

Investigación Operativa

C.C. Lauritto & Ing. Casanova

Guia 03: Dualidad y Sensibilidad

Fecha de Entrega:

Ravera P. & Rivera R.

Índice

Ejercicios	4
Punto 01 - Modelo I	4
Tabla Original	4
Unidad R_1	4
Unidad R_2	4
Punto 02 - Modelo II	5
Punto 03 - Programas Lineales	5
Problema A	5
Problema B	7
Problema C	8
Problema D	9
Comparación	11
Punto 04 - Propiedades	12
Solución de Problemas	13
Punto 01 - Dakota	13
Simplex	13
Variación de c_3	14
Precios Sombra	14
18 hs de acabado	15
Mesas para PC	15
Problema Dual	15
Estudio de Mercado	16
Una corrección en el Estudio de Mercado	16
Mesas, si o si	17
Punto 02 - Citrus	17
Máxima Ganancia	17
Nuevos Tanques	19
Oferta del Competidor	21
Punto 03 - Criador de Aves	21
Método Simplex	21
Dual Asociado	22
Cambio en la Dieta 01	23
Cambio en la Dieta 02	24
Aumento del costo del Alimento	24
Rangos de variación & Precio Sombra	25
Punto 04 - Heladería	26
Modelo Lineal	26
Método Simplex	26

Modelo Dual	27
Aumento Ganancia de DDL	28
Disminución Ganancia de DDL	28
Crema en mal estado	29
Mas azúcar!	29
Sensibilidad de la Leche	30
Punto 05 - Empresita	30
Modelo Matemático	30
Resolución LINDO	31
Interpretación de LINDO	31
Planteo Dual	33
Punto 06 - La falda cont.	33
Paro de Transportistas	34
Error Administrativo	34
Demanda de Quinao	34
Nuevo proveedor	34
Punto 07 - Lotería cont.	35
No me convence...	35
Punto 08 - Criador de perros cont.	37
Punto 09 - Gem de Vivian	38
Modelo Programación Lineal	38
46 Diamantes	39
12 joyas I	40
Nueva Joya	41
Punto 10 - Tour Operador	42
Modelo Lineal	42
Interpretación	43
10 pilotos mas	43
Mínimo 14 artefactos	44
Punto 11 - David, Diana y Lidia	44
Solución e Interpretación	44
Cambio en ganancia Pedestal	44
Y ademas el de pared	45
Mas trabajo	45
Lidia, Lidia	45
Punto 12 - Laboratorio	46
Plan de Producción	46
Informe	46
Mas almacén	46
Nuevo Producto	47
Punto 13 - Gran M...	47

Ejercicios

Punto 01 - Modelo I

Tabla Original

Cuadro 1: Tabla original

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
0	X_5	30	0	0	0.33	-0.67	1
3	X_1	70	1	0	0.67	-0.33	0
5	X_2	90	0	1	-0.33	0.67	0
$Z = 660$			0	0	0.33	2.33	0

Unidad R_1

Cuadro 2: Modificación 01

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
0	X_5	30.33	0	0	0.33	-0.67	1
3	X_1	70.67	1	0	0.67	-0.33	0
5	X_2	89.67	0	1	-0.33	0.67	0
$Z = 660,33$			0	0	0.33	2.33	0

En este caso, la solución óptima es igual que en la versión original, sin embargo podemos apreciar una mejora en el funcional de 0.33.

Unidad R_2

Cuadro 3: Modificación 02

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
0	X_5	30.67	0	0	0.33	-0.67	1
3	X_1	70.33	1	0	0.67	-0.33	0
5	X_2	89.33	0	1	-0.33	0.67	0
$Z = 657,67$			0	0	0.33	2.33	0

Por otra parte, realizando una modificación a las cantidades disponibles de R_2 vemos que la composición de la solución óptima sigue siendo la misma, sin embargo notamos un deterioramiento del funcional de 2.33.

Punto 02 - Modelo II

En caso de modificar el valor del parámetro c_1 , esto causará una modificación en la optimalidad del modelo, es decir, el valor de Z (visible en el renglón \emptyset de la tabla simplex y como pendiente del gráfico). Esto es así debido a que c_1 representa la contribución de la actividad 1 al funcional. Si dicho valor se mantiene dentro del intervalo de optimalidad no se modifica la SBF, sin embargo si lo hace el valor del funcional como dijimos anteriormente

Punto 03 - Programas Lineales

Problema A

Primal - Planteo

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= 2X_1 + 4X_2 \\
 \text{s.a. : } 1X_1 + 2X_2 &\leq 5 \\
 1X_1 + X_2 &\leq 4 \\
 X_1, X_2 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Primal - Estándar

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= 2X_1 + 4X_2 + 0X_3 + 0X_4 \\
 \text{s.a. : } 1X_1 + 2X_2 + 1X_3 + 0X_4 &= 5 \\
 1X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 1X_4 &= 4 \\
 X_1, X_2 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Cuadro 4: Primal - Solución Óptima

C_k	X_k	B_k	2	4	A_3	A_4
			A_1	A_2		
M	X_2	2.5	0.5	1	0.5	0
0	X_4	1.5	0.5	0	-0.5	1
$Z = 10$			0	0	2	0

Dual - Planteo

$$\begin{aligned}
 \text{Min } W &= 5Y_1 + 4Y_2 \\
 \text{s.a. : } qY_1 + 1Y_2 &\geq 2 \\
 2Y_1 + 1Y_2 &\geq 4 \\
 Y_1, Y_2 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Dual - Estándar

$$\begin{aligned}
 \text{Min } W &= 5Y_1 + 4Y_2 + 0Y_3 + 0Y_4 + M\mu_1 + M\mu_2 \\
 \text{s.a. : } 1Y_1 + 1Y_2 - 1Y_3 + 0Y_4 + 1\mu_1 + 0\mu_2 &= 2 \\
 2Y_1 + 1Y_2 + 0Y_3 - 1Y_4 + 0\mu_1 + 1\mu_2 &= 4 \\
 Y_1, Y_2 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Cuadro 5: Dual - Solución Óptima

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
5	Y_1	2	1	0.5	0	-0.5	0	0.5
0	Y_3	0	0	-0.5	1	-0.5	-1	0.5
$W = 10$			0	-1.5	0	-2.5	$-M$	$-M + 2, 5$

Problema B

Primal - Planteo

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= 2X_1 + 8X_2 \\
 \text{s.a. : } 2X_1 + 4X_2 &\geq 8 \\
 sX_1 - 5X_2 &\leq 0 \\
 -1X_1 + 5X_2 &\leq 0 \\
 X_1, X_2 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Primal - Estándar

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= 2X_1 + 8X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + M\mu_1 \\
 \text{s.a. : } 2X_1 + 4X_2 - 1X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 1\mu_1 &= 8 \\
 2X_1 - 5X_2 + 0X_3 + 1X_4 + 0X_5 + 0\mu_1 &= 0 \\
 -1X_1 + 5X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 1X_5 + 0\mu_1 &= 5 \\
 X_1, X_2 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Cuadro 6: Primal - Solución Óptima

			2	8	0			M
C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
2	X_1	5	1	0	0	1	1	0
0	X_3	10	0	0	1	2.8	3.6	-1
8	X_2	2	0	1	0	0.2	0.4	0
$Z = 26$			0	0	0	3.6	5.2	M

Dual - Planteo

$$\begin{aligned}
 \text{Min } W &= 8Y_1 + 0Y_2 + 5Y_3 \\
 \text{s.a. : } 2Y_1 + 2Y_2 - 1Y_3 &\geq 2 \\
 4Y_1 - 5Y_2 + 5Y_3 &\geq 8 \\
 -1Y_1 &\geq 0 \\
 Y_2, Y_3 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Dual - Estándar

$$\begin{aligned}
 \text{Min } W &= 8Y_1 + 0Y_2 + 5Y_3 + 0Y_4 + 0Y_5 + M\mu_1 + M\mu_2 \\
 \text{s.a. : } 2Y_1 + 2Y_3 - 1Y_3 - 1Y_4 + 0Y_5 + 1\mu_1 + 0\mu_2 &= 2 \\
 4Y_1 - 5Y_2 + 5Y_5 + 0Y_4 - 1Y_5 + 0\mu_1 + 1\mu_2 &= 8 \\
 Y_1 &\leq 0 \\
 Y_2, Y_3 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Cuadro 7: Dual - Solución Optima

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	M	M
								A_6	A_7
0	Y_2	3.6	2.8	1	0	-1	-0.2	1	0.2
5	Y_3	5.2	3.6	0	1	-1	-0.4	1	0.4
$W = 26$			10	0	0	-5	-2	$-M + 5$	$-M + 2$

Problema C

Primal - Planteo

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= 2X_1 + 1X_2 \\
 \text{s.a. : } 1X_1 - 1X_2 &\leq 10 \\
 2X_1 + 0X_2 &\leq 40 \\
 X_1, X_2 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Primal - Estándar

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= 2X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 0X_4 \\
 \text{s.a. : } 1X_1 - 1X_2 + 1X_3 + 0X_4 &= 10 \\
 2X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 1X_4 &= 40 \\
 X_1, X_2 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Cuadro 8: Primal - Solución Óptima

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4
2	X_1	20	1	0	0	0.5
1	X_2	10	0	1	-1	0.5
$Z = 50$			0	0	-1	1.5

Dual - Planteo

$$\begin{aligned}
 \text{Min } W &= 10Y_1 + 40Y_2 \\
 \text{s.a. : } &1Y_1 + 2Y_2 \geq 2 \\
 &-1Y_1 + 0Y_2 \geq 1 \\
 &Y_1, Y_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

Dual - Estándar

$$\begin{aligned}
 \text{Min } W &= 10Y_1 + 40Y_2 + 0Y_3 + 0Y_4 + M\mu_1 \\
 \text{s.a. : } &1Y_1 + 2Y_2 - 1Y_3 + 0Y_4 + 1\mu_1 = 2 \\
 &-1Y_1 + 0Y_2 + 0Y_3 + 1Y_4 + 0\mu_1 = 1 \\
 &Y_1, Y_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

Cuadro 9: Dual - Solución Óptima

			10	40			M	M
C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
40	Y_2	1	0.5	1	-0.5	0	0.5	0
M	μ_2	1	-1	0	0	-1	0	1
$W = 1040$			$-M + 10$	0	-20	$-M$	$-M + 20$	0

