} AC_{IDm} - AC_{mDI} * V_{mDI}$$

Disponibilidad de divisas:

$$\sum_{m \varepsilon I\, i \neq m} AC_{IDm} \leq D_{ID}$$

Acciones día 1:

$$AC_{PineApples\ 1} \leq CANT\_ACCIONES$$

Compra de acciones:

$$AC_{AD} + CAC_{AD} - M (1 - YAC_{AD}) \leq AC_{A\ D+1} \leq AC_{AD} + CAC_{AD} + M (1 - YAC_{AD})$$
$$AD_{D} - P_{AD} * CAC_{AD} - M (1 - YAC_{AD}) \leq A_{A\ D+1} \leq AD_{D} - P_{AD} * CAC_{A} + M (1 - YAC_{AD})$$

Venta de acciones:

$$AC_{AD} - CAV_{AD} - M (1 - YAV_{AD}) \leq AC_{A\ D+1} \leq AC_{AD} + CAV_{AD} + M (1 - YAV_{AD})$$
$$AD_{D} + P_{AD} * CAV_{AD} - M (1 - YAV_{AD}) \leq A_{A\ D+1} \leq AD_{D} + P_{AD} * CAV_{A} + M (1 - YAV_{AD})$$

Préstamos Jefe:

$$A_{ID} \leq M * (1 - YPJ)$$
$$AC_{AD} \leq M * (1 - YPJ)$$

Funcional

$$Z(max) = COBRO * YPJ - PRESTAMOS * 1.15 * YPA + D_{P\ 90} + D_{Y\ 90} * 1/V_{P90Y} + D_{D\ 90} * 1/V_{P90D} + D_{E\ 90} * 1/V_{E90D} + D_{C\ 90} * 1/V_{P90C}$$

Ejercicio 17 de Noviembre del 2018

A Las líneas aéreas low cost optimizan sus procesos al máximo, y Fly Airways quiere mejorar el funcionamiento de sus servicios de asistencia en tierra y de movimiento de pasajeros. Hay cuatro aviones (1, 2, 3 y 4) que aterrizan en Aeroparque a las 10:01, 10:06,

10:15 y 10:18 y deben ser acondicionados lo más rápidamente posible para poder volver a despegar hacia otros destinos.
Los servicios de asistencia en tierra son brindados por equipos altamente especializados. Fly Airways tiene solamente un equipo para poder hacer cada tarea. El orden de ejecución de las tareas, por avión, es el siguiente:

	Descarga de Equipaje	Limpieza de Cabina	Servicio de Catering	Carga de Combustible	Carga de Equipaje
Avión 1	DE1	LC1	SC1	CC1	CE1
Avión 2	DE2	LC2	SC2	CC2	CE2
Avión 3	DE3	LC3	SC3	CC3	CE3
Avión 4	DE4	LC4	SC4	CC4	CE4

Descarga de Equipaje, Limpieza de Cabina, Servicio de Catering, Carga de Combustible y Carga de Equipaje. En la tabla tenemos el tiempo (en minutos) que requiere cada equipo en cada avión:
La carga de combustible del Avión 2 no debe realizarse después de los 35 minutos de iniciada la primera tarea, excepto que el equipo de servicio de catering comience a trabajar por el Avión 1. En el Avión 4 se puede iniciar la limpieza de cabina junto con el servicio de catering si en el Avión 3 ya se completó la carga de equipaje al momento de iniciar ambas tareas.
Los pasajeros de los Aviones 1 y 2 viajan a un encuentro de Investigación Operativa y deben pasar a los aviones 3 y 4, excepto 10 del Avión 1 y 20 del Avión 2, que se quedan en la ciudad. Cada pasajero demora Tij minutos en realizar la conexión del Avión i al j y los trámites correspondientes. Los aviones tienen 120, 130, 110 y 110 asientos, respectivamente. Los pasajeros pueden iniciar la conexión una vez que terminó la descarga de equipaje de su avión de origen.
Cada avión podrá iniciar la puesta en marcha para despegue cuando los servicios de tierra y las conexiones de los pasajeros estén finalizados. Dado que el aeropuerto tiene una única pista, se debe respetar un mínimo de dos minutos entre despegues consecutivos.
Existe un costo por tener un avión estacionado en rampa, que es de $COSTO1 durante los primeros 60 minutos, $COSTO2 durante los siguientes 120 minutos, y $COSTO3 si excede los 180 minutos. El costo total de estacionamiento de los cuatro aviones no puede excederse de $COSTOM.
¿Qué es lo mejor que puede hacer Fly Airways con esta información?
NOTA: DEi, LCi, SCi, CCi, CEi, Tij, $COSTO1, $COSTO2, $COSTO3, $COSTOM son constantes conocidas
A1 Caracterizar la situación problemática en cinco renglones o mediante un gráfico.
A2 Objetivo del problema, completo y claro. Hipótesis y supuestos.
A3 Modelo matemático de programación lineal y variables utilizadas para la resolución. Indicar claramente qué función cumple cada ecuación. **Tener en cuenta que si el modelo no es lineal, este punto se anulará.**

Análisis de la situación problemática

Se trata de un problema de scheduling donde se tienen 4 aviones a los cuales se le debe realizar 5 actividades antes de sus despegues.

