Relación de problemas de clase de programación lineal entera

Simplex y lineal entera

a) Resuelve el siguiente problema con variables continuas positivas utilizando el método simplex a partir del vértice inicial $(x, y) = (0, 0)$

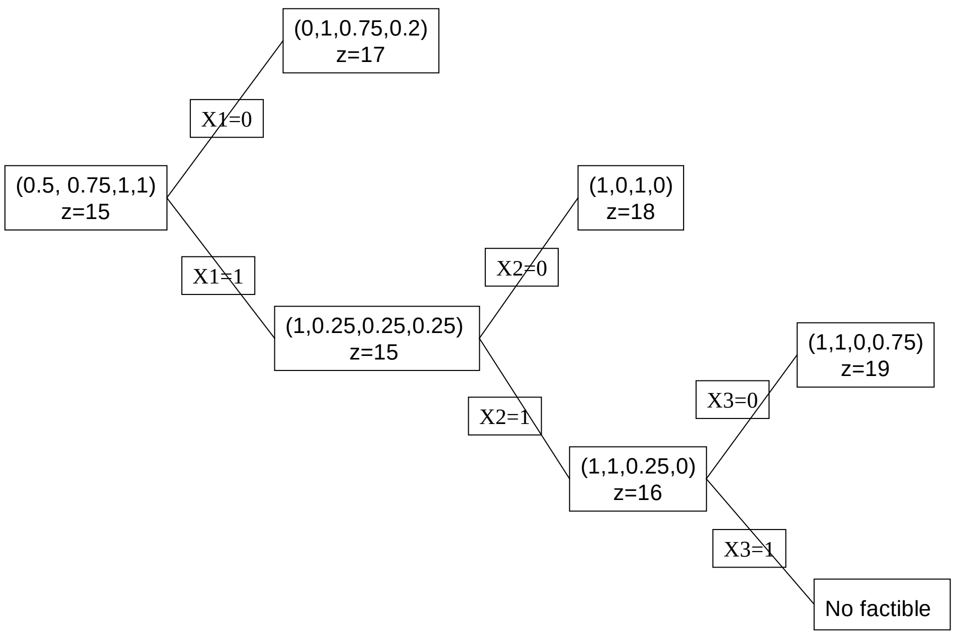
$$\max x + y$$
$$s.a.: -x + 2y \leq 8$$
$$2x + y \leq 12$$
$$x, y \geq 0$$

b) Partiendo de la solución óptima del problema anterior aplicar el método de ramificación y corte para obtener la solución siendo ambas variables enteras. Dibuja el árbol de ramificación obtenido.

c) Dibuja sobre la región factible los cortes realizados por el método en el apartado anterior hasta llegar al óptimo entero. Dibuja igualmente el el árbol de ramificación y corte completo del problema.

Problema 4

Dado el siguiente árbol incompleto de soluciones obtenido en un paso intermedio al resolver, mediante ramificación y acotamiento, un problema de programación lineal entera de minimización en que todas las variables son binarias, decir qué ramas se descarta seguir explorando y por qué, además de decir cuál es el mínimo valor que se puede obtener en el problema llegados a este punto y por qué.



RELACIÓN DE PROBLEMAS ADICIONALES DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA

PROBLEMA 2 APARTADO 1

Resolver el siguiente problema mediante el método de ramificación y acotamiento:

$$\begin{aligned}
&\max 18x_1 + 14x_2 + 8x_3 + 4x_4 \\
&\textit{sujeto a}: \\
&15x_1 + 12x_2 + 7x_3 + 4x_4 + x_5 \leq 37 \\
&x_j \in \{0,1\}\ j = 1,\ldots,5
\end{aligned}$$

PROBLEMA 1 APARTADO 3

Resolver gráficamente aplicando el método de ramificación y corte el siguiente problema:

$$\begin{aligned}
&max\ \ x_1 + x_2 \\
&sujeto\ a: \\
&\quad 2x_1 + 5x_2 \leq 16 \\
&\quad 6x_1 + 5x_2 \leq 27 \\
&\quad x_1, x_2 \in Z^+
\end{aligned}$$

