Resumen Simplex

Created	@June 23, 2022 8:09 PM
Class	Modelos y Optimización I
Type	Resumen
Completed	☐
Status	En curso

Forma normalizada de un problema de programación lineal

El primer paso al resolver un problema con el método SimpÍex es *normalizarlo:*

- Todas las variables tienen que estar del lado izquierdo (en el primer miembro)
- Todas las restricciones tienen que ser igualdades → para lograrlo se agregan variables slack en cada restricción. Por ejemplo:

  Restricciones originales:

  2 X1 + 2 X2 ≤ 600

  4 X2 ≤ 600

  2 X1 + 4 X2 ≤ 801

  Restricciones normalizadas:

  2 X1 + 2 X2 + X3 = 600

  4 X2 + X4 = 600

  2 X1 + 4 X2 + X5 = 801

Reminder: el significado de las variables slack es “sobrante de…”, no afectan al funcional.

Nota random para tener en cuenta: *“la cantidad máxima de variables que pueden ser distintas de cero en un vértice es igual a la cantidad de restricciones que tiene el problema”*

Método simplex

El método simplex arranca por el vértice donde las variables reales son cero, o sea que en el ejemplo anterior será en X1 = X2 = 0. Esto implica que las variables que van a estar inicialmente en la “base” van a ser las variables slack.

La tabla se forma con las columnas (en orden):

- Ck: Es el coeficiente asociado a la variable Xk en el funcional Z
- Xk: Es el nombre de la variable que está en la base, es decir, cuyo valor es distinto de cero
- Bk: Es el valor que toma la variable Xk
- An: Es el coeficiente de Xn para la restricción 1, 2, …, m (m sería el nro de fila). Los An forman a la matriz A. *La matriz A tiene tantas filas como restricciones haya en el problema y tantas columnas como variables haya. Se forma con los coeficientes de cada variable (columna) en cada restricción (fila).*

Se acostumbra anotar en una primera “fila” el Ck de las variables reales

Por ejemplo:

2X1 + 2X2 + X3 = 600

4X2 + X4 = 600

2X1 + 4X2 + X5 = 801

Z(MAX) = 8X1 + 10X2

			8	10			
Ck	Xk	Bk	A1	A2	A3	A4	A5
0	X3	600	2	2	1	0	0
0	X4	600	0	4	0	1	0
0	X5	801	2	4	0	0	1

Para saber si una tabla es óptima o no, se tiene que evaluar para cada columna An, el valor de *Zj - Cj*. Zj es el resultado de la suma de los productos Ck*An por cada columna, en este ejemplo:

Z1 = 0*2 + 0*0 + 0*2

Z2 = 0*2 + 0*4 + 0*4

…

Sucesivamente para cada columna. Cj es el coeficiente de la variable en Z (es el valor que anotamos en la primera fila). Entonces, los Zj-Cj quedarían:

Z1 - C1 = 0 - 8 = -8

Z2 - C2 = 0 - 10 = -10

Z3 - C3 = Z4 -C4 = Z5 - C5 = 0

*Notar que inicialmente las variables slack forman los “vectores canónicos” y sus Zj-Cj son iguales a 0 → esto sucede **siempre que las restricciones sean de menor o igual***

La tabla de simplex de un problema de minimización es óptima si todos su Zj-Cj ≤ 0

La tabla simplex de un problema de maximización es óptima si todos sus Zj-Cj ≥ 0

Cuando la tabla no es óptima, se tiene que cambiar el vértice. Esto se traduce en “quitar una variable de la base y reemplazarla por una que antes no estaba” (recordar que una variable que está en la base es una variable cuyo valor es distinto de cero).

Primero se tiene que elegir qué variable va a **entrar** a la base, para eso se identifican las variables candidatas a entrar. Las variables candidatas van a ser aquellas cuyo Zj-Cj hacen que la tabla no sea óptima. En este caso, como es un problema de maximización, las candidatas van a ser X1 y X2. Cuando hay más de una variable candidata, se elige por convención a la de mayor valor absoluto, en este caso será X2.

Sabiendo la variable que entra a la base, se puede buscar qué variable saldrá. Se calcula para cada fila un coeficiente llamado θ (tita), se calcula como el cociente entre el elemento del vector que entra a la base y el elemento del vector B en esa fila (es decir B/Aj, en este caso B/A2). **Si el divisor es menor o igual que cero, el tita de esa fila no se calcula.**

			8	10			
Ck	Xk	Bk	A1	A2	A3	A4	A5
0	X3	600	2	2	1	0	0
0	X4	600	0	4	0	1	0
0	X5	801	2	4	0	0	1

La variable asociada al **menor** tita, es el que saldrá de la base, en este caso es X4.