Objetivo

Se quiere determinar el momento en que se deben realizar las 5 tareas para cada avión de manera de minimizar el costo de tener el avión estacionado en la rampa durante un periodo de tiempo.

Hipótesis

- Los horarios son relativos al número de avión.
- Los pasajeros de un avión de conexión no deben cargar el equipaje por si mismos
- No se suben nuevas personas a los aviones
- Cada equipo puede atender un avión a la vez
- Las tareas no son interrumpidas
- Hay disponibilidad de equipo para realizar todas las tareas
- Los recursos no mencionados no son limitantes ni tienen un costo asociado
- No hay tiempo muerto entre las realización de cada tara
- Solo se aplica un costo

Modelo

Variables

I_{AT} : Minuto desde las 10:00 en el que se empezó la tarea T para el avión A
F_{AT} : Minuto desde las 10:00 en el que se finalizó la tarea T para el avión A
A = [1, 2, 3, 4]
T = [D, L, S, CC, CE]
$Y_{T\,A1\,A2}$: {1 si se ejecuta la tarea T primero en el avión A1 y después en el avión A2, 0 en caso contrario}
MIN_SC = Mínimo del inicio de servicio de catering
YM_A : {1 si el minuto de inicio del servicio de catering para el avión A es el menor de todos, 0 en caso contrario}
Y_{3F} : {1 si se completo la carga de equipaje en el avión 3 al momento de iniciación de las tareas de limpieza de cabina y servicio de catering en el avión 4, 0 en caso contrario}
TIEMPO_MIN_DESPEGUE_3 : Minuto en el que puede despegar el avión 3 desde las 10:00
TIEMPO_MIN_DESPEGUE_4 : Minuto en el que puede despegar el avión 4 desde las 10:00
$YMIN_{I3}$: {1 si el tiempo mínimo de despegue es el I, 0 en caso contrario}
$YMIN_{I4}$: {1 si el tiempo mínimo de despegue es el I, 0 en caso contrario}
I = [conexión1, conexión2, tareas 3]
D_A : Minuto en el que despega cada avión desde las 10:00
D_{A1} : Costo si el avión A está estacionado en los primero 60 minutos
D_{A2} : Costo si el avión A está estacionado entre 60 y 180 minutos
D_{A3} : Costo si el avión A está estacionado excede los 180 minutos
Y_{A1} : {1 si el avión A está estacionado los primeros 60 minutos, 0 en caso contrario}
Y_{A2} : {1 si el avión A está estacionado entre 60 a 180 minutos, 0 en caso contrario}
Y_{A3} : {1 si el avión A está estacionado excede los 180 minutos, 0 en caso contrario}

Restricciones

Relación de inicio y finalización de tareas:

$$I_{AD} = F_{AD} - DEA$$
$$I_{AL} = F_{AL} - LCA$$
$$I_{AS} = F_{AS} - SCA$$
$$I_{ACC} = F_{ACC} - CCA$$
$$I_{AE} = F_{AE} - CEA$$

Orden de las tareas:

$$F_{AD} \leq I_{AL}$$
$$F_{AL} \leq I_{AS}$$
$$F_{AS} \leq I_{ACC}$$
$$F_{ACC} \leq I_{ACE}$$

Asegurar un grupo trabaje en un avión a la vez:

$$M * Y_{T\,A1\,A2} + I_{A1\,T} \geq F_{A2\,T}$$
$$M * (1 - Y_{T\,A1\,A2}) + I_{A2\,T} \geq F_{A1\,T}$$
$$F_{A1\,T} \leq I_{A2\,T}$$