SOLUCIÓN. SIMPLEX Y LINEAL ENTERA

a) Resuelve el siguiente problema con variables continuas positivas utilizando el método simplex a partir del vértice inicial $(x, y) = (0, 0)$

La formulación estándar de este problema sigue a continuación:

$$\begin{aligned} &\max x + y \\ &s.a.: -x + 2y + h_1 \qquad = 8 \\ &\qquad 2x + y \qquad + h_2 = 12 \\ &\qquad x, y \geq 0 \end{aligned}$$

La tabla simplex asociada a la formulación estándar iniciando en el punto (0, 0) resulta:

	x	y	h_1	h_2	Cotas
$-z$	1	1	0	0	
h_1	-1	2	1	0	8
h_2	2	1	0	1	12

Se escoje la variable x como variable entrante (podría haberse escogido la variable y) y se saca la variable h_2 resultando la siguiente tabla:

	x	y	h_1	h_2	Cotas	Relación
$-z$	0	$1/2$	0	$-1/2$	-6	
h_1	0	$5/2$	1	$1/2$	14	$28/5$
x	1	$1/2$	0	$1/2$	6	12

Se escoje la variable y como variable entrante y se saca la variable h_1 resultando la siguiente tabla:

	x	y	h_1	h_2	Cotas
$-z$	0	0	$-1/5$	$-3/5$	$-44/5$
y	0	1	$2/5$	$1/5$	$28/5$
x	1	0	$-1/5$	$2/5$	$16/5$

Esta tabla resulta óptima ya que todos los costes reducidos son negativos. La solución óptima es $(x,y)=\left(16/5, 28/5\right)$ y la función objetivo evidentemente adquiere el valor de la suma de las dos variables.

b) Partiendo de la solución óptima del problema anterior aplicar el método de ramificación y corte para obtener la solución siendo ambas variables enteras.

Ambas variables toman valor no entero en la solución óptima por lo tanto el valor que toma la función objetivo en el apartado anterior resulta una cota superior de la función objetivo para la solución entera óptima.

Escogiendo la variable x para ramificar se añade al problema anterior bien la restricción $x \leq 3$ o bien $x \geq 4$.

Añadiendo la restricción $x \leq 3$, dicha restricción se expresa como $x + h_3 = 3$ e introduciendo dicha restricción sobre la tabla final del apartado anterior resulta la tabla siguiente:

	x	y	h_1	h_2	h_3	Cotas
$-z$	0	0	$-1/5$	$-3/5$	0	$-44/5$
y	0	1	$2/5$	$1/5$	0	$28/5$
x	1	0	$-1/5$	$2/5$	0	$16/5$
h_3	1	0	0	0	1	3

Expresando en forma estándar la tabla resulta:

	x	y	h_1	h_2	h_3	Cotas
$-z$	0	0	$-1/5$	$-3/5$	0	$-44/5$
y	0	1	$2/5$	$1/5$	0	$28/5$
x	1	0	$-1/5$	$2/5$	0	$16/5$
h_3	0	0	$1/5$	$-2/5$	1	$-1/5$
Relación				$3/2$		

Se aplica el método simplex dual saliendo la variable h_3 y entra la variable h_2, la tabla resultante es la siguiente:

	x	y	h_1	h_2	h_3	Cotas
$-z$	0	0	$-1/2$	0	$-3/2$	$-85/10$
y	0	1	$1/2$	0	$1/2$	$55/10$
x	1	0	0	0	1	3
h_2	0	0	$-1/2$	1	$-5/2$	$1/2$

La solución obtenida sigue sin ser entera en la variable y.

Añadiendo la restricción $x \geq 4$, dicha restricción se expresa como $x - e_3 = 4$ e introduciendo dicha restricción sobre la tabla final del apartado anterior resulta la tabla siguiente:

	x	y	h_1	h_2	e_3	Cotas
$-z$	0	0	$-1/5$	$-3/5$	0	$-44/5$
y	0	1	$2/5$	$1/5$	0	$28/5$
x	1	0	$-1/5$	$2/5$	0	$16/5$
e_3	1	0	0	0	-1	4

Expresando la tabla anterior en forma estándar se tiene la tabla siguiente:

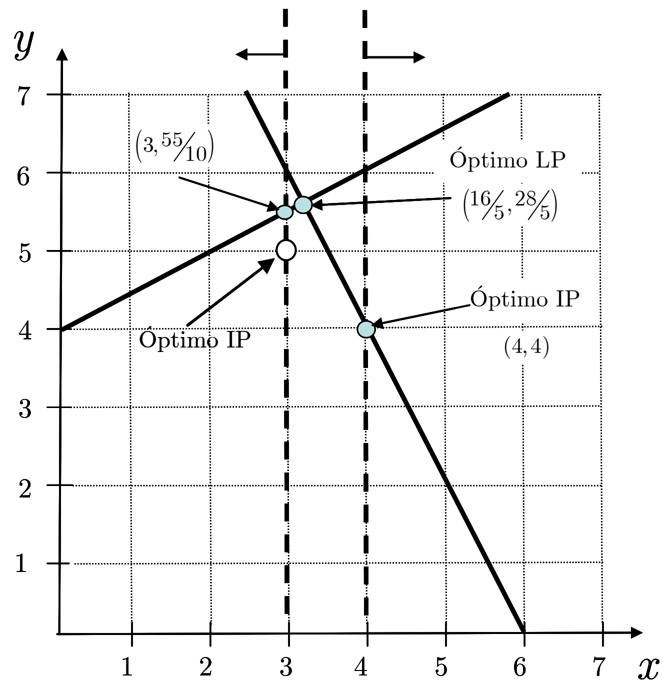
	x	y	h_1	h_2	e_3	Cotas
$-z$	0	0	$-1/5$	$-3/5$	0	$-44/5$
y	0	1	$2/5$	$1/5$	0	$28/5$
x	1	0	$-1/5$	$2/5$	0	$16/5$
e_3	0	0	$-1/5$	$2/5$	1	$-4/5$
Relación			1			

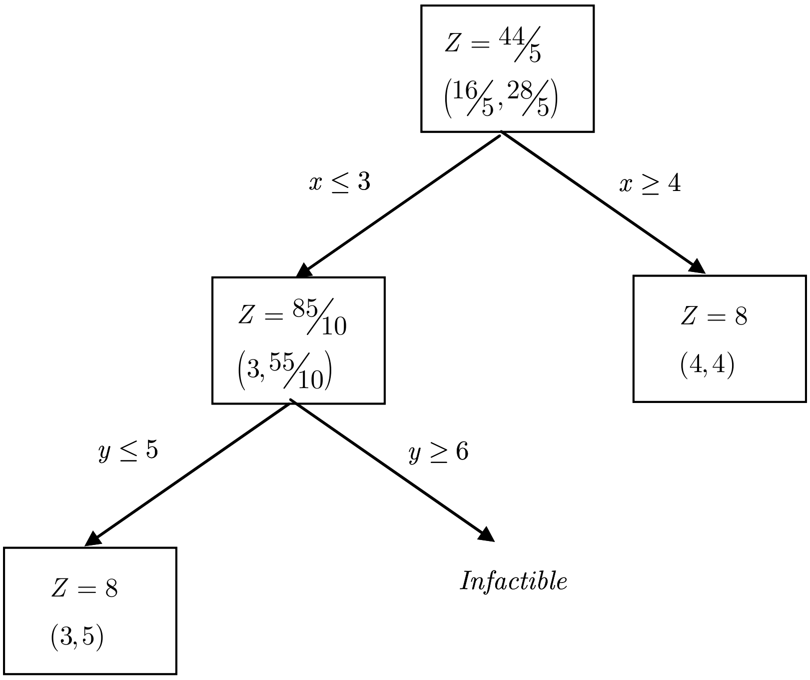
Se aplica el método simplex dual saliendo la variable e_3 y entra la variable h_1, la tabla resultante es la siguiente:

	x	y	h_1	h_2	e_3	Cotas
$-z$	0	0	0	-1	-1	8
y	0	1	0	1	2	4
x	1	0	0	0	-1	4
h_1	0	0	1	-2	-5	4

La solución alcanzada $(x,y)=(4,4)$ es entera y la función objetivo vale por tanto 8. Esta solución es **óptima** debido a que la función objetivo al tomar valores enteros ($\max x+y$), la otra rama no se sigue ramificando porque no alcanza un valor superior a 9 y por lo tanto lo más que puede alcanzarse al ramificar es otra solución óptima que alcance el valor 8 en la función objetivo tal y como ocurre con la solución $(x,y)=(3,5)$ y como se ve en el apartado siguiente.

c) Dibuja sobre la región factible los cortes realizados por el método en el apartado anterior hasta llegar al óptimo entero. Dibuja igualmente el el árbol de ramificación y corte completo del problema.