El siguiente paso es el cambio de base

1. Identificar el pivote: es el valor que está en la intersección de la fila de la variable que sale de la base (X4) con la columna de la variable que entra a la base (X2)

			8	10			
Ck	Xk	Bk	A1	A2	A3	A4	A5
0	X3	600	2	2	1	0	0
0	X4	600	0	**4**	0	1	0
0	X5	801	2	4	0	0	1

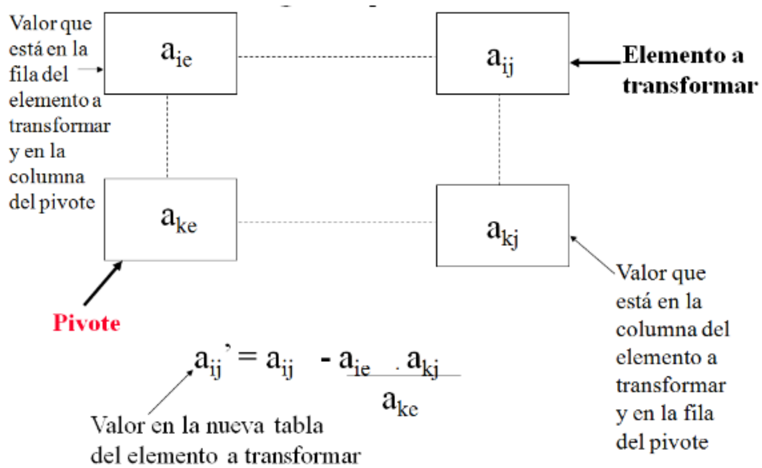
2. Dividir la fila del pivote por el valor del pivote

			8	10			
Ck	Xk	Bk	A1	A2	A3	A4	A5
0	X3						
10	X2	150	0	1	0	1/4	0
0	X5						

3. Completar la columna del pivote con ceros

			8	10			
Ck	Xk	Bk	A1	A2	A3	A4	A5
0	X3			0			
10	X2	150	0	1	0	1/4	0
0	X5			0			

4. Para obtener los siguientes valores, se aplica la regla del pivote:



			8	10			
Ck	Xk	Bk	A1	A2	A3	A4	A5
0	X3	600-(2*600)/4	2-(2*0)/4	0	1	0	0
10	X2	150	0	1	0	1/4	0
0	X5	801-(6*600)/4	2	0	0	0	1

Habiendo hecho el cambio de base, se calculan los Zj - Cj y si la tabla no es óptima se repite todo el proceso de ver qué variable puede entrar y cuál puede salir y luego el cambio de base, así hasta hallar la óptima.

Lo que hace el método simplex es ir cambiando de un vértice a otro adyacente hasta que detecta que se llegó al vértice óptimo.

Problemas con restricciones de mayor o igual / restricciones de igual

Ejemplo:

X1 ≥ 2

2X1 + 2X2 ≤ 24

MAX Z = X1 + 2X2

Al agregar las variables slack queda:

X1 - X3 = 2

2X1 + 2X2 + X4 = 24

MAX Z = X1 + 2X2

El problema es que al comenzar el problema en X1=X2=0 van a quedar variables negativas (X3=-2) y eso no puede suceder! Lo que se hace es fingir que el (0,0) es solución → en definitiva se va a agregar una variable artificial μ sumando a la restricción y restando al funcional por un valor muy grande, asi se garantiza que valga 0 en el óptimo. (si el problema fuese de minimización, se sumaría)

X1 - X3 + μ = 2

2X1 + 2X2 + X4 = 24

MAX Z = X1 + 2X2 - Mμ

Tabla óptima dual

Definición de problema dual

Dado un primal de la forma:

AX < B

X > 0

max CX

donde:

A(mxn) B(mx1) 0(nx1)

X(nx1) C(1xn)

Se define como su problema Dual:

YA > C

Y > 0

min YB

donde:

Y(1xm) 0(1xm)

Relación entre primal y dual

- El dual tiene una variable real por cada restricción del problema primal.
- El dual tiene tantas restricciones como variables reales tiene el primal.
- El dual de un problema de maximización es un problema de minimización y viceversa.
- Los coeficientes del funcional (costo o beneficio) del primal, son los términos independientes de las rest. del dual.
- Los términos independientes de las rest. del primal son los coeficientes del funcional del dual.
- Toda columna de coeficientes en el primal se transforma en una fila de coeficientes en el dual.
- El sentido de las desigualdades del primal es el inverso del dual.