Aterrizajes de aviones:

$$I_{1D} \geq 1$$
$$I_{2D} \geq 6$$
$$I_{3D} \geq 15$$
$$I_{4D} \geq 18$$

Servicio de catering comienza a trabajar por el avión 1:

$$I_{AD} - M * (1 - YM_A) \leq MIN\_SC \leq I_{AD}$$

$$\sum_{a \in A} YM_a = 1$$

Carga de combustible del avión 2:

$$I_{CC\,2} \leq I_{D\,2} + 35 + M * YM_1$$

Carga de equipaje avión 3:

$$I_{4L} - M * Y_{3F} \leq F_{3CE} \leq I_{4L} + M * (1 - Y_{3F})$$

Avión 4 y orden de tareas:

$$F_{4D} \leq I_{4L}$$
$$F_{4L} \leq I_{4S} + M * Y_{3F}$$
$$F_{4L} \leq I_{4CC}$$
$$F_{4S} \leq I_{4CC}$$
$$F_{4CC} \leq I_{4CE}$$

Despegue del avión 3:

$$\sum_{i \in I} YMIN_{I3} = 1$$

$$F_{D1} + T_{13} \leq TIEMPO\_MIN\_DESPEGUE\_3 \leq F_{D1} + T_{13} + (1 - YMIN_{CONEXIÓN1\,3})$$
$$F_{D2} + T_{23} \leq TIEMPO\_MIN\_DESPEGUE\_3 \leq F_{D2} + T_{23} + (1 - YMIN_{CONEXIÓN2\,3})$$
$$F_{CE\,3} \leq TIEMPO\_MIN\_DESPEGUE\_3 \leq F_{CE\,3} + (1 - YMIN_{TAREA3})$$

Despegue del avión 4:

$$\sum_{i \in I} YMIN_{I4} = 1$$

$$F_{D1} + T_{14} \leq TIEMPO\_MIN\_DESPEGUE\_4 \leq F_{D1} + T_{14} + (1 - YMIN_{CONEXIÓN1\,4})$$

$$F_{D2} + T_{24} \leq TIEMPO\_MIN\_DESPEGUE\_4 \leq F_{D2} + T_{24} + (1 - YMIN_{CONEXIÓN2\ 4})$$
$$F_{CE\ 4} \leq TIEMPO\_MIN\_DESPEGUE\_4 \leq F_{CE\ 4} + (1 - YMIN_{TAREA4})$$

Despegue:

$$D_1 \geq F_{1\ CE}$$
$$D_2 \geq F_{2\ CE}$$
$$D_3 \geq TIEMPO\_MIN\_DESPEGUE\_3$$
$$D_4 \geq TIEMPO\_MIN\_DESPEGUE\_4$$

Despegues consecutivos:

$$M * Y_{D\ A1\ A2} + D_{A1} \geq D_{A2} + 2$$
$$M * (1 - Y_{D\ A1\ A2}) + D_{A2} \geq D_{A1} + 2$$
$$A1 <> A2$$

Estacionado:

$$D_1 - 1 = D_{11} + D_{12} + D_{13}$$
$$D_2 - 6 = D_{21} + D_{22} + D_{23}$$
$$D_3 - 15 = D_{31} + D_{32} + D_{33}$$
$$D_1 - 18 = D_{41} + D_{42} + D_{43}$$

$$0 \leq D_{11} \leq 60 * Y_{11}$$
$$(60 + m) * Y_{12} \leq D_{12} \leq 180 * Y_{12}$$
$$(180 + m) * Y_{13} \leq D_{13} \leq 180 * Y_{13}$$
$$Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} = 1$$

para todos los aviones

Restricción de costo:

$$COSTO1 * \sum_{a \in A} D_{a1} + COSTO2 * \sum_{a \in A} D_{a2} + COSTO3 * \sum_{a \in A} D_{a3} \leq COSTO * M$$

Funcional

$$Z(MIN) = COSTO1 * \sum_{a \in A} D_{a1} + COSTO2 * \sum_{a \in A} D_{a2} + COSTO3 * \sum_{a \in A} D_{a3}$$

Ejercicio 13 de diciembre del 2018

A El supermercado JUMCO lanzará el próximo domingo promociones individuales para cada uno de sus clientes de forma de maximizar los ingresos del super. La categoría Café es la elegida para aplicar las promociones en la cual se comercializan 5 productos *(i=1..5)*

Al momento de ingresar el cliente al supermercado y utilizando la tecnología de geolocalización de su celular, se tomarán en cuenta los siguientes datos conocidos: 1) Los productos disponibles en góndola (*Di = 1 si producto i disponible, 0 caso contrario*). 2) El orden de preferencias del cliente de los productos: *Pi y P_PROMOi*; siempre lleva el producto mejor rankeado según sus preferencias (marketing conoce muy bien a cada cliente) *Ver* ***Tabla1***. 3) Los precios regulares *$PRECIOi* -son los que se muestran en góndola- y los precios en promoción *$PRECIO_PROMOi*.