Problema D

Primal - Planteo

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= 3X_1 + 9X_2 \\
 \text{s.a. : } &1X_1 + 4X_2 \geq 9 \\
 &1X_1 + 2X_2 \leq 4 \\
 &X_1, X_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

Primal - Estándar

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= 3X_1 + 9X_2 + 0X_3 + 0X_4 + M\mu_1 \\
 \text{s.a. : } 1X_1 + 4X_2 - 1X_3 + 0X_4 + 1\mu_1 &= 9 \\
 1X_1 + 2X_2 + 0X_3 + 1X_4 + 0\mu_1 &= 4 \\
 X_1, X_2 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Cuadro 10: Primal - Solución Óptima

C_k	X_k	B_k	3 A_1	9 A_2	A_3	A_4	A_5
$-M$	μ_1	1	-1	0	-1	-2	1
9	X_2	2	0.5	1	0	0.5	0
$Z = -M + 18$			$M + 1,5$	0	M	$2M + 4,5$	0

Dual - Planteo

$$\begin{aligned}
 \text{Min } W &= 9Y_1 + 4Y_2 \\
 \text{s.a. : } 1Y_1 + 1Y_2 &\geq 3 \\
 4Y_1 + 2Y_2 &\geq 9 \\
 -1Y_1 + 0Y_2 &\geq 0 \\
 Y_2 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Dual - Estándar

$$\begin{aligned}
 \text{Min } W &= 9Y_1 + 4Y_2 + 0Y_3 + 0Y_4 + M\mu_1 + M\mu_2 \\
 \text{s.a. : } 1Y_1 + 1Y_2 - 1Y_3 + 0Y_4 + 1\mu_1 + 0\mu_2 &= 3 \\
 4Y_1 + 2Y_2 + 0Y_3 - 1Y_4 + 0\mu_1 + 1\mu_2 &= 9 \\
 -1Y_1 &\geq 0 \\
 Y_2 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Cuadro 11: Dual - Solución Óptima

C_k	Y_k	B_k	9	4				M	M
			A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	
4	Y_2	4.5	2	1	0	-0.5	0	0.5	
0	Y_3	1.5	1	0	1	-0.5	-1	0.5	
$W = 18$			-1	0	0	-2	$-M$	$-M + 2$	

Comparación

Cuadro 12: Tabla Problemas Lineales

Problema	Tipo de Solucion		Correspondencia		Valores Basicos		No Basicas	
	PRIMAL	DUAL	PRIMAL	DUAL	PRIMAL	DUAL	PRIMAL	DUAL
A	Optima unica	Optima Unica	$x_1 \rightarrow y_3$	$x_3 \rightarrow y_1$	$x_2 = 2.5$	$y_1 = 2$	x_1, x_3	y_2, y_4
			$x_2 \rightarrow y_4$	$x_4 \rightarrow y_2$	$x_4 = 1.5$	$y_3 = 0$		
B	Optima unica	Optima Unica	$x_1 \rightarrow y_4$	$x_3 \rightarrow y_1$	$x_1 = 5$	$y_2 = 5.6$	x_4, x_5	y_1, y_5, y_4
			$x_2 \rightarrow y_5$	$x_4 \rightarrow y_2$	$x_3 = 10$	$y_3 = 5.3$		
				$x_5 \rightarrow y_3$	$x_2 = 2$			
C	No Acotada	Incompatible	$x_1 \rightarrow y_3$	$x_3 \rightarrow y_1$	$x_1 = 20$	$y_2 = 1$	x_3, x_4	y_1, y_3, y_4
			$x_2 \rightarrow y_4$	$x_4 \rightarrow y_2$	$x_2 = 10$	$\mu_2 = 1$		
D	Incompatible	No Acotada	$x_1 \rightarrow y_3$	$x_3 \rightarrow y_1$	$\mu_1 = 1$	$y_2 = 4.5$	x_1, x_3, x_4	y_1, y_4
			$x_2 \rightarrow y_4$	$x_4 \rightarrow y_2$	$x_2 = 2$	$y_3 = 1.5$		

Punto 04 - Propiedades

Cuadro 13: Modificación de Parámetros

Cambios en los parametros	Propiedad de la solucion afectada	Procedimiento para reoptimizar desde el primal	Procedimiento para reoptimizar desde el dual
Cambio en c_j	Optimalidad	Debemos recalcular el renglon \emptyset . En caso de que no sea optimo, seguimos iterando	Verificamos si la solucion optima actual verifica la restriccion modificada. En caso de no hacerlo es necesario modificar la tabla y trabajar sobre el primal asociado
Cambio en b_i	Factibilidad	Verificamos si la solucion optima cumple con la restriccion modificada. En caso de que no sea asi modificamos la tabla y trabajamos sobre el problema dual	Verificamos si la solucion optima lo sigue siendo (analizando el renglon \emptyset). Caso contrario re iteramos.
Cambio en a_{ij} no basica	Optimalidad	Recalculamos la columna A_j correspondiente a la a_{ij} que se modifico. Verificamos si la solucion optima lo sigue siendo (analizando el renglon \emptyset) y en caso contrario re iteramos.	Recalculamos la columna A_j correspondiente a la a_{ij} que se modifico. Verificamos si la solucion optima lo sigue siendo (analizando el renglon \emptyset) y en caso contrario re iteramos.
Cambio en a_{ij} basica	Factibilidad	Debemos trabajar sobre el problema dual asociado	Recalculamos la columna A_j correspondiente a la a_{ij} que se modifico. Verificamos si la solucion optima lo sigue siendo (analizando el renglon \emptyset) y en caso contrario re iteramos.
Agregado de una nueva Actividad	Optimalidad	Agregamos una nueva columna a la tabla optima. Verificamos si la solucion optima lo sigue siendo (analizando el renglon \emptyset) y en caso contrario re iteramos.	La nueva actividad se convierte en una nueva restrccion. La reoptimizacion es analoga al caso de nueva nueva restriccion en el primal
Agregado de una nueva restriccion	Factibilidad	Verificamos si la solucion optima cumple con la restriccion modificada. En caso de que no sea asi modificamos la tabla y trabajamos sobre el problema dual	La nueva restriccion se convierte en una nueva actividad. La reoptimizacion es analoga al caso de nueva nueva actividad en el primal

Solución de Problemas

Punto 01 - Dakota

Simplex

Las variables de decisión son:

- E Cantidad de Escritorios a producir.
- S Cantidad de Sillas a producir.
- M Cantidad de Mesas a producir

Función Objetivo:

$$\text{Max } Z = 60 \left[\frac{\$}{e} \right] E [e] + 30 \left[\frac{\$}{m} \right] M [m] + 20 \left[\frac{\$}{s} \right] S [s] \quad (1)$$

Restricciones:

$$\begin{aligned} 8 \left[\frac{Mad}{e} \right] E [e] + 6 \left[\frac{Mad}{m} \right] M [m] + 1 \left[\frac{Mad}{s} \right] S [s] &\leq 48 [Mad] \\ 4 \left[\frac{Aca}{e} \right] E [e] + 2 \left[\frac{Aca}{m} \right] M [m] + 1.5 \left[\frac{Aca}{s} \right] S [s] &\leq 20 [Aca] \\ 2 \left[\frac{Car}{e} \right] E [e] + 1.5 \left[\frac{Car}{m} \right] M [m] + 0.5 \left[\frac{Car}{s} \right] S [s] &\leq 8 [Car] \\ E, M, S &\geq 0 \end{aligned}$$

Forma Estándar:

$$\begin{aligned} 60X_1 + 30X_2 + 20X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 \\ 8X_1 + 6X_2 + 1X_3 + 1X_4 + 0X_5 + 0X_6 &= 48 \\ 4X_1 + 2X_2 + 1.5X_3 + 0X_4 + 1X_5 + 0X_6 &= 20 \\ 2X_1 + 1.5X_2 + 0.5X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 1X_6 &= 8 \\ X_1, X_2, X_3 &\geq 0 \end{aligned}$$

Cuadro 14: Tableau Simplex Optimo

			60	30	20	0	0	0
C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0	X_4	24	0	-2	0	1	2	-8
20	X_3	8	0	-2	1	0	2	-4
60	X_1	2	1	1.25	0	0	-0.5	1.5
$Z = 280$			0	5	0	0	10	10

Variación de c_3

$$Z_2 - Z_2 : C_3(-2) + 60(1.25) \geq 0 \rightarrow C_3 \leq 37.5$$

$$Z_5 - Z_5 : C_3(2) + 60(-0.5) \geq 0 \rightarrow C_3 \geq 15$$

$$Z_6 - Z_6 : C_3(-4) + 60(1.5) \geq 0 \rightarrow C_3 \leq 22.5$$

$$\text{Entonces: } 15 \leq C_3 \leq 22.5$$

Precios Sombra

Los valores de los precios sombra son:

- Hora de Carpintería: $10 \left[\frac{\$}{Car} \right]$
- Hora de Acabado: $10 \left[\frac{\$}{Aca} \right]$
- Madera: $0 \left[\frac{\$}{Mad} \right]$

En el caso de las horas e Carpintería y Acabado, las mismas se interpretan como la mejora que se produciría en el funcional en el caso de contar con una unidad mas de cualquiera de los dos recursos. Sin embargo, esta variación es valida solo para el intervalo de variación de cada una de las variables en cuestión. Cabe destacar que las mismas fueron consumidas en su totalidad

En cambio, la madera presenta un sobrante y es por esto que contar con una unidad de madera extra no presentaría una mejora, ya que de por si tenemos todavía madera a nuestra disposición

18 hs de acabado

$$\begin{aligned}b_2(-2) + 8(8) &\leq 0 \rightarrow b_2 \geq 32 \\b_2(1/2) + 8(-3/2) &\leq 0 \rightarrow b_2 \leq 24 \\b_2(-2) + 8(4) &\leq 0 \rightarrow b_2 \geq 16\end{aligned}$$

Por lo tanto, b_2 esta en el rango de: $16 \leq b_2 \leq 24$

$$W = Z = 0(5) + 18(10) + 8(10) = 260 \rightarrow 280 - 260 = 20 \rightarrow \text{Disminucion}$$

Mesas para PC

Un método para determinar si es conveniente o no es analizar el valor de la suma de los precios sombra de los recursos necesarios para realizar la nueva actividad y comparar los mismos con el precio estimado de venta. Por lo tanto:

$$A_7 = \begin{bmatrix} 6 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix}$$

$$6Y_1 + 2Y_2 + 2Y_3 \geq 36$$

$$6(0) + 2(10) + 2(10) \geq 36 \rightarrow 40 \geq 36$$

Por ende, no es conveniente realizar la nueva actividad, en este caso, la producción de mesas de PC.