Relación entre las variables:

Tomando el ejemplo original donde las variables X1 y X2 son las reales y X3, X4 y X5 las slack del directo

Cantidad de producto 1	X1	Y4	Costo de oportunidad de producto 1
Cantidad de producto 2	X2	Y5	Costo de oportunidad de producto 2
Sobrante de recurso 1	X3	Y1	Valor marginal de recurso 1
Sobrante de recurso 2	X4	Y2	Valor marginal de recurso 2
Sobrante de recurso 3	X5	Y3	Valor marginal de recurso 3

O sea, las slack del directo se relacionan con las reales del dual y las reales del directo se relacionan con las slack del dual.

Cómo pasar del óptimo directo al dual

1. Se identifican las variables de la base: las variables que están en la base en la tabla óptima del dual son aquellas cuya variable relacionada en el directo no estaba en la base en la tabla óptima del directo.
2. Se completan los Bk: el valor que toman las variables en la óptima del dual es igual al zj-cj de su variable relacionada del directo.
3. Sabiendo las variables que están en la base, se arman los vectores canónicos.
4. El resto de los valores se completa haciendo lo siguiente: se va a completar cada columna del dual, para eso se busca la fila de la variable relacionada en el directo. De esa fila, se toman los valores que forman parte de vectores **no** canónicos y se van copiando en la columna del dual **con el valor cambiado de signo**.

   Ejemplo:

   Directo

			8	10				
Ck	Xk	Bk	A1	A2	A3	A4	A5	
8	X1	200	1	0	1	0	-1/2	Y4
10	X2	100	0	1	-1/2	0	1/2	Y5
0	X4	200	0	0	2	1	-2	Y2
		2600	0	0	3	0	1	
			Y4	Y5	Y1	Y2	Y3	

Dual

			600	600	800		
Ck	Xk	Bk	A1	A2	A3	A4	A5
600	Y1	3	1	-2	0	-1	1/2
800	Y3	1	0	2	1	1/2	-1/2
		2600	0	-200	0	-200	-100

Conclusiones de teoremas

- Si el problema primal (o el dual) tiene una solución óptima finita, entonces el otro problema tiene una solución óptima finita y los valores de los dos funcionales son iguales.
- Si cualquiera de los dos problemas tiene una solución óptima no acotada, entonces el otro problema no tiene soluciones posibles.
- Siempre que en la k-ésima restricción de uno de ellos la variable de slack tome valor distinto de cero, entonces la k-ésima variable del otro problema desaparece de la base.
- Si la k-ésima variable de uno de los dos problemas es mayor que cero, en la k-ésima restricción del otro problema se verifica la igualdad (la variable slack de esa restricción es igual a cero).
- De cada par de variables directo-dual, una sola puede ser distinta de cero.

0 = X3	Y1 = 3
200 = X4	Y2 = 0
0 = X5	Y3 = 1
200 = X1	Y4 = 0
100 = X2	Y5 = 0

Casos particulares

Soluciones alternativas óptimas

Sucede en una tabla óptima cuando hay un Zj-Cj = 0 en una variable que no está en la base. Significa que hay una solución óptima alternativa, si se hace entrar a la base a esa variable y se itera hasta el óptimo, se tendrá la solución alternativa.

Punto degenerado

Sucede cuando el valor de una variable que está en la base es 0 (o sea, su Bk). Se puede identificar que habrá punto degenerado en la tabla anterior a este: si hay un empate de tita’s mínimos, el próximo punto sera degenerado.

Poliedro abierto

Sucede cuando una variable quiere entrar a la base pero no puede salir ninguna (porque en la columna no hay ningún número mayor que cero) es un poliedro abierto → no hay próximo vértice.

Problema incompatible

Sucede cuando se llega al óptimo pero en la base hay una variable artificial.

Cómo interpretar los datos

Conceptos

Recursos saturados: cuando un recurso tiene sobrante cero, o sea cuando la variable asociada al sobrante no está en la base o está y vale 0.

Costo de oportunidad: indica en cuánto va a desmejorar el funcional si tenemos la obligación de fabricar una unidad de ese producto.

Valor marginal: indica en cuánto va a mejorar el funcional si esa restricción se afloja en una unidad.