El super enviará al cliente un código promocional por SMS para un producto (y aseguramos que se lo llevará) si se cumplen las dos condiciones: I) El cliente prefiere el producto en promo por sobre el resto de los productos disponibles a precio regular. II) El producto en promo genera más ingresos al super que el resto de los productos disponibles a precio regular.

Tabla1. Se muestra un ejemplo de orden conocido de preferencias de un cliente en particular

Pi: orden de pref. del prod. i a precio regular; *P_PROMOi*: orden de pref. del prod. i a precio promo

Orden de pref.	1 = P_PROMO2	2 = P_PROMO3	3 = P_PROMO1	**4 = P_1**	**5 = P_2**	**6 = P_3**	7 = P_PROMO4	8 = P_PROMO5	**9 = P_4**	**10 = P_5**
Producto (id prod)	Segafredo 500 (2)	Lavazza 1K (3)	Cabrales 500 (1)	**Cabrales 500 (1)**	**Segafredo 500 (2)**	**Lavazza 1K (3)**	Bonafide 1K (4)	Dolca 1K (5)	**Bonafide 1K (4)**	**Dolca 1K (5)**

El cliente siempre lleva exactamente una unidad (a precio regular o bien en promo si tiene el código).

¿Qué es lo mejor que puede hacer el supermercado con la información disponible? *NOTA: Di, $PRECIOi, $PRECIO_PROMOi, Pi, P_PROMOi* son constantes conocidas.

A1 Caracterizar la situación problemática en cinco renglones o mediante un gráfico.

A2 Objetivo del problema, completo y claro. Hipótesis y supuestos.

A3 Modelo matemático de programación lineal y variables utilizadas para la resolución. Indicar claramente qué función cumple cada ecuación. Tener en cuenta que ***si el modelo no es lineal, este punto se anulará***.

Análisis de la situación problemática

Objetivo

Se quiere determinar qué mensaje de promoción debe llegarle al cliente sobre las promociones de café el domingo, de manera de maximizar la ganancia.

Hipótesis

- Se garantiza que el cliente compra por lo menos un café o una promo.
-

Modelo

Variables

D_i : {1 si el producto i está disponible}
YPP_c : {1 si prefiere el producto c en promo por sobre el resto de productos disponibles a precio regular, 0 sino}
$YING_c$: {1 si el producto c en promos genera más ingresos que el resto de los productos, 0 sino}
Y_c : {1 si compra el café c a precio regular, 0 sino}
$Y_{Promo\ c}$: {1 si compra el café c en promo, 0 sino}
Pmin : Orden de preferencia mínimo
$YPMIN_i$: {1 si i es el mínimo orden de preferencia, 0 sino}
PPmin : Orden de preferencia mínimo en promos
$YPPMIN_i$: {1 si promo i es el mínimo orden de preferencia, 0 sino}
PGMax : Maxima ganacia del cafe sin promo
$YPGMax_i$: {1 si el cafe i es de mayor ganancia, 0 sino}

Restricciones

Llevo café o una promo:

$$\sum_{c\,\varepsilon\,Cafes} Y_c + Y_{Promos\ c} = 1$$

Compro si hay café c disponible:

$$Y_c + Y_{Promo\ c} \leq D_i$$

Máxima preferencia cafes:

$$P_i - M * (1 - YPMIN_i) \leq Pmin \leq P_i$$

$$\sum_{i\,\varepsilon\,Cafes} YPMIN_i = 1$$

Máxima preferencia promos:

$$P_{Promo\ i} - M * (1 - YPPMIN_i) \leq PPmin \leq P_{Promo\ i}$$

$$\sum_{i\,\varepsilon\,Cafes} YPPMIN_i = 1$$

Preferencia promo sobre producto:

$$- M * (1 - Y_{Promos\ i}) \leq Pmin - P_{Promo\ i} \leq M * Y_{Promos\ i}$$

Máximo precio cafe:

$$\$Precio \leq PGMax \leq \$Precio + M * (1 - YPGMax)$$

$$\sum_{i\ \varepsilon\ Cafe} YPGMax = 1$$

$$- M * (1 - Y_{Promos\ i}) \leq P_{Promos\ I} * \$Precio_{Promos\ i} - PGMax \leq M * Y_{promos\ i}$$

Funcional

$$\sum_{i\ \varepsilon\ Cafes} (Y_i * \$Precio + Y_{Promo\ i} * \$Precios_{Promo\ i})$$

Ejercicio 19 de Mayo del 2018

No lo tengo…
LEGION $_A$, LEGION $_B$, LEGION $_H$
4800 legionarios por región
Armas: Daga (pugio), espada (gladius), 2 jabalinas (pilum), escudo (scutum)
Armadura: Armadura de torso (lancahamata), yelmo (galea)
Mínimo de equipamiento: espada, escudo y armadura de torso
La legión $_A$ igual debe llevar todo el equipo
si o si 2 jabalinas

Análisis de la situación problemática

Se trata de un problema de planificación de la producción.