Problema Dual

$$\text{Min } W = 48Y_1 + 20Y_2 + 8Y_3$$

$$\text{s.a. : } 8Y_1 + 4Y_2 + 2Y_3 \geq 6$$

$$6Y_1 + 2Y_2 + 1.5Y_3 \geq 30$$

$$1Y_1 + 1.5Y_2 + 0.5Y_3 \geq 20$$

$$Y_1, Y_2, Y_3 \geq 0$$

Forma Estándar

$$\text{Min } W = 48Y_1 + 20Y_2 + 8Y_3 + 0Y_4 + 0Y_5 + 0Y_6 + M\mu_1 + M\mu_2 + M\mu_3$$

$$\text{s.a. : } 8Y_1 + 4Y_2 + 2Y_3 - 1Y_4 + 0Y_5 + 0Y_6 + 1\mu_1 + 0\mu_2 + 0\mu_3 = 6$$

$$6Y_1 + 2Y_2 + 1.5Y_3 + 0Y_4 - 1Y_5 + 0Y_6 + 0\mu_1 + 1\mu_2 + 0\mu_3 = 30$$

$$1Y_1 + 1.5Y_2 + 0.5Y_3 + 0Y_4 + 0Y_5 - 1Y_6 + 0\mu_1 + 0\mu_2 + 1\mu_3 = 20$$

$$Y_1, Y_2, Y_3 \geq 0$$

Se puede interpretar el problema dual de la siguiente manera. Buscamos minimizar el costo total a pagar por cada recurso que necesitamos para la producción. En el lado izquierdo de las restricciones podemos apreciar los requerimientos de cada recurso para cada una de las actividades que deseamos llevar a cabo como empresa, mientras que en el lado derecho se encuentra el precio de venta del producto resultante de dicha actividad. De esta manera, exigimos que lógicamente la suma de los costos de un producto sea siempre menor a su precio de venta de manera de asegurar la existencia de ganancias para la empresa

Estudio de Mercado

No es necesario modificar la solución obtenida anteriormente ya que la nueva restricción resulta redundante. El plan de producción actual incluye la fabricación de 8 unidades del producto 3 (X_3), osea sillas.

Una corrección en el Estudio de Mercado

Como los muchachos de Marketing estaban equivocados (que sorpresa), la restricción anterior si nos afecta. Esto es debido a que actualmente el nivel de la actividad "producción de sillas" es de 8, mientras que la nueva restricción nos impone un mínimo de 9. Entonces debemos agregar la siguiente restricción,

$$0X_1 + 0X_2 + 1X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 - 1X_7 + 1\mu_1 \geq 9 \quad (2)$$

lo que resulta en una nueva tabla, la cual debemos analizar:

Cuadro 15: Nueva tabla

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	$-M$ A_8
0	X_4	24	0	-2	0	1	2	-8	0	0
20	X_3	8	0	-2	1	0	2	-4	0	0
60	X_1	2	1	1.25	0	0	-0.5	1.5	0	0
$-M$	M_1	9	0	0	1	0	0	0	-1	1
$Z = 280$			0	5	0	0	10	10	0	0

Cuadro 16: Iteraciones

	C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	$-M$	$\theta_i = b_i/a_{ij}$
											A_8	
	0	X_4	24	0	-2	0	1	2	-8	0	0	$\theta_1 = (-)$
	20	X_3	8	0	-2	1	0	2	-4	0	0	$\theta_2 = (-)$
	60	X_1	2	1	1.25	0	0	-0.5	1.5	0	0	$\theta_3 = 1, 6$
\leftarrow	$-M$	μ_1	1	0	2	0	0	-2	4	-1	1	$\theta_4 = 0, 5$
$Z = 280 - M$				0	$5 - M$	0	0	$10 - M$	$10 - M$	$+M$	0	
\uparrow												
	0	X_4	25	0	0	0	1	0	-4	-1	1	
	20	X_3	9	0	0	1	0	0	0	-1	1	
	60	X_1	1.375	1	0	0	0	0.75	-1	0.625	-0.625	
	30	X_2	0.5	0	1	0	0	-1	2	-0.5	0.5	
$Z = 277, 5$				0	0	0	0	15	0	2.5	$-M - 2, 5$	

Por lo tanto, el mejor plan de producción sería:

- 9 Sillas
- 1.375 Escritorios
- 0.5 Mesas

Mesas, si o si

Para lograr que la venta de mesas sea una actividad rentable, entonces el precio sombra de la actividad 2 debería ser igual a 0. Para lograr esto, una forma es aumentar el valor de c_2 (la contribución de la actividad venta de mesas al funcional) hasta que la solución actual no sea óptima. Entonces debemos aumentarlo por fuera de su rango de variación.

Intervalo de variación de c_2 (VNB):

$$L_{inf} = -\infty$$

$$L_{sup} = c_2 + (Z_2 - c_2) = 35$$

En resumen, debemos vender cada mesa al menos a \$35 para que nos resulte rentable.

Punto 02 - Citrus

Máxima Ganancia

El objetivo es maximizar las ganancias de la empresa. Las variables de decisión son:

- X_1 Litros de jugo de naranja a destilar.

- X_2 Litros de jugo de pomelo a destilar.

Para el jugo de naranja, la tasa de conversión de "puro.^a concentrado es: $\frac{25-17.5}{25} = 0.7$

Para el jugo de pomelo, la tasa de conversión es: $\frac{20-10}{20} = 0.5$

Si se destilan 25 lt de jugo de naranja en una hora, entonces cada litro se destila en 0.04 hs.

Análogamente, para el jugo de pomelo este valor es de 0.05 hs.

Función Objetivo:

$$\text{Max } Z = (0.55 \times 0.7) \left[\frac{\$}{\text{Lt}_N} \right] X_1 [\text{Lt}_N] + (0.4 \times 0.5) \left[\frac{\$}{\text{Lt}_P} \right] X_2 [\text{Lt}_P] \quad (3)$$

Restricciones:

$$\begin{aligned} 0.04 \left[\frac{\text{Hs}}{\text{Lt}_N} \right] X_1 [\text{Lt}_N] + 0.05 \left[\frac{\text{Hs}}{\text{Lt}_P} \right] X_2 [\text{Lt}_P] &\leq 150 [\text{Hs}] \\ 0.7 \left[\frac{\text{Lt}_T}{\text{Lt}_N} \right] X_1 [\text{Lt}_N] &\leq 1000 [\text{Lt}_T] \\ 0.5 \left[\frac{\text{Lt}_T}{\text{Lt}_P} \right] X_2 [\text{Lt}_P] &\leq 1000 [\text{Lt}_T] \\ X_1, X_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Forma estándar:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= 0.385X_1 + 0.2X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 \\ 0.04X_1 + 0.05X_2 + 1X_3 + 0X_4 + 0X_5 &= 150 \\ 1X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 1X_4 + 0X_5 &= 1000 \\ 0X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 1X_5 &= 1000 \\ X_1, X_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Cuadro 17: Tableau Simplex Optimo

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
0.2	X_2	1857.14	0	1	20	-1.14	0
0.385	X_1	1428.57	1	0	0	1.43	0
0	X_5	71.43	0	0	-10	0.57	1
$Z = 928,57$			0	0	4	0.33	0

El plan de producción optimo hallado nos indica que utilizando:

- 1428.57 litros de jugo de naranja.

- 1857.14 litros de jugo de pomelo.

De esta manera, alcanzamos una ganancia de \$928.57. Si pudiéramos disponer de una hora mas de maquina, nuestra ganancia aumentaría en \$0.33. De igual manera, si nuestro tanque de almacenamiento tuviera un litro mas de capacidad, la ganancia aumentaría en \$4.

Nuevos Tanques

Dual Estándar

$$\begin{aligned} \text{Min } W &= 150Y_1 + 1000Y_2 + 1000Y_3 + 0Y_4 + 0Y_5 + M\mu_1 + M\mu_2 \\ 0.04Y_1 + 1Y_2 + 0Y_3 - 1Y_4 + 0Y_5 + 1\mu_1 + 0\mu_2 &= 0.385 \\ 0.05Y_1 + 0Y_2 + 0Y_3 + 0Y_4 - 1Y_5 + 0\mu_1 + 1\mu_2 &= 0.2 \end{aligned}$$

Cuadro 18: Tableau Dual Optimo

			150	1000	1000	0	0
C_k	Y_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
150	Y_1	4	1	0	\$+10\$	0	-20
1000	Y_2	0.33	0	1	-0.57	-1.43	\$+1,14\$
$W = 928,57$			0	0	-71.43	-1428.57	-1857.14

$$\left. \begin{aligned} 150 \times 10 - 0.57b_2 &\leq 0 \\ 150 \times 0 - 1.43b_2 &\leq 0 \\ 150 \times (-20) + 1.14b_2 &\leq 0 \end{aligned} \right\} b_2 \geq 2631.58 \wedge b_2 \leq 2631.58$$

Para resolver el problema de si nos conviene o no la compra de uno o ambos tanques, re calculamos (utilizando SW) el funcional y comparamos si la variación en el mismo (ganancia o perdida debido al cambio de los tanques) es mayor que la inversión (el precio de cada tanque) requerida.

Opción A - Tanque 1500 lt a \$500

- Cambio de tanque para jugo de Naranja:

$$\begin{aligned} 777.5 - 928.57 &\geq 500 \\ -151.07 &\not\geq 500 \end{aligned}$$

- Cambio de tanque para jugo de Pomelo:

$$685 - 928.57 \geq 500$$

$$-243.57 \not\geq 500$$

- Cambio de tanque para ambos jugos:

$$877.5 - 928.57 \geq 500$$

$$-51.07 \not\geq 500$$

Por lo tanto, en ningún caso nos resulta redituable adquirir el tanque de 1500 lt.

Opción B - Tanque 2500 lt a \$800

- Cambio de tanque para jugo de Naranja:

$$1162.5 - 928.57 \geq 800$$

$$233.93 \not\geq 800$$

- Cambio de tanque para jugo de Pomelo:

$$825 - 928.57 \geq 800$$

$$-103.57 \not\geq 800$$

- Cambio de tanque para ambos jugos:

$$877.5 - 928.57 \geq 800$$

$$233.93 \not\geq 800$$

Por lo tanto, en ningún caso nos resulta redituable adquirir el tanque de 2500 lt.