> *Si la restricción es de menor o igual, aflojar la restricción implica aumentar el término independiente (por ejemplo: conseguir una unidad más de recurso).*
>
> *Si la restricción es de mayor o igual, aflojar la restricción implica disminuir el término independiente (por ejemplo: disminuir la demanda mínima de un producto en una unidad).*

Qué significa cada dato de la tabla simplex

- En la tabla óptima directa
    - Los Zj-Cj de las variables reales son costo de oportunidad de ese producto ⇒ va a ser distinto de cero cuando el producto no esté en la base
    - Los Zj-Cj de las variables slack son el valor marginal de ese recurso o restricción ⇒ va a ser distinto de cero cuando el sobrante de recurso no esté en la base

			8	10			
Ck	Xk	Bk	A1	A2	A3	A4	A5
8	X1	200	1	0	1	0	-1/2
10	X2	100	0	1	-1/2	0	1/2
0	X4	200	0	0	2	1	-2
		2600	0	0	3	0	1

Costos de oportunidad

Valores marginales

Qué significa cada dato de la salida de LINDO

- Los “Reduced Cost” son los costos de oportunidad
- Los “Dual Prices” son los valores marginales

Análisis de sensibilidad - Modificaciones al problema original

Rango de variación

Es el rango de valores que puede tomar algún coeficiente tal que el punto óptimo siga siéndolo. Es importante que todos los demás coeficientes y constantes del problema permanezcan sin cambios.

Lo que se hace es fijar en la tabla ese coeficiente reemplazandolo por una variable K y evaluando los Zj-Cj en función de esa variable. Luego, según sea problema de maximización o minimización, se calcula en qué rango debe estar el valor de K para que siga siendo óptima la tabla. Si es de minimización tendran que buscarse los K para que todos los Zj-Cj sean menor o igual a cero, por ejemplo.

Rango de variación de Cj

Evalúa al coeficiente en el funcional, por ejemplo:

			C1	10			
Ck	Xk	Bk	A1	A2	A3	A4	A5
C1	x_1	200	1	0	1	0	-1/2
10	x_2	100	0	1	-1/2	0	1/2
0	x_4	200	0	0	2	1	-2
			0	0		0	

$$\boxed{1 . C1 + 10 . (-1/2) + 0 . 2 - 0 \geq 0}$$

$$\boxed{-1/2 . C1 + 10 . \tfrac{1}{2} + 0 . (-2) - 0 \geq 0}$$

¿Cuánto puede valer C1 para que se cumplan ambas condiciones?

En LINDO:

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES

VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	8.000000	2.000000	3.000000
X2	10.000000	6.000000	2.000000

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
AZ	600.000000	200.000000	100.000000
CR	600.000000	INFINITY	200.000000
AL	800.000000	100.000000	200.000000

La fila de X1 de los COEF dice que el coeficiente del funcional de X1 puede variar entre 8+2 y 8-3 garantizando que seguirá siendo óptimo (X1 seguirá valiendo lo que diga en VALUE).

Los valores que no cambian son los de value/slack or surplus

Curva de oferta de un producto

La curva de oferta representa a los distintos valores que puede tomar el coeficiente Cj de ese producto en el Z, qué cantidad de producto Xj es conveniente fabricar. Nos muestra cuánto estamos dispuestos a fabricar de un producto si su coeficiente en Z varía entre 0 e infinito.

1. Se calcula el rango de variación de Cj
2. Se reemplaza Cj por el límite superior del rango de variación y se calcula el nuevo óptimo
3. Se vuelve a calcular el rango de variación de Cj. Si hay un valor máximo, tenemos que seguir reemplazando el valor de C1 hasta que el límite superior sea infinito. Cuando el límite superior llega a infinito, quiere decir que por más que aumente el Cj, no puede fabricar más cantidad de Xj (no hay más recursos y no hay a quién quitárselos)
4. Se hace lo mismo para el límite inferior del primer rango de variación que se calculó. Se deja de iterar cuando el límite inferior es 0.

Modificaciones a los Bi (disponibilidad de un recurso)

Se trabaja sobre la tabla óptima **dual** porque es la que tiene la información sobre los recursos.