Objetivo

Se quiere determinar la cantidad de kg a extraer de los yacimientos y la cantidad de cada tipo de arma y armadura y de qué metal fabricarlos de manera de optimizar la calidad de dicho elemento durante un periodo de tiempo.

Hipótesis

- los materiales extraídos de los yacimientos tienen igual calidad sea cual fuere el yacimiento
- Las armas y el escudo necesariamente se tienen que hacer con madera y algún metal.
- Se pueden mezclar los materiales extraídos de ambos yacimientos sin perder su calidad.
- La madera extraída del bosque no altera la calidad del equipo
- La calidad de los elementos extraídos del yacimiento no varía con el paso del tiempo
- El elemento bronce tiene igual calidad sea cual fuere la composición de estaño y cobre.
- El bronce se puede fabricar con “otros” metales extraídos de iberia pero no con hierro
- Se tiene infinitos carros y galeras
- Cada carro se dedica a transportar armaduras o armas excluyentemente.

Modelo

Variables

H_i : Kg de hierro extraído del yacimiento i [kg/t]
C_i : Kg de cobre extraído del yacimiento i [kg/t]
E_i : Kg de estaño extraído del yacimiento i [kg/t]
i = [I, B]
O_I = kg de otros metales extraídos de iberia [kg/t]
PU $_{jq}$: Cantidad de pugra hechas del metal j para la región q (entera)
Pi $_{jq}$: Cantidad de pilum hechas del metal j para la región q (entera)

L_{jq} : Cantidad de lancahamata hechas del metal j para la región q (entera)
j = [Hierro, Bronce]
k = [Hierro, Bronce, Acero]
q = [A, B, H]
GL_{kq} : unidad de gladius hechas del material K para la región q (entera)
S_q : unidad de scutum para la región q (entera)
GA_q : unidad de galea para la región q (entera)
A : Kg de acero fabricados
B : Kg de cobre fabricados
$Y_{rq'}$: {1 si se incluye el elemento r en el equipo q', 0 en caso contrario}
$YT_{q''}$: {1 si la región q'' se abastece por tierra, 0 en caso contrario}
q' = [H, B]
r = [PU, PI, GA]
q'' = [A, B]
T_{qa} : Cantidad de medios de transporte empleados para la región q y el tipo de armamento a
T = [carros, galera]
a = [armas, armaduras]
YC_q : {1 se se despachan más de 3 carros en el mismo tramo, 0 en caso contrario}
EC_q : Costo extra pagado por tener menos de 3 carros en el mismo tramo

Restricciones

Disponibilidad de recursos:

Madera:

$$M \leq MADERA$$

Hierro:

$$HI \leq I\_HIERRO$$
$$HB \leq B\_HIERRO$$

Cobre:

$$CI \leq I\_COBRE$$
$$CB \leq B\_COBRE$$

Estaño:

$$EI \leq I\_ESTAÑO$$
$$EB \leq B\_ESTAÑO$$

Otros:

$$OI \leq I\_OTROS$$

Fabricación de bronce:

$$0.03 * B \leq EI + EB \leq 0.2 * B$$
$$OI \leq 0.02$$

Relación variables:

$$B = EI + EB + CI + CB + OI$$
$$H + A * 1.25 = HI + HB$$

Equipamiento mínimo:

$$GL_{Hq} + GL_{Aq} + GL_{Bq} = 4800$$
$$S_q = 4800$$

$$L_{Hq} + L_{Bq} = 4800$$

Equipamiento Armanca:

$$PU_{HA} + PU_{BA} = 4800$$
$$PI_{HA} + PI_{BA} = 9600$$
$$G_A = 4800$$

Otros elementos de equipamiento:

$$PU_{Hq} + PU_{Bq} = 4800 * Y_{PU\,q}$$
$$PI_{Hq} + PI_{Bq} = 9600 * Y_{PI\,q}$$
$$G_q = 4800 * Y_{G\,q}$$
$$q \text{ e } Q - \{armanca\}$$