Opción C - Tanque 3000 lt a \$1000

- Cambio de tanque para jugo de Naranja:

$$1275 - 928.57 \geq 1000$$

$$346.43 \not\geq 1000$$

- Cambio de tanque para jugo de Pomelo:

$$825 - 928.57 \geq 1000$$

$$-103.57 \not\geq 1000$$

- Cambio de tanque para ambos jugos:

$$1275 - 928.57 \geq 1000$$

$$346.43 \not\geq 1000$$

Por lo tanto, en ningún caso nos resulta redituable adquirir el tanque de 3000 lt.

Oferta del Competidor

Si revisamos la tabla optima del simple, vemos que por cada hora extra de maquinaria el funcional mejoraría en \$4, por lo que adquirir horas extras a \$8.2 no solo no nos conviene, si no que estaríamos incurriendo en un resultado negativo.

Punto 03 - Criador de Aves

Método Simplex

El objetivo es minimizar los costos del criador de aves satisfaciendo la dieta de los animales. Las variables de decisión son:

- X_1 Cantidad de alimento del tipo 1 adquirido.
- X_2 Cantidad de alimento del tipo 2 adquirido.

Función Objetivo:

$$\text{Min } Z = 50 \left[\frac{\$}{Kg_1} \right] X_1 [Kg_1] + 25 \left[\frac{\$}{Kg_2} \right] X_2 [Kg_2] \quad (4)$$

Restricciones:

$$\begin{aligned} 0.1 \left[\frac{Kg_{Gns}}{Kg_1} \right] X_1 [Kg_1] + 0.3 \left[\frac{Kg_{Gns}}{Kg_2} \right] X_2 [Kg_2] &\geq 8 [Kg_{Gns}] \\ 0.3 \left[\frac{Kg_{Car}}{Kg_1} \right] X_1 [Kg_1] + 0.4 \left[\frac{Kg_{Car}}{Kg_2} \right] X_2 [Kg_2] &\geq 19 [Kg_{Car}] \\ 0.3 \left[\frac{Kg_{Crc}}{Kg_1} \right] X_1 [Kg_1] + 0.1 \left[\frac{Kg_{Crc}}{Kg_2} \right] X_2 [Kg_2] &\geq 7 [Kg_{Crc}] \\ X_1, X_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Forma estándar:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= 50X_1 + 25X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + M\mu_1 + M\mu_2 + M\mu_3 \\ 0.1X_1 + 0.3X_2 - 1X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 1\mu_1 + 0\mu_2 + 0\mu_3 &= 8 \\ 0.3X_1 + 0.4X_2 + 0X_3 - 1X_4 + 0X_5 + 0\mu_1 + 1\mu_2 + 0\mu_3 &= 19 \\ 0.3X_1 + 0.1X_2 + 0X_3 + 0X_4 - 1X_5 + 0\mu_1 + 0\mu_2 + 1\mu_3 &= 7 \\ X_1, X_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Cuadro 19: Tableau Simplex Optimo

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	M A_6	M A_7	M A_8
25	X_2	40	0	1	0	-3.33	3.33	0	3.33	-3.33
0	X_3	5	0	0	1	-0.89	0.56	-1	0.89	-0.56
50	X_1	10	1	0	0	1.11	-4.44	0	-1.11	4.44
$Z = 1500$			0	0	0	-27.78	-138.89	$-M$	$-M + 27,78$	$-M + 188,89$

El plan de producción optimo hallado nos indica que utilizando:

- 10 Kg del alimento tipo 1.
- 40 Kg del alimento tipo 2.

lograríamos que los costos descendieran al mínimo de \$1500. Con esta composición de los alimentos, la necesidad de grasas no saturadas se ve incluso sobre satisfecha, mientras que resultaría muy beneficioso si la dieta de los animales requiriera un kilogramo menos de componentes ricos en calcio (nuestro costos disminuiría en \$138.89) y un menos beneficioso si requirieran un kilogramo menos de carbohidratos (una disminución de \$27.78)

Dual Asociado

$$\begin{aligned}
 \text{Max } W &= 8Y_1 + 19Y_2 + 7Y_3 \\
 \text{s.a. : } &0.1Y_1 + 0.3Y_2 + 0.3Y_3 \leq 50 \\
 &0.3Y_1 + 0.4Y_2 + 0.1Y_3 \leq 25
 \end{aligned}$$

La función objetivo representa la maximización de los precios de venta de los recursos con los que se cuenta. El lado izquierdo de cada restricción representa el consumo de recursos de cada actividad, mientras que el derecho indica el precio de venta o ganancia de dicha actividad, por lo que resulta lógico establecer la restricción de que el precio de venta de los recursos deba ser mayor que la ganancia que obtendríamos si destinásemos esos recursos a la producción de bienes y servicios.

Forma estándar:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } W &= 8Y_1 + 19Y_2 + 7Y_3 + 0Y_4 + 0Y_5 \\
 0.1Y_1 + 0.3Y_2 + 0.3Y_3 + 1Y_4 + 0Y_5 &= 50 \\
 0.3Y_1 + 0.4Y_2 + 0.1Y_3 + 0Y_4 + 1Y_5 &= 25
 \end{aligned}$$

Cuadro 20: Tableau Dual Optima

C_k	Y_k	B_k	A_1	A_2	A_3	Y_4	Y_5
7	Y_3	138.89	-0.56	0	1	4.44	-3.33
19	Y_2	27.78	0.89	1	0	-1.11	3.33
$W = 1500$			5	0	0	10	40

Cambio en la Dieta 01

$$\left. \begin{array}{l} 7 \times (-0.56) + 0.89b_2 \geq 0 \\ 7 \times (4.44) + 1.14b_2 \geq 0 \\ 7 \times (-3 - 33) + 3.33b_2 \geq 0 \end{array} \right\} b_2 \geq 4.4 \wedge b_2 \geq 7 \wedge b_2 \leq 28$$

$$7 \leq b_2 \leq 28$$

Cuadro 21: Modificación dual optimo

C_k	Y_k	B_k
7	Y_3	128.89
10	Y_2	27.78
$W = 1250$		

$$B^{-1} \cdot b = b^*$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 3.33 & -3.33 \\ -1 & 0.89 & -0.56 \\ 0 & -1.11 & 4.44 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 8 \\ 10 \\ 7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9.99 \\ \mathbf{-3.02} \\ 19.98 \end{bmatrix}$$

Si bien la solución sigue siendo optima, la misma no es factible, por lo que debemos re iterar. De esta manera, llegamos a la nueva solución:

Cuadro 22: Solución óptima con modificación

C_k	X_k	B_k
0	X_4	3.375
25	X_2	21.25
50	X_1	16.25
$Z = 1343,75$		

Cambio en la Dieta 02

Gracias al ejercicio anterior sabemos que el rango de variación de b_2 es $7 \leq b_2 \leq 28$, por lo que un valor de 29 produce que la solución deje de ser óptima. De igual manera, la misma tampoco es factible:

$$B^{-1} \cdot b = b^*$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 3.33 & -3.33 \\ -1 & 0.89 & -0.56 \\ 0 & -1.11 & 4.44 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 8 \\ 29 \\ 7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 73.26 \\ 13.89 \\ -1.11 \end{bmatrix}$$

Aumento del costo del Alimento

Intervalo de variación de c_1 :

$$\left. \begin{array}{l} 25 \times (-3.33) + 1.11c_1 \leq 0 \\ 25 \times (3.33) - 4.44c_1 \leq 0 \end{array} \right\} c_1 \leq 75 \wedge c_1 \geq 18.75$$

Con estos datos no es posible asegurar que la actividad que representa la compra del alimento 1 forme parte de la solución. La nueva solución con esta modificación sería:

Cuadro 23: Simplex Óptimo con modificación de alimento

C_k	X_k	B_k
25	X_2	70
0	X_3	13
0	X_4	9
$Z = 1750$		

Rangos de variación & Precio Sombra

Intervalo de variación de b_1 :

$$3 \leq b_1 \leq \infty$$

Intervalo de variación de b_2 :

$$\left. \begin{array}{l} 7 \times (-0.56) + 0.89b_2 \geq 0 \\ 7 \times (4.44) + 1.14b_2 \geq 0 \\ 7 \times (-3.33) + 3.33b_2 \geq 0 \end{array} \right\} b_2 \geq 4.4 \wedge b_2 \geq 7 \wedge b_2 \leq 28$$

$$7 \leq b_2 \leq 28$$

Intervalo de variación de b_3 :

$$\left. \begin{array}{l} 19 \times (0.89) - 0.56b_3 \geq 0 \\ 19 \times (-1.11) + 4.44b_3 \geq 0 \\ 19 \times (3.33) - 3.33b_3 \geq 0 \end{array} \right\} b_3 \geq 4.75 \wedge b_3 \leq 30.2 \wedge b_3 \leq 19$$

$$4.75 \leq b_3 \leq 19$$

Intervalo de variación de c_1 :

$$\left. \begin{array}{l} 25 \times (-3.33) + 1.11c_1 \leq 0 \\ 25 \times (3.33) - 4.44c_1 \leq 0 \end{array} \right\} c_1 \leq 75 \wedge c_1 \geq 18.75$$

$$18.75 \leq c_1 \leq 75$$

Intervalo de variación de c_2 :

$$\left. \begin{array}{l} 50 \times (1.11) - 3.33c_2 \leq 0 \\ 50 \times (-4.44) + 3.33c_2 \leq 0 \end{array} \right\} c_2 \geq 16.67 \wedge c_2 \leq 66.67$$

$$16.67 \leq c_2 \leq 66.67$$

Precios Sombra:

- -27.78 por cada Kg de Carbohidratos que se elimine como requerimiento de la dieta de los animales, conseguiríamos un decremento en el costo total de \$27,78
- -138.89 por cada Kg de Compuestos ricos en calcio que se elimine como requerimiento de la dieta de los animales, conseguiríamos un decremento en el costo total de \$138.89

Punto 04 - Heladería

Modelo Lineal

El objetivo es determinar la cantidad a producir de cada sabor para maximizar la ganancia, de acuerdo a las limitaciones sobre la materia prima. Las variables de decisión son:

- X_1 Cantidad de helado de chocolate a producir(Lt).
- X_2 Cantidad de helado de vainilla a producir(Lt).
- X_3 Cantidad de helado de dulce de leche a producir(Lt).