Lo primero que se tiene que hacer es calcular el rango de variación del "Cj" de la dual (Bj ↔ Cj). La idea es que no nos pasemos del límite, porque cuando eso suceda va a empezar a sobrar recurso, el valor marginal se va a hacer cero y entonces ya no va a convenir tener más disponibilidad de ese recurso.

			b1 ~~600~~	600	800		
b1 ~~600~~	y_1	3	1	-2	0	-1	1/2
800	y_3	1	0	2	1	1/2	-1/2
		~~2600~~ 800 + 3 b1	0	~~-200~~	0	~~-200~~	~~-100~~

$\boxed{-2\,b1 + 1600 - 600 \le 0}$

$\boxed{-\,b1 + 400 - 0 \le 0}$

$\boxed{\tfrac{1}{2}\,b1 - 400 - 0 \le 0}$

¿Cuánto puede valer b1 para que se cumplan las 3 condiciones?

En LINDO:

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES

VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	8.000000	2.000000	3.000000
X2	10.000000	6.000000	2.000000

RANGES IN WHICH $\boxed{\text{THE BASIS IS UNCHANGED:}}$

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
AZ	600.000000	200.000000	100.000000
CR	600.000000	INFINITY	200.000000
AL	800.000000	100.000000	200.000000

El rango es válido si lo único que cambiamos es ese bi

Los valores que no cambian son los de reduced cost/dual prices

Gráfico de valor marginal

Es análogo al de oferta de producto

1. Obtener el rango de variación para el cual es válido ese valor marginal (Bk)
2. Se sigue hasta obtener los distintos rangos cuando la disponibilidad varía entre 0 e infinito

Variación simultánea de dos productos

Si variamos más de un recurso al mismo tiempo, no podemos confiar en el rango de variación (porque el rango de variación sirve si lo único que cambia es ese recurso).

Para poderlo trabajar con varios recursos debe haber una relación entre la variación de los recursos (uno varía en función de lo que varía otro).

- Conseguir un recurso entregando otro a cambio

  El recurso que recibo debe estar saturado, si tiene sobrante no conviene.

  Hay que verificar que el valor de lo que entregamos sea menor que el valor de lo que recibimos (el valor = la cantidad multiplicada por el valor marginal).

  Lo que se hace es: 1. reemplazar el bj del recurso que se entrega por bj-Kα, donde K es la cantidad de recurso que se entrega, 2. reemplazar el bj del recurso que se recibe por bj+α

  Ejemplo: Se puede conseguir 1kg de recurso A entregando 1.5kg de recurso B

			$600+\alpha$	$600-1,5\alpha$	800		
$600+\alpha$	y_1	3	1	-2	0	-1	1/2
800	y_3	1	0	2	1	1/2	-1/2
		$2600+3\alpha$	0	$-200-0,5\alpha$	0	$-200-\alpha$	$-100+0,5\alpha$

En el funcional se ve que por cada canje se ganan $3.

A partir de esa tabla, se tiene que buscar el valor de α para que la tabla siga siendo óptima (o sea hay que plantear que los Zj-Cj sean ≤ 0 o ≥ 0, según el problema).

Se reemplaza el α “límite” en la tabla y se busca el óptimo. Si hubiera una tabla alternativa, hay que evaluar si el α es conveniente ahi tambien.

Se sigue analizando hasta que el negocio no convenga más (porque empieza a sobrar recurso).

- Introducción de un nuevo producto

  Se agrega una variable nueva, por ejemplo:

Ante el peligroso aumento de la competencia se decide ofrecer una promoción de yogur helado a 8 $/lata. Cada lata de yogur insume 1 kg. de almidón, 3 kg. de crema y 2 kg. de azúcar

$$2\ X1 + 2\ X2 + 2\ X6 \leq 600\ [KG\ AZ/MES]$$
$$4\ X2 + 3\ X6 \leq 600\ [KG\ CR/MES]$$
$$2\ X1 + 4\ X2 + 1\ X6 \leq 800 [KG\ AL/MES]$$

$$Z(MAX) = 8\ X1 + 10\ X2 + 8\ X6$$

X6: latas de yogur helado fab. por mes (latas/mes)

Cuando se conoce la utilidad (beneficio), se puede hacer una estimación por lucro cesante:

Lucro Cesante = Sum(UsoRecurso_i * VMRecurso_i)

El lucro cesante es una estimación del valor del Zj del nuevo producto.