Armado Madera:

$$0.5Kg/u * (PU_{Hq} + PU_{Bq}) + 0.75\ Kg/u * (GL_{Hq} + GL_{Bq} + GL_{Aq}) + 1.2\ Kg/u * (PI_{Hq} + PI_{Bq}) + 6Kg/u * S_q = M$$

Armado Hierro:

$$0.8Kg/u * PU_{Hq} + 0.7Kg/u * GL + 0.95Kg/u * PI_{Hq} + 5Kg/u * L_{Hq} + 4kg/u * S_q + 6.5Kg/u * GA = H$$

Armado Bronce:

$$0.9Kg/u * PU_{Bq} + 0.6Kg/u * GL_{Bq} + 0.6Kg/u * PI_{Bq} + 3Kg/u * L_{Bq}$$

Transporte helvecia:

$$C_{H\ armas} \geq (Pu_{HH} + PU_{HH} + GLA_{HH} + GLA_{BH} + GLA_{AH} + PI_{HH} + PI_{HB}) * 1/ARMAS\_CAR$$
$$C_{H\ armaduras} \geq (L_{HH} + L_{BH} + GA_{HH} + GA_{BH} + GA_{AH}) * 1/ARMADURA\_CAR$$

Transporte armonca y bélgica:

$$(PU_{HH} + PU_{BH} + \ldots) * 1/ARMAS\_CAR - M * (1 - YT_{q''}) \leq C_{q''\ Armas} \leq (PU_{HH} + PU_{BH} + \ldots) * 1/ARMAS\_CAR + M * (1 - YT_{q''})$$
$$(\ldots) * 1/ARMADURA\_CAR - M * (1 - YT_{q''}) \leq C_{q''\ Armas} \leq (\ldots) * 1/ARMADURA\_CAR + M * (1 - YT_{q''})$$
$$C_{q''\ Armas} \leq M * YT_{q''}$$

Más de tres carros:

$$3 * YC_q \leq C_{q\ Armas} + C_{q\ Armadura} \leq M * YC_q + 3 - m$$

Costo de carros:

$$CARQ/2 * (C_{q\ Armas} + C_{q\ Armaduras}) - M * YC_q \leq EC_q \leq CARQ/2 * (C_{q\ Armas} + C_{q\ Armaduras}) + M * YC_q$$
$$EC_q \leq M * (1 - YC_q)$$

Costos:

$$\sum_{q \in Q} EC_q + CARQ/2 * (C_{q\ Armas} + C_{q\ Armaduras}) + GALQ * (G_{q\ Armas} + G_{q\ Armaduras}) + $$
$$+ (HI + CI + EI + OI) * COSTOI + (HB + CB + EB) * COSTOB \leq TESORO$$

Funcional

$$Z(Max) = \sum_{q \in Q} BAJACAL * (PU_{Bq} + GL_{Bq} + PL_{Bq} + L_{Bq}) +$$
$$+ MEDIACAL * (PU_{Hq} + GL_{Hq} + PL_{Hq} + L_{Hq} + S_q + GA_q) + ALTACAL * GL_{Aq}$$

Ejercicio 4 de Junio del 2018

No lo tengo…
6000 pesos
Aguas verdes, Bariloche, comodoro rivadavia, dolores, el bolsón y florencio varela
Aguas verdes: $entrada por noche
Dolores: caja de alfajores
Florencio varela: Max 4 días y llevar miel
Bariloche: Excursiones
El bolsón: auto y cobró deuda
Comodoro: puede echar

Análisis de la situación problemática

Se trata de un problema del viajante donde un viajante debe partir de su casa y visitar una serie de clientes antes de retornar finalmente a su casa. Este no puede dejar de visitar a ningún cliente y se conocen las distancias entre cada cliente, y la distancia entre la cada cliente con la casa del viajante.

Objetivo

Se quiere determinar el orden y la cantidad de días en que se va a visitar cada ciudad de manera de estimar el tiempo que se queda en cada ciudad de manera tal minimizar el costo durante un periodo de tiempo.