Función Objetivo:

$$Max Z = 1 \left[\frac{\$}{Lt_c} \right] X_1 [Lt_c] + 0.9 \left[\frac{\$}{Lt_v} \right] X_2 [Lt_v] + 0.95 \left[\frac{\$}{Lt_d} \right] X_3 [Lt_d] \quad (5)$$

Restricciones:

$$\begin{aligned} 0.45 \left[\frac{Lt_l}{Lt_c} \right] X_1 [Lt_c] + 0.50 \left[\frac{Lt_l}{Lt_v} \right] X_2 [Lt_v] + 0.40 \left[\frac{Lt_l}{Lt_d} \right] X_3 [Lt_d] &\leq 200 [Lt_l] \\ 0.50 \left[\frac{Kg_{az}}{Lt_c} \right] X_1 [Lt_c] + 0.40 \left[\frac{Kg_{az}}{Lt_v} \right] X_2 [Lt_v] + 0.40 \left[\frac{Kg_{az}}{Lt_d} \right] X_3 [Lt_d] &\leq 150 [Kg_{az}] \\ 0.10 \left[\frac{Kg_{cr}}{Lt_c} \right] X_1 [Lt_c] + 0.15 \left[\frac{Kg_{cr}}{Lt_v} \right] X_2 [Lt_v] + 0.20 \left[\frac{Kg_{cr}}{Lt_d} \right] X_3 [Lt_d] &\leq 60 [Kg_{cr}] \\ X_1, X_2, X_3 &\geq 0 \end{aligned}$$

Método Simplex

Forma estándar:

$$\begin{aligned} Max Z &= 1X_1 + 0.90X_2 + 0.95X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 \\ s.a. : 0.45X_1 + 0.50X_2 + 0.40X_3 + 1X_4 + 0X_5 + 0X_6 &= 200 \\ 0.50X_1 + 0.40X_2 + 0.40X_3 + 0X_4 + 1X_5 + 0X_6 &= 150 \\ 0.10X_1 + 0.15X_2 + 0.20X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 1X_6 &= 60 \end{aligned}$$

Cuadro 24: Tableau Simplex Optimo

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0	X_4	20	-0.35	0	0	1	-2	2
0.9	X_2	300	3	1	0	0	10	-20
0.95	X_3	75	-1.75	0	1	0	-7.5	20
$Z = 341,25$			0.038	0	0	0	1.875	1

De la tabla anterior podemos observar que el plan de producción para alcanzar la ganancia optima consiste en la producción de 300 *lt* de helado de vainilla y 75 *Lt* de helado de dulce de leche. En cuanto a los sobrantes, contaríamos con unos 20 *lt* de leche. Sin embargo, tanto el azúcar como la crema se usaron en su totalidad. Si contáramos con un Kg mas de azúcar y crema veríamos un incremento en nuestra ganancia de \$1.875 y \$1 respectivamente.

Modelo Dual

El problema dual se puede interpretar como la búsqueda del costo mínimo al que se esta dispuesto a pagar cada unidad de cada recurso. Por otra parte, los lados izquierdos de cada restricción hacen referencia a la imputación de cada recurso a cada una de las actividades de la empresa, mientras que el lado derecho de la misma ecuación indica la ganancia por unidad que es realizada la actividad.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } W &= 200Y_1 + 150Y_2 + 60Y_3 \\
 \text{s.a. : } &0.45Y_1 + 0.50Y_2 + 0.10Y_3 \geq 1 \\
 &0.50Y_1 + 0.40Y_2 + 0.15Y_3 \geq 0.90 \\
 &0.40Y_1 + 0.40Y_2 + 0.20Y_3 \geq 0.95 \qquad Y_1, Y_2, Y_3 \geq 0
 \end{aligned}$$

Dual Estándar

$$\begin{aligned}
 \text{Min } W &= 200Y_1 + 150Y_2 + 60Y_3 + 0Y_4 + 0Y_5 + 0Y_6 + M\mu_1 + M\mu_2 + M\mu_3 \\
 \text{s.a. : } &0.45Y_1 + 0.50Y_2 + 0.10Y_3 - 1Y_4 + 0Y_5 + 0Y_6 + 1\mu_1 + 0\mu_2 + 0\mu_3 = 1 \\
 &0.50Y_1 + 0.40Y_2 + 0.15Y_3 + 0Y_4 - 1Y_5 + 0Y_6 + 0\mu_1 + 1\mu_2 + 0\mu_3 = 0.90 \\
 &0.40Y_1 + 0.40Y_2 + 0.20Y_3 + 0Y_4 + 0Y_5 - 1Y_6 + 0\mu_1 + 0\mu_2 + 1\mu_3 = 0.95
 \end{aligned}$$

Cuadro 25: Tableau Dual Optimo

C_k	Y_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
60	Y_3	1	-2	0	1	0	20	-20	0	-20	20
150	Y_2	1.875	2	1	0	0	-10	7.5	0	10	-7.5
0	Y_4	0.038	0.35	0	0	1	-3	1.75	-1	3	-1.75
$W = 341,25$			-20	0	0	0	-300	-75	$-M$	$-M + 300$	$-M + 75$

Aumento Ganancia de DDL

Intervalo de variación de c_3 :

$$\left. \begin{array}{l} 0.9 \times 3 - 1.75c_3 \geq 0 \\ 0.9 \times 10 - 7.5c_3 \geq 0 \\ 0.9 \times (-20) + 20c_3 \geq 0 \end{array} \right\} c_3 \leq 1.543 \wedge c_3 \leq 1.2 \wedge c_3 \geq 0.9$$

Entonces $0.9 \leq c_3 \leq 1.2$.

Podemos ver que la solución óptima no cambia ya que c_3 sigue en su rango de variación. El nuevo valor del funcional es de 345.

Cuadro 26: Simplex Optimo, modificación DDL+

C_k	X_k	B_k
0	X_4	20
0.9	X_2	300
1	X_1	75
$Z = 345$		

Disminución Ganancia de DDL

En el caso de disminuir el precio del lt de helado de dulce de leche a \$0.92, como el mismo sigue estando dentro del rango de variación permitido, sigue siendo óptima la solución original. El nuevo valor del funcional es de \$339 (en este caso se sufrió una desmejora).

Cuadro 27: Simplex Optimo, modificación DDL-

C_k	X_k	B_k
0	X_4	20
0.9	X_2	300
0.92	X_3	75
$Z = 339$		

Crema en mal estado

Debido a una mala gestión de la materia prima, la existencia de crema pasa a ser de 57.
Intervalo de Variación de b_3

$$\left. \begin{array}{l} 150 \times 2 - 2b_3 \geq 0 \\ 150 \times 20 + 20b_3 \geq 0 \\ 150 \times (-20) - 20b_3 \geq 0 \end{array} \right\} b_3 \geq 150 \wedge b_3 \leq 75 \wedge b_3 \geq 56.25$$

Entonces podemos observar que el "nuevo" valor de $b_3 \in [56.25, 75]$. También resulta que la nueva solución es factible:

$$B^{-1} \cdot b_{nuevo} = b^* = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 2 \\ 0 & 10 & -20 \\ 0 & -0.75 & 20 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 200 \\ 150 \\ 75 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 14 \\ 360 \\ 15 \end{bmatrix}$$

Mas azúcar!

Intervalo de variación de b_2 :

$$\left. \begin{array}{l} 60 \times (-2) + 2b_2 \geq 0 \\ 60 \times 20 + -10b_2 \geq 0 \\ 60 \times (-20) + 7.5b_2 \geq 0 \end{array} \right\} b_2 \leq 60 \wedge b_2 \geq 120 \wedge b_2 \leq 160$$

Como el nuevo valor del recurso "Kg de Azúcar" no está dentro del rango de variación ($120 \leq b_2 \leq 160$), debemos reiterar para determinar la nueva solución óptima.

Cuadro 28: Mas azúcar...

C_k	X_k	B_k
1	X_1	28,57
0,9	X_2	\$364.29\$
0,95	X_3	12,5
$Z = 368,30$		

Entonces,

$$Z_n - Z_a \geq 15$$

$$368.3 - 341.25 \geq 15 \rightarrow 27.05 \geq 15$$

En base a lo anteriormente expuesto, nos conviene adquirir los 15 *Kg* de azúcar que nos ofrece el proveedor.

Sensibilidad de la Leche

En este problema, la Leche representa un recurso sobrante, ya que la variable de holgura que lo representa forma parte de la solución óptima (es una VB). El valor de dicha variable es de 20 y, obviamente, su precio sombra es de 0. Entonces, podríamos disminuir la existencia de leche hasta 20 unidades y aumentar todo lo que quisiéramos la misma sin afectar la factibilidad. Sin embargo, si quisiéramos disminuir más de 20 lt de leche la factibilidad variaría.

Punto 05 - Empresita

Modelo Matemático

El objetivo es que la empresa maximice sus ganancias.

Las variables de decisión son:

- X_1 cantidad del producto 1 a fabricar.
- X_2 cantidad del producto 2 a fabricar.
- X_3 cantidad del producto 3 a fabricar.

Función Objetivo:

$$\text{Max } Z = 463 \left[\frac{\$}{U_1} \right] X_1 [U_1] + 371.7 \left[\frac{\$}{U_2} \right] X_2 [U_2] + 556.4 \left[\frac{\$}{U_3} \right] X_3 [U_3] \quad (6)$$

Restringida a:

$$\begin{aligned}
 5 \left[\frac{Hs_{MO}}{U_1} \right] X_1 [U_1] + 4 \left[\frac{Hs_{MO}}{U_2} \right] X_2 [U_2] + 6 \left[\frac{Hs_{MO}}{U_3} \right] X_3 [U_3] &\leq 1200 [Hs_{MO}] \\
 0.2 \left[\frac{Kg_{MP}}{U_1} \right] X_1 [U_1] + 0.3 \left[\frac{Kg_{MP}}{U_2} \right] X_2 [U_2] + 0.1 \left[\frac{Kg_{MP}}{U_3} \right] X_3 [U_3] &\leq 300 [Kg_{MP}] \\
 1.1 \left[\frac{Hs_{MA}}{U_1} \right] X_1 [U_1] + 0.8 \left[\frac{Hs_{MA}}{U_2} \right] X_2 [U_2] + 1.3 \left[\frac{Hs_{MA}}{U_3} \right] X_3 [U_3] &\leq 800 [Hs_{MA}] \\
 X_3 [U_3] &\geq 70 [U_3] \\
 X_2 [U_2] &\leq 200 [U_2] \\
 X_1, X_2, X_3 &\geq 0
 \end{aligned}$$

Forma Estándar:

$$\begin{aligned}
 Max \ Z &= 463.3X_1 + 371.1X_2 + 556.4X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + M\mu_1 \\
 s.a. : 5X_1 + 4X_2 + 6X_3 + 1X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0\mu_1 &= 1200 \\
 0.2X_1 + 0.3X_2 + 0.1X_3 + 0X_4 + 1X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0\mu_1 &= 300 \\
 1.1X_1 + 0.8X_2 + 1.3X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 1X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0\mu_1 &= 800 \\
 0X_1 + 0X_2 + 1X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 - 1X_7 + 0X_8 + 1\mu_1 &= 70 \\
 0X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 1X_8 + 0\mu_1 &= 200
 \end{aligned}$$

Resolución LINDO

Cuadro 29: Tableau Simplex Optimo

C_k	X_k	B_k
371,7	X_2	195
556,4	X_3	70
0	X_6	234,5
0	X_7	553
0	X_8	5
$Z = 368,30$		

Interpretación de LINDO

A partir del reporte de LINDO se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se necesitaron solo 2 iteraciones para alcanzar la solución óptima del problema.