- Si el lucro cesante es mayor que el beneficio del nuevo producto NO CONVIENE producir el nuevo producto
- Si el lucro cesante es menor o igual que el beneficio del nuevo producto PUEDE SER CONVENIENTE fabricar el nuevo producto

Si no se puede hacer la estimación de lucro cesante o si se puede pero resulta que *puede ser conveniente*, se incorpora el nuevo producto a la tabla óptima:

1. Se tiene que encontrar la matriz de cambio de base para encontrar el vector nuevo expresado en la tabla óptima. Primero se tienen que identificar los vectores que en la primera tabla eran canónicos (tomados en orden tal que expresen la matriz identidad)
2. La matriz de cambio de base se forma con los vectores de esas variables pero de la tabla óptima
3. Se multiplica la matriz de cambio de base por el vector que resulta de haber introducido la nueva variable. El resultado es el vector que se tiene que agregar a la tabla óptima para el nuevo producto.

Ejemplo:

TABLA OPTIMA DEL DIRECTO

			8	10			
Ck	Xk	Bk	A1	A2	A3	A4	A5
8	X1	200	1	0	1	0	-1/2
10	X2	100	0	1	-1/2	0	1/2
0	X4	200	0	0	2	1	-2
		2600	0	0	3	0	1

Matriz de cambio de base:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1/2 \\ -1/2 & 0 & 1/2 \\ 2 & 1 & -2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -1/2 \\ -1/2 & 0 & 1/2 \\ 2 & 1 & -2 \end{pmatrix} X \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3/2 \\ -1/2 \\ 5 \end{pmatrix}$$

			8	10				8
8	x_1	200	1	0	1	0	-1/2	3/2
10	x_2	100	0	1	-1/2	0	1/2	-1/2
0	x_4	200	0	0	2	1	-2	5
		2600	0	0	3	0	1	-1

- Agregado de inecuaciones

  Cuando se agrega una restricción nueva.

  Primero probar si fabricando la misma cantidad cumplimos con la restricción. Si es así, la restricción nueva no afecta al óptimo y termina el ejercicio. Si no, hay que analizar el **dual**.

  Es como agregar una variable nueva al dual ⇒ mismo método.

  Nota: si los vectores canónicos de la primera tabla están relacionados a variables slack negativas (porque hay variables artificiales), se cambia de signo a los vectores que se toman de la óptima.

  Ejemplo:

2 X1 + 2 X2 ≤ 600 [KG AZUCAR/MES]

4 X2 ≤ 600 [KG CREMA/MES]

2 X1 + 4 X2 ≤ 800[KG ALMID./MES]

4 X1 + 3 X2 < 1000[KG FRUTA/MES]

Z(MAX) = 8 X1 + 10 X2

$$\begin{pmatrix} 1 & -1/2 \\ -1/2 & 1/2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 4 \\ 3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5/2 \\ -1/2 \end{pmatrix}$$

			600	600	800			1000	θ
600	y_1	3	1	-2	0	-1	1/2	5/2	6/5
800	y_3	1	0	2	1	1/2	-1/2	-1/2	---
		2600	0	-200	0	-200	-100	100	
1000	y_6	6/5	2/5	-4/5	0	-2/5	1/5	1	
800	y_3	8/5	1/5	8/5	1	3/10	-2/5	0	
		2480	-40	-120	0	-160	-120	0	

Da 100 (la cantidad de fruta que nos faltaba)

NOTAS

¿A qué precio conviene comprar producto X listo para vender?

- Contexto: el producto X tiene demanda mínima

El precio tiene que ser menor al valor marginal de la producción mínima más la ganancia que se obtendría por venderlo para que el funcional sea igual o mayor al óptimo.

¿Cuántas unidades conviene comprar a X precio?

Buscar el rango de variación del C de la demanda en la tabla dual. Dentro de ese rango, la cantidad que se puede comprar tal que no cambien los valores marginales y esas cosas (o sea siga siendo óptima la solución).

¿Existe algún escenario en el que me convenga seguir comprando producto X ya habiendo comprado lo que exige la demanda mínima?¿Cuánto convendría comprar?

Si, hay que buscar la cota superior del precio al que convendría comprarlo tal que se compre a un precio y se revenda a un precio superior. La ganancia obtenida por X una vez satisfecha la demanda mínima sería el valor de venta, sin considerar el valor marginal.

Se compra todo lo que se pueda, para eso se deberían tomar las hipótesis:

- Puedo vender todo lo que quiera
- Puedo comprar todo lo que quiera a ese precio

¿Cuándo se descarta intercambiar un recurso por otro?

Cuando hay sobrante del recurso que se recibiría o cuando el valor de lo que se entrega es mayor al valor de lo que se recibe, donde el valor es la cantidad multiplicada por el valor marginal. *Importante: si hay soluciones alternativas, se debe verificar qué pasa en <u>todas</u> las soluciones.*