Hipótesis

- Se van a poder realizar todos los tramos
- Debe recorrer las ciudades una sola vez
- El recorrido empieza y termina en Buenos Aires
- No hay subtours
- No hay más gastos de las especificados
- No hay inflación
- Si pasa más tiempo en bariloche que en comodoro se queda directamente en el hotel para no perturbar a su amiga
- No se considera el tiempo de trasladarse a cada lugar

Modelo

Variables

T_{ij} : Constante. Costo de ir de ciudad i a ciudad j en micro
Y_{ij} : {1 si toma el cambio de i a j, 0 en caso contrario}
I = j = [AV, B, BA, CR, D, EB, FV]
Y_i = Número de secuencia en el que la ciudad i es visitada (Entero)
AV : Cantidad de días que se quedará en aguas verdes
B : Cantidad de días que se quedará en Bariloche
CR : Cantidad de días que se quedará en Comodoro Rivadavia
D : Cantidad de días que se quedará en Dolores

EB : Cantidad de días que se quedará en El Bolsón
FV : Cantidad de días que se quedará en el Florencia Varela
$YAVD$: {1 si visita aguas verdes antes que dolores, 0 en caso contrario}
B_1 : Cantidad de días que se queda en bariloche si se queda 1 día
B_2 : Cantidad de días que se queda en Bariloche si se queda entre 2 y 4 días
B_3 : Cantidad de días que se queda en Bariloche si se queda más de 5 días
Y_{B1} : {1 si se queda 1 día en bariloche, 0 en caso contrario}
Y_{B2} : {1 si se queda entre 2 y 4 días en bariloche, 0 en caso contrario}
Y_{B3} : {1 si se queda más de 5 días en bariloche, 0 en caso contrario}
$YBolson$: {1 si se queda más de 3 días en el bolsón, 0 en caso contrario}
YBC : {1 si pasó más tiempo en bariloche que en comodoro Rivadavia, 0 en caso contrario}
$YCBC$: {1 se visita bariloche antes que comodoro Rivadavia, 0 en caso contrario}
E_{CR} : pesos gastados en alojamiento si la amiga descubre que estuvo más días en BRC que en comodoro
Y_{AND} : {1 si visita BRC antes que comodoro y se queda más días, 0 en caso contrario}
Y_D : {1 si va de florencia varela a comodoro rivadavia o Av, 0 en caso contrario}
Y_L : {1 se la última ciudad visitada es CR O BRC, 0 en caso contrario}
Y_{CR} : {1 se la última ciudad visitada es CR, 0 en caso contrario}
Y_B : {1 se la última ciudad visitada es BRC, 0 en caso contrario}
X_{kj} : {1 si la ciudad j se encuentra en los primeros K pasos, 0 en caso contrario}
D_k : Cantidad de dinero disponible en el paso K i = [0…6]

Restricciones

Salir una vez de la ciudad:

$$\sum_{j \in I} Y_{ij} = 1 \; \forall\, i \, \varepsilon\, I \;\; i \neq j$$

Lleva una vez a la ciudad:

$$\sum_{i \in I} Y_{ij} = 1 \; \forall\, j \, \varepsilon\, I \;\; i \neq j$$

Eliminar subtours:

$$U_i - U_j + 6 * Y_{ij} \leq 5 \;\; i, j \, \varepsilon\, I \; - \; \{BA\}$$

Visita Aguas verdes antes que dolores:

$$U_D - M * YAVD \leq U_{AV} \leq UD + M * (1 - YAVD)$$

Días en Florencia Varela:

$$FV \leq 4$$

Días en Bariloche:

$$B = B_1 + B_2 + B_3$$
$$B_1 \leq 1 * Y_{B1}$$
$$2 * Y_{B2} \leq B_2 \leq 5 * Y_{B2}$$
$$6 * Y_{B3} \leq B_3 \leq M * Y_{B3}$$
$$Y_{B1} + Y_{B2} + Y_{B3} = 1$$

Cantidad días en el Bolsón:

$$4 - M * (1 - YBolson) \leq EB \leq 4 + M * YBolson - m$$

Bariloche antes que comodoro:

$$U_{CR} - M * YCBC \le U_B \le U_{CR} + M * (1 - YCBC)$$

Más tiempo en bariloche que en comodoro:

$$CR + m - M * (1 - YBC) \le B \le CR + M * YBC$$

Más tiempo y antes bariloche que comodoro:

$$2 * Y_{AND} \le Y_{BC} + YCBC \le 1 + Y_{AND}$$

Cargo extra si la amiga se entera que pasó más tiempo en BRC:

$$240 * CR - M * (1 - Y_{AND}) \le E_{CR} \le 240 * CR + M * (1 - Y_{AND})$$

$$E_{CR} \le M * Y_{AND}$$

Camino Bariloche-Bolsón:

$$Y_{EBB} + Y_{BEB} = 1$$

Abuso anfitriones:

$$B \le 10$$

$$CR \le 10$$

$$EB \le 10$$

$$FV \le 10$$

$$AV \le 10$$

$$D \le 10 + 20 * Y_D$$

Va de Florencio Varela a CR o AV:

$$Y_D \le Y_{FVCR} + Y_{FVAV} \le 2 * Y_D$$

Última ciudad visitada:

$$U_{ultima} = 6$$

$$6 - M * (1 - Y_{CR}) \le U_{CR} \le 6 - m + M * Y_{CR}$$

$$6 - M * (1 - Y_B) \le U_B \le 6 - m + M * Y_B$$

$$Y_L \le Y_B + Y_{CR} \le 2 * Y_L$$

Costos aguas verdes:

$$AV * ENTRADA - M * (1 - X_{i\,AV}) + \sum_{i \in I - \{AV\}} Y_{iAV} * T_{iAV} \le C_{i\,AV} \le AV * ENTRADA +$$

$$+ M * (1 - X_{i\,AV}) + \sum_{i \in I - \{AV\}} Y_{iAV} * T_{iAV} +$$

$$C_{i\,AV} \le M * X_{i\,AV}$$

Costo Bariloche:

$$Y_{B1} * 100 + Y_{B2} * 140 + Y_{B3} * 200 + 300 * B - M * (1 - X_{i\,B}) + \sum_{i \in I - \{B\}} Y_{iB} * T_{iB}$$

$$\le C_{i\,B} \le$$

$$Y_{B1} * 100 + Y_{B2} * 140 + Y_{B3} * 200 + 300 * B + M * (1 - X_{i\,B}) + \sum_{i \in I - \{B\}} Y_{iB} * T_{iB}$$

$$C_{i\,B} \le M * X_{i\,B}$$

Costo Comodoro Rivadavia:

$$\sum_{i\, \varepsilon\, I - \{CR\}} Y_{i\,CR} * T_{i\,CR} - M * (1 - X_{i\,CR}) + E_{CR} \le$$

$$\leq C_{i\,CR} \leq$$

$$\leq \sum_{i\,\varepsilon\,I-\{CR\}} Y_{i\,CR} * T_{i\,CR} + M * (1 - X_{i\,CR}) + E_{CR}$$

$$C_{iCR} \leq M * X_{i\,CR}$$

Costo Dolores:

$$\sum_{i\,\varepsilon\,I-\{D\}} Y_{i\,D} * T_{i\,D} - M * (1 - X_{i\,D}) + 160 * Y_{AVD} + 200 * (1 - Y_{AVD}) \leq$$

$$\leq C_{iD} \leq$$

$$\leq \sum_{i\,\varepsilon\,I-\{D\}} Y_{i\,D} * T_{i\,D} + M * (1 - X_{i\,D}) + 160 * Y_{AVD} + 200 * (1 - Y_{AVD})$$

$$C_{iD} \leq M * X_{i\,D}$$

Costo El Bolsón:

$$\sum_{i\,\varepsilon\,I-\{EB\}} Y_{i\,EB} * T_{i\,EB} - M * (1 - X_{i\,EB}) + 6 * B + 200 * YBolson \leq$$

$$\leq C_{i\,EB} \leq$$

$$\leq \sum_{i\,\varepsilon\,I-\{EB\}} Y_{i\,EB} * T_{i\,EB} + M * (1 - X_{i\,EB}) + 6 * B + 200 * YBolson$$

$$C_{iEB} \leq M * X_{i\,EB}$$

Costo Florencio Varela:

$$\sum_{i\,\varepsilon\,I-\{FV\}} Y_{i\,FV} * T_{i\,FV} - M * (1 - X_{i\,FV}) + 40 * F \leq$$

$$\leq C_{i\,FV} \leq$$

$$\leq \sum_{i\,\varepsilon\,I-\{FV\}} Y_{i\,FV} * T_{i\,FV} + M * (1 - X_{i\,FV}) + 40 * F$$

$$C_{iFV} \leq M * X_{i\,FV}$$

Dinero disponible:

$$D_K = 6000 - \sum_{i\,\varepsilon\,I} C_{Ki} - \sum_{i\,\varepsilon\,I} Y_{BA\,i} * T_{BA\,i}$$

$$D_{EB} = 6000 - \sum_{i\,\varepsilon\,I} C_{EBi} + ZZZ - \sum_{i\,\varepsilon\,I-\{BA\}} Y_{BA\,i} * T_{BA\,i}$$

$$D_{CR} = 6000 - \sum_{i\,\varepsilon\,I} C_{CRi} + 5 * CR - \sum_{i\,\varepsilon\,I-\{BA\}} Y_{BA\,i} * T_{BA\,i}$$

Bivalente:

$$(1 + i)(1 - X_{ij}) \leq U_j \leq X_{ij} * i + M * (1 - X_{ij})$$

Funcional

$$Z(Min) = B + EB + CR + FV + AV + D$$