Solucion por Software 1: Problema 05 - LINDO

Search for Software Problems 65

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 2

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 111429.5

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.000000	1.325012
X2	195.000000	0.000000
X3	70.000000	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	92.925003
3)	234.500000	0.000000
4)	553.000000	0.000000
5)	0.000000	-1.150000
6)	5.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 2

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES

VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X1	463.299988	1.325027	INFINITY
X2	371.700012	INFINITY	0.766667
X3	556.400024	1.150000	INFINITY

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	1200.000000	20.000000	780.000000
3	300.000000	INFINITY	234.500000
4	800.000000	INFINITY	553.000000
5	70.000000	130.000000	3.333333
6	200.000000	INFINITY	5.000000

- El valor optimo del funcional es de \$111429.50
- El plan de producción optimo consiste en la fabricación de 195 unidades del producto 2. 70 del producto 3 y ninguna unidad del primer producto
- Para lograr lo antes mencionado, se consumirá la totalidad de las horas de mano de

obra disponible, 247 horas de maquinaria y 65,5 de materia prima.

- Siendo la mano de obra el recurso que nos limita en este caso (la restricción activa), lo que podemos notar debido a que posee un precio sombra de 92,92 lo que indica que estaríamos dispuestos a pagar hasta esa cantidad con tal de contar con una unidad mas del recurso, o dicho de otra forma eso es lo que mejoraría nuestra ganancia en coas de contar con dicha unidad extra.

Planteo Dual

$$\begin{aligned} \text{Min } W &= 1200Y_1 + 300Y_2 + 800Y_3 + 70Y_4 + 200Y_5 \\ \text{s.a. : } 5Y_1 + 0.2Y_2 + 1.1Y_3 &\geq 500 \\ 4Y_1 + 0.3Y_2 + 0.8Y_3 &\geq 400 \\ 6Y_1 + 0.1Y_2 + 1.3Y_3 &\geq 600 \end{aligned}$$

El problema dual, en cada una de sus restricciones nos impone que si vendemos la misma cantidad de recursos que se necesitan para completar cada una de las actividades, entonces si o si la ganancia debe ser mayor, ya que caso contrario no resulta beneficioso.

Punto 06 - La falda cont.

Las variables de decisión son:

- X_1 : cantidad de cajas que se solicitan al deposito
- X_2 : cantidad de cajas que se solicitan al proveedor

La función objetivo es:

$$\text{Min } Z = 1 \left[\frac{\$}{C_d} \right] X_1 [C_d] + 6 \left[\frac{\$}{C_p} \right] X_2 [C_p] \quad (7)$$

Sujeta a:

$$\begin{aligned} 1 \left[\frac{Kg_A}{C_d} \right] X_1 [C_d] + 2 \left[\frac{Kg_A}{C_p} \right] X_2 [C_p] &\geq 80 [Kg_A] \\ 5 \left[\frac{Kg_Q}{C_p} \right] X_2 [C_p] &\geq 60 [Kg_Q] \\ X_1 [C_d] &\leq 40 [C_d] \\ X_2 [C_p] &\leq 30 [C_p] \\ X_1, X_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Forma Estándar:

$$\begin{aligned}
 &1X_1 + 6X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + M\mu_1 + M\mu_2 \\
 &1X_1 + 2X_2 - 1X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0x_6 + 1\mu_1 + 0\mu_2 = 80 \\
 &0X_1 + 2X_2 + 0X_3 - 1X_4 + 0X_5 + 0x_6 + 0\mu_1 + 1\mu_2 = 10 \\
 &1X_1 + 0X_2 - 0X_3 - 0X_4 + 1X_5 + 0X_6 + 0\mu_1 + 0\mu_2 = 40 \\
 &0X_1 + 1X_2 - 0X_3 - 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0\mu_1 + 0\mu_2 = 30 \\
 &X_1, X_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

Paro de Transportistas

Intervalo de variación de c_1 :

$$\left. \begin{aligned}
 6 \times (-1/2) + 0c_1 &\leq 0 \\
 6 \times (-1/2) + 1c_1 &\leq 0 \\
 6 \times (1/2) + 0c_1 &\leq 0
 \end{aligned} \right\} c_1 \leq 3$$

Entonces la solución original continua siendo optima, con un nuevo valor de 240, resultando en un aumento de \$80.

Error Administrativo

Esto no afecta nuestra solución original, ya que la misma incluía la adquisición de solo 20 cajas del proveedor.

Demanda de Quinua

Si se diera el caso de una disminución en la demanda de quinoa podríamos vender los recursos Cajas de Salud Vital.^a otros proveedores, y al mismo tiempo disminuir la cantidad disponibles del mismo ya que no requerimos tantas unidades de quinoa.

Nuevo proveedor

Para determinar cuanto es lo máximo que estamos dispuestos a pagar (o mejor dicho, sin incurrir en perdidas) debemos analizar el problema dual asociado. Problema Dual:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } W &= 80Y_1 + 50Y_2 + 40Y_3 + 30Y_4 \\
 \text{s.a. : } &1Y_1 + 0Y_2 \leq 1 \\
 &2Y_1 + 5Y_2 \leq 6 \\
 &Y_1, Y_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

Podemos ver entonces que los precios máximos que nos encontramos dispuestos a pagar son respectivamente de \$1 y \$6 por un kg de Amarato y Quinoa

Punto 07 - Lotería cont.

No me convence...

Las variables de decisión son:

- X_1 : Cantidad de acciones del tipo A invertidas (en millones).
- X_2 : Cantidad de acciones invertidas del tipo B (en millones).

La función objetivo es:

$$\text{Max } Z = 0.10X_1 [\$] + 0.07X_2 [\$] \quad (8)$$

Sujeta a:

$$X_1 [\$] + X_2 [\$] = 10 [\$]$$

$$X_1 [\$] \leq 6 [\$]$$

$$X_2 [\$] \geq 2 [\$]$$

$$X_1, X_2 \geq 0$$

Forma Estándar:

$$0.1X_1 + 0.07X_2 + 0X_3 + 0X_4 - M\mu_1 - M\mu_2$$

$$1X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 1\mu_1 - 0\mu_2 = 10$$

$$1X_1 + 0X_2 + 1X_3 + 0X_4 - 0\mu_1 - 0\mu_2 = 6$$

$$0X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 1X_4 - 0\mu_1 + 1\mu_2 = 2$$

Cuadro 30: Tableau Simplex

C_k	X_k	B_k	0.1	0.07	0	0	$-M$	$-M$	$\theta_i = b_i/a_{ij}$
$-M$	μ_1	10	1	1	0	0	1	0	$\theta_1 = 10$
0	X_3	6	1	0	1	0	0	0	$\theta_2 = X$
$-M$	μ_2	2	0	1	0	-1	0	1	$\theta_3 = 2$
$Z = -12M$			$-M - 0,1$	$-2M - 0,07$	0	M	0	0	
\uparrow									
$-M$	μ_1	8	1	0	0	1	1	-1	$\theta_1 = 8$
0	X_3	6	1	0	1	0	0	0	$\theta_2 = X$
0.07	X_2	2	0	1	0	-1	0	0	$\theta_3 = X$
$Z = -8M + 0,14$			$-M - 0,1$	0	0	$-M - 0,07$	0	$2M + 0,07$	
\uparrow									
0	X_4	8	1	0	0	1	1	-1	$\theta_1 = 8$
0	X_3	6	1	0	1	0	0	0	$\theta_2 = 6$
0.07	X_2	10	1	1	0	0	1	0	$\theta_3 = 10$
$Z = 0,7$			-0.03	0	0	0	$M + 0,07$	M	
\uparrow									
0	X_4	2	0	0	-1	1	1	-1	
0.1	X_1	6	1	0	1	0	0	0	
0.07	X_2	4000000	0	1	-1	0	1	0	
$Z = 0,88$			0	0	0.03	0	$M + 0,07$	M	

Problema Dual:

$$\begin{aligned}
 \text{Min } W &= 10Y_1 + 6Y_2 + 2Y_3 \\
 \text{s.a. : } &1Y_1 + 1Y_2 + 0Y_3 \geq 0.1 \\
 &1Y_1 + 0Y_2 + 0Y_3 \geq 0.07 \\
 &0Y_1 + 1Y_2 + 0Y_3 \geq 0 \\
 &0Y_1 + 0Y_2 - 1Y_3 \geq 0
 \end{aligned}$$

Cuadro 31: Tabla Optima Dual

C_k	Y_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	$M1$ A_6	$M1$ A_7
6	Y_2	0.03	0	1	0	-1	1	1	-1
10	Y_1	0.07	1	0	0	0	-1	0	1
$W = 0,88$			0	0	-2	-6	-4	$-M + 6$	$-M + 4$

Entonces debemos calcular el intervalo de variación de b_2 :

$$\left. \begin{array}{l} 0 - 1b_2 \geq 0 \\ (-1) \times 10 + 1b_2 \geq 0 \end{array} \right\} b_2 \leq 10$$

La solución sigue siendo factible, pero como veremos a continuación la misma no es óptima:

$$B^{-1} \cdot b_n = b^*$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 10 \\ 8 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4 \\ 10 \\ -2 \end{bmatrix}$$

Reiterando, llegamos a la nueva solución factible:

Cuadro 32: Nueva Solución Óptima

B_k	Y_k	C_k
8	Y_1	\$0.03\$
2	Y_2	\$0.07\$
$W = 0.94$		

77

Punto 08 - Criador de perros cont.

Las variables de decisión son:

- X_1 : Cantidad de alimento del tipo 1 utilizado.
- X_2 : Cantidad de alimento del tipo 2 utilizado.

La función objetivo es:

$$\text{Min } Z = 50 \left[\frac{\$}{Kg_1} \right] X_1 [Kg_1] + 25 \left[\frac{\$}{Kg_2} \right] X_2 [Kg_2] \quad (9)$$

Sujeta a:

$$\begin{aligned} 0.1 \left[\frac{Kg_G}{Kg_1} \right] X_1 [Kg_1] + 0.3 \left[\frac{Kg_G}{Kg_2} \right] X_2 [Kg_2] &\geq 8 [Kg_G] \\ 0.3 \left[\frac{Kg_C}{Kg_1} \right] X_1 [Kg_1] + 0.4 \left[\frac{Kg_C}{Kg_2} \right] X_2 [Kg_2] &\geq 19 [Kg_C] \\ 0.3 \left[\frac{Kg_{Ca}}{Kg_1} \right] X_1 [Kg_1] + 0.1 \left[\frac{Kg_{Ca}}{Kg_2} \right] X_2 [Kg_2] &\geq 7 [Kg_{Ca}] \\ X_1, X_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Forma Estándar:

$$\begin{aligned}
 &50X_1 + 25X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 + M\mu_1 + M\mu_2 + M\mu_3 \\
 &0.1X_1 + 0.3X_2 - 1X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 1\mu_1 + 0\mu_2 + 0\mu_3 = 8 \\
 &0.3X_1 + 0.4X_2 + 0X_3 - 1X_4 + 0X_5 + 0\mu_1 + 1\mu_2 + 0\mu_3 = 19 \\
 &0.3X_1 + 0.1X_2 + 0X_3 + 0X_4 - 1X_5 + 1\mu_1 + 0\mu_2 + 1\mu_3 = 7
 \end{aligned}$$

Problema Dual Asociado:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } W &= 8Y_1 + 19Y_2 + 7Y_3 \\
 \text{s.a. : } &0.1Y_1 + 0.3Y_3 + 0.3Y_3 \leq 50 \\
 &0.3Y_1 + 0.4Y_2 + 0.1Y_3 \leq 25
 \end{aligned}$$

Cuadro 33: Tabla Dual Optima

C_k	Y_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
27.77	Y_2	17	0	1	0	1.11	-3.33
0	Y_3	7	0	0	1	-4.44	3.33
$Z = 1500$			5	0	0	10	40

En este problema se busca adquirir la mayor cantidad de alimento balanceando tal que satisfaga los requerimientos de clorhidratos, calcio y grasas no saturadas al menor costo posible.

Los precios sombra 4 y 5 nos indican que tanto mejoraría nuestro funcional (la cantidad de nutrientes) en caso de que los precios de los alimentos 1 y 2 del primal aumentaran en una unidad respectivamente. por otra parte, el precio sombra 1, indica la mejora que se experimentaría en caso de requerir un kg mas de alimentos ricos en clorhidratos.

Punto 09 - Gem de Vivian

Modelo Programación Lineal

Las variables de decisión son:

- X_1 : Cantidad de joyas tipo 1 producidas.
- X_2 : Cantidad de joyas tipo 2 producidas.

La función objetivo:

$$\text{Max } Z = (10 - 5) \left[\frac{\$}{T_1} \right] X_1 [T_1] + (6 - 4) \left[\frac{\$}{T_2} \right] X_2 [T_2]$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$2X_1 + 1X_2 \leq 30$$

$$4X_1 + 1X_2 \leq 50$$

$$1X_1 + 0X_2 \geq 11$$

$$X_1, X_2 \geq 0$$

Forma estándar:

$$\text{Max } Z = 5X_1 + 2X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 - M\mu_1$$

$$s.a. : 2X_1 + 1X_2 + 1X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0\mu_1 = 30$$

$$4X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 1X_4 + 0X_5 + 0\mu_1 = 50$$

$$1X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 - 1X_5 + 1\mu_1 = 11$$

Cuadro 34: Solución Óptima Primal

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	$-M$ A_6
0	X_3	2	0	0	1	-1	-2	2
2	X_2	6	0	1	0	0	4	-4
5	X_1	11	1	0	0	0	-1	1
$Z = 67$			0	0	0	2	3	$M - 3$

La tabla anterior nos indica que se deben producir 11 joyas del tipo 1 y 6 del tipo 2. El recurso militante en este caso serán los diamantes, sobrando 2 rubíes. Si consiguiéramos un diamante mas nuestra ganancia aumentaría en \$2

46 Diamantes

Modelo Dual:

$$\text{Min } W = 30Y_1 + 50Y_2 + 11Y_3$$

$$s.a. : 2Y_1 + 4Y_2 + 1Y_3 - 1Y_4 + 0Y_5 + 1\mu_1 + 0\mu_2 = 5$$

$$1Y_1 + 1Y_2 + 0Y_3 + 0Y_4 - 1Y_5 + 0\mu_1 + 1\mu_2 = 2$$

$$Y_1, Y_2 \geq 0$$

$$-Y_3 \geq 0$$

Cuadro 35: Tabla Dual Optima

			30	50	11	0	0	M	M
B_k	Y_k	C_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
50	$Y_2(+)$	2	-1	1	0	0	-1	0	1
11	$Y_3(-)$	-3	-2	0	1	1	-4	-1	4
$W = 67$			2	0	0	-11	-6	$11 - M$	$6 - M$

Rango de variación de b_2 :

$$\left. \begin{array}{l} -11 \times (-2) - 1b_2 \leq 0 \\ -11 \times (-4) - 1b_2 \leq 0 \end{array} \right\} b_2 \geq 22 \wedge b_2 \geq 44$$

$$B^{-1} \cdot b_n = b^*$$

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & 2 \\ 0 & 1 & -4 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 30 \\ 46 \\ 11 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 2 \\ 11 \end{bmatrix}$$

Podemos ver que aun con la variación en la cantidad de diamantes, la solución sigue siendo tanto optima como factible, siendo la nueva solución:

Cuadro 36: Nueva solución Optima 01

C_k	X_k	B_k
0	X_3	6
2	X_2	2
5	X_1	11
$Z = 59$		

12 joyas I

Intervalo de variación de c_2

$$\left. \begin{array}{l} 5 \times 0 + c_2 \geq 0 \\ 5 \times (-1) + 4c_2 \geq 0 \end{array} \right\} c_2 \geq 0 \wedge c_2 \geq 1.25$$

$$B^{-1} \cdot c_k = c_k^*$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 5 \\ 1.5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.5 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Cuadro 37: Nueva Solución Óptima 02

C_k	Y_k	B_k
50	Y_2	1.5
30	Y_3	1
$W = 45$		

Podemos ver que la solución nuevamente es tanto óptima como factible, arrojando un resultado de 45 en este caso.

Nueva Joya

Rango de variación de b_3 .

$$\left. \begin{array}{l} -50 - 2b_3 \leq 0 \\ -50 - 4b_3 \leq 0 \end{array} \right\} b_3 \geq -2.5 \wedge b_3 \geq -12.5$$

$$B^{-1} \cdot b_n = b^*$$

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 & 2 \\ 0 & 1 & -4 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 30 \\ 50 \\ 12 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \\ 12 \end{bmatrix}$$

En este caso la solución también sigue siendo óptima y factible, siendo esta:

Cuadro 38: Nueva Solución Óptima 03

C_k	X_k	B_k
0	X_3	4
2	X_2	2
5	X_1	12
$Z = 64$		

Punto 10 - Tour Operador

Modelo Lineal

Variables de decisión:

- X_1 cantidad de turbo reactores a adquirir.
- X_2 cantidad de aviones a hélice a comprar.
- X_3 cantidad de helicópteros a adquirir.

Función Objetivo:

$$\text{Min } Z = 1200 \left[\frac{e}{\text{dia.TR}} \right] X_1 [\text{TR}] + 600 \left[\frac{e}{\text{dia.AH}} \right] X_2 [\text{AH}] + 300 \left[\frac{e}{\text{dia.H}} \right] X_3 [\text{H}]$$

Sujeta a las siguientes restricciones:

$$3 \left[\frac{\text{Mille}}{\text{TR}} \right] X_1 [\text{TR}] + 1 \left[\frac{\text{Mille}}{\text{AH}} \right] X_2 [\text{AH}] + 0.5 \left[\frac{\text{Mille}}{\text{H}} \right] X_3 [\text{H}] \leq 28 [\text{Mille}]$$

$$1X_1 + 1X_2 + 1X_3 \geq 15$$

$$2 \left[\frac{\text{pil}}{\text{TR}} \right] X_1 [\text{TR}] + 1 \left[\frac{\text{pil}}{\text{AH}} \right] X_2 [\text{AH}] + 1 \left[\frac{\text{pil}}{\text{H}} \right] X_3 [\text{H}] \leq 15 [\text{pil}]$$

$$2 \left[\frac{\text{Az}}{\text{TR}} \right] X_1 [\text{TR}] + 1 \left[\frac{\text{Az}}{\text{AH}} \right] X_2 [\text{AH}] \leq 16 [\text{Az}]$$

$$1 \left[\frac{\text{Co}}{\text{AH}} \right] X_2 [\text{AH}] \geq 3 [\text{Co}]$$

$$4000 \left[\frac{\text{Pas}}{\text{mes.TR}} \right] X_1 [\text{TR}] \geq 8000 \left[\frac{\text{Pas}}{\text{mes}} \right]$$

$$300 \left[\frac{\text{Pas}}{\text{mes.AH}} \right] X_2 [\text{AH}] + 100 \left[\frac{\text{Pas}}{\text{mes.H}} \right] X_3 [\text{H}] \geq 500 \left[\frac{\text{Pas}}{\text{mes}} \right]$$

$$X_1, X_2, X_3 \geq 0$$

Forma Estándar:

$$\text{Min } Z = 1200X_1 + 600X_2 + 300X_3 + 0X_4 + 0X_5 + 0X_6 +$$

$$0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + M\mu_1 + M\mu_2 + M\mu_3 + M\mu_4$$

s.a. :

$$3X_1 + 1X_2 + 0.5X_3 + 1X_4 + 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0\mu_1 + 0\mu_2 + 0\mu_3 + 0\mu_4 = 28$$

$$1X_1 + 1X_2 + 1X_3 + 0X_4 - 1X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 1\mu_1 + 0\mu_2 + 0\mu_3 + 0\mu_4 = 15$$

$$2X_1 + 1X_2 + 1X_3 + 0X_4 - 0X_5 + 1X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0\mu_1 + 0\mu_2 + 0\mu_3 + 0\mu_4 = 10$$

$$2X_1 + 1X_2 + 1X_3 + 0X_4 - 0X_5 + 0X_6 + 1X_7 + 0X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0\mu_1 + 0\mu_2 + 0\mu_3 + 0\mu_4 = 16$$

$$0X_1 + 1X_2 + 0X_3 + 0X_4 - 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 - 1X_8 + 0X_9 + 0X_{10} + 0\mu_1 + 1\mu_2 + 0\mu_3 + 0\mu_4 = 4$$

$$4000X_1 + 0X_2 + 0X_3 + 0X_4 - 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 - 1X_9 + 0X_{10} + 0\mu_1 + 0\mu_2 + 1\mu_3 + 0\mu_4 = 8000$$

$$0X_1 + 300X_2 + 100X_3 + 0X_4 - 0X_5 + 0X_6 + 0X_7 + 0X_8 + 0X_9 - 1X_{10} + 0\mu_1 + 0\mu_2 + 0\mu_3 + 1\mu_4 = 500$$

Cuadro 39: Solución .óptima”

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}
0	X_4	17.5	0	0	0	1	-0.05	0.5	0	0.001	0	0	-0.5	-0.001	0	0
0	X_{10}	-7	0	0	0	0	100	-200	0	0.05	1	0	200	-0.05	-1	0
0	X_9	700	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	1	0	0	-1
0	X_7	9	0	0	0	0	0	1	1	0.001	0	0	-1	-0.001	0	0
600	X_2	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1200	X_1	2	1	0	0	0	1	1	0	0.001	0	0	-1	-0.001	0	0
300	X_3	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$Z = 5100$			0	0	0	0	300	-300	0	0.15	0	0	$300 - M$	-0.15	0	0

Se puede apreciar que el modelo resulta in factible...

Interpretación

El costo que se alcanzara sera de 5100 millones de euros. Para llegar a este numero, deberemos comprar 2 turbocompresores, 3 aviones a hélice y 3 helicópteros, consumiendo 10.5 millones del presupuesto asignado. En cuanto al personal, se ha contratado a la cantidad máxima de copilotos y 9 azafatas.

10 pilotos mas

Solucion por Software 2: Análisis de Sensibilidad LINDO

VARIABLE	OBJ COEFFICIENT RANGES		
	CURRENT	ALLOWABLE	ALLOWABLE
	COEF	INCREASE	DECREASE
X1	1200.000000	INFINITY	899.999939
X2	600.000000	INFINITY	300.000000
X3	300.000000	300.000000	300.000000
ROW	RIGHTHAND SIDE RANGES		
	CURRENT	ALLOWABLE	ALLOWABLE
	RHS	INCREASE	DECREASE
2	28.000000	INFINITY	17.500000
3	8.000000	0.000000	3.000000
4	10.000000	INFINITY	0.000000
5	16.000000	INFINITY	9.000000
6	3.000000	3.000000	3.000000
7	8000.000000	0.000000	7999.999512
8	500.000000	700.000000	INFINITY

En este caso, al ser una variable no básica la solución no se modifica.

Mínimo 14 artefactos

Debido a que el rango de variación de los .artefactos.^{es} de $[5, 18]$, comprar 14 no nos afecta.

Punto 11 - David, Diana y Lidia

Solución e Interpretación

$$MaxZ = 300 \left[\frac{\$}{Pe} \right] X_1 [Pe] + 200 \left[\frac{\$}{Pa} \right] X_2 [Pa]$$

$$\begin{aligned} 6 \left[\frac{e}{Pe} \right] X_1 [Pe] + 4 \left[\frac{e}{Pa} \right] X_2 [Pa] &\leq 40 [e] \\ 8 \left[\frac{l}{Pe} \right] X_1 [Pe] + 4 \left[\frac{l}{Pa} \right] X_2 [Pa] &\leq 40 [l] \\ 3 \left[\frac{en}{Pe} \right] X_1 [Pe] + 3 \left[\frac{en}{Pa} \right] X_2 [Pa] &\leq 20 [en] \end{aligned}$$

Cuadro 40: Solución Optima

C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
0	X_3	6.67	0	0	1	-0.5	-0.67
300	X_1	3.33	1	0	0	0.25	-0.33
200	X_2	3.33	0	1	0	-0.25	0.67
$Z = 1666,67$			0	0	0	25	33.33

La tabla anterior nos indica que debemos producir 3 y un tercio de relojes de cada tipo, para obtener una ganancia total de \$1667 aproximadamente. En este caso, el recurso limitante resultan ser las horas de ensamblaje.

Cambio en ganancia Pedestal

La solución sigue siendo optima, obteniendo una ganancia de \$1914,75.

Cuadro 41: Nueva Solución Optima

						A_4	A_5
0	X_3	6.67	0	0	1	-0.5	-0.67
375	X_1	3.33	1	0	0	0.25	-0.33
200	X_2	3.33	0	1	0	-0.25	0.67
$Z = 1914,75$			0	0	0	43.75	10.25

Y ademas el de pared

En este caso, sin embargo, no podemos decir lo mismo en este caso.

Cuadro 42: Nueva solución NO optima

	C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
	0	X_3	6.67	0	0	1	-0.5	-0.67
	375	X_1	3.33	1	0	0	0.25	-0.33
←	175	$\mathbf{X_2}$	3.33	0	1	0	-0.25	0.67
	$Z = 1831,5$			0	0	0	50	-6.5

↑

Mas trabajo

Según los precios sombra y costos reducidos, sabemos que:

- 1 hora extra de David produce \$0 extra de ganancia
- 1 hora extra de Daiana produce \$25 extra de ganancia
- 1 hora extra de Lidia produce \$33.33 extra de ganancia

Por lo tanto, resulta mas beneficioso que sea Lidia quien trabaje una hora extra.

Lidia, Lidia

En este caso, el aumento de horas de Lidia resulta valido (la solución sigue siendo factible) mejorando nuestra ganancia en \$166.66

$$B^{-1} \cdot b_n = b^*$$

$$\begin{bmatrix} 1 & -0.5 & -0.67 \\ 0 & 0.25 & -0.33 \\ 0 & -0.25 & 0.67 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 40 \\ 40 \\ 25 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.25 \\ 1.68 \\ 6.68 \end{bmatrix}$$

Punto 12 - Laboratorio

Plan de Producción

La función objetivo es:

$$\text{Max } Z = 10 \left[\frac{\$}{u1} \right] X_1 [u1] + 20 \left[\frac{\$}{u2} \right] X_2 [u2] + 40 \left[\frac{\$}{u3} \right] X_3 [u3] + 32 \left[\frac{\$}{u4} \right] X_4 [u4]$$

Sujeta a:

$$10 \left[\frac{m^2}{u1} \right] X_1 [u1] + 30 \left[\frac{m^2}{u2} \right] X_2 [u2] + 80 \left[\frac{m^2}{u3} \right] X_3 [u3] + 42 \left[\frac{m^2}{u4} \right] X_4 [u4] \leq 900 [m^2]$$

$$2 \left[\frac{T}{u1} \right] X_1 [u1] + 1 \left[\frac{T}{u2} \right] X_2 [u2] + 1 \left[\frac{T}{u3} \right] X_3 [u3] + 3 \left[\frac{T}{u4} \right] X_4 [u4] \leq 80 [T]$$

Cuadro 43: Solución Óptima

			2	-1	3	0	0	-M	-M
C_k	X_k	B_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
2	X_1	1	1	-1	0	0	-1	1	0
0	X_4	2	0	3	0	1	0	1	-1
3	X_3	2	0	2	1	0	1	0	0
$Z = 8$			0	5	0	0	1	$M + 2$	M

Informe

Para poder maximizar nuestras ganancias debemos producir 20 unidades del producto 4 y 10 unidades del producto 1, produciendo 0 unidades tanto del segundo como tercer producto. De esta manera alcanzamos un beneficio de \$740 consumiendo la totalidad de los recursos.

Mas almacén

$$B^{-1} \cdot b_n = b^*$$

$$\begin{bmatrix} 0.04 & -0.20 \\ -0.06 & 0.80 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1050 \\ 80 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 26 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Por lo que se ve anteriormente, la solución continua siendo factible.

Cuadro 44: Nueva Solución Óptima

B_k	Y_k	C_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0	Y_2	-1	0	1	0	1	0	-1
0	Y_3	2	-1	0	1	-1	0	0
3	Y_6	-5	-3	0	0	1	1	-2
$W = 8$			-2	0	0	-1	0	-2

Obtenemos una ganancia final de \$842, siendo la diferencia con el plan anterior de \$102, lo que se traduce en un beneficio final de \$32, por lo que resulta beneficioso la contratación del espacio extra.

Nuevo Producto

$$A^* = B^{-1} \cdot A_7$$

$$\begin{bmatrix} 0.04 & -0.20 \\ -0.06 & 0.8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 20 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4 \\ 0.4 \end{bmatrix}$$

La solución nueva sigue siendo tanto óptima como factible, sin embargo, el renglón \emptyset para el nuevo producto es mayor a 0, por lo que al tratarse de un problema de maximización nos indica la no conveniencia de la actividad que representa al mismo

Punto 13 - Gran M...

Cuadro 45: Tabla Primal Óptima

C_k	X_k	B_k	2	-1	3	0	0	$-M$	$-M$
			A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
2	X_1	1	1	-1	0	0	-1	1	0
0	X_4	2	0	3	0	1	0	1	-1
3	X_3	2	0	2	1	0	1	0	0
$Z = 8$			0	5	0	0	1	$M + 2$	M

Cuadro 46: Tabla Dual Optima

B_k	Y_k	C_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
0	Y_2	-1	0	1	0	1	0	-1
0	Y_3	2	-1	0	1	-1	0	0
3	Y_6	-5	-3	0	0	1	1	-2
$W = 8$			-2	0	0	-1	0	-2

El rango de variación (o intervalo de sensibilidad) para c_3 es $[2, \infty]$; por lo que modificar su valor a 4 no afecta la composición de la solución optima pero si su valor. En cuanto a b_3 , su intervalo de sensibilidad es $[\infty, 3]$; por lo que también se halla dentro del mismo el nuevo valor. Sin embargo la nueva restricción resulta redundante, por lo que no nos es posible evaluar la misma.