$Z = 44/5$
$(16/5, 28/5)$
$x \leq 3$
$x \geq 4$
$Z = 85/10$
$(3, 55/10)$
$Z = 8$
$(4,4)$
$y \leq 5$
$y \geq 6$
$Z = 8$
$(3,5)$
Infactible

SOLUCIÓN. PROBLEMA 4

Nodos sin explorar o ramificar:

No factible: se poda ya que no hay solución factible

z=18: solución entera, luego z*=18

z=19: se poda ya que aunque no es entera, es peor que la mejor encontrada hasta el momento (minimización)

z=17: no es entera, la cota es mejor que la de la solución entera mejor encontrada hasta el momento, es factible: no se puede podar, hay que seguir ramificando.

Resto de nodos ya están explorados.

La mejor solución por el momento es z=18, pero podría llegar a ser 17 explorando el nodo que aún queda activo.

SOLUCIÓN. PROBLEMA 2 APARTADO 1

Se resuelve el problema relajado considerando que las variables binarias son positivas y tienen asociada una restricción de menor o igual a la unidad. La tabla inicial simplex corresponde al siguiente problema:

$$\max 18\,x_1 + 14\,x_2 + 8\,x_3 + 4\,x_4$$

$$sujeto\,a:$$

$$15\,x_1 + 12\,x_2 + 7\,x_3 + 4\,x_4 + x_5 + h_1 = 37$$

$$x_1 + h_2 = 1$$

$$x_2 + h_3 = 1$$

$$x_3 + h_4 = 1$$

$$x_4 + h_5 = 1$$

$$x_5 + h_6 = 1$$

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Cotas	Relación
-Z	18	14	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
h_1	15	12	7	4	1	1	0	0	0	0	0	37	37/15
h_2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1/1
h_3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	-
h_4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-
h_5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	-
h_6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	-

Esta tabla está en formato estándar y por lo tanto se escoge como variable entrante en la base la variable x_1 debido a que su coste reducido es el mayor de todos. La variable que sale es h_2. A continuación se muestra la tabla con la base actualizada.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Cotas	Relación
-Z	0	14	8	4	0	0	-18	0	0	0	0	-18	
h_1	0	12	7	4	1	1	-15	0	0	0	0	22	22/12
x_1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-
h_3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1/1
h_4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-
h_5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	-

h_6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	-

Entra la variable x_2 y sale h_3 resultando la siguiente tabla con la base actualizada.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Cotas	Relación
-Z	0	0	8	4	0	0	-18	-14	0	0	0	-32	
h_1	0	0	7	4	1	1	-15	-12	0	0	0	10	10/7
x_1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-
x_2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	-
h_4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1/1
h_5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	-
h_6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	-

Entra la variable x_3 y sale h_4 resultando la siguiente tabla con la base actualizada.

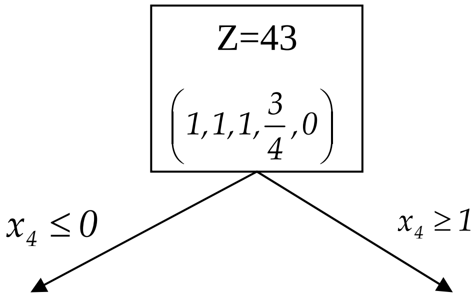
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Cotas	Relación
-Z	0	0	0	4	0	0	-18	-14	-8	0	0	-40	
h_1	0	0	0	4	1	1	-15	-12	-7	0	0	3	3/4
x_1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-
x_2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	-
x_3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-
h_5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1/1
h_6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	-

Entra la variable x_4 y sale h_1 resultando la siguiente tabla con la base actualizada.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Cotas	Relación
-Z	0	0	0	0	-1	-1	-3	-2	-1	0	0	-43	
x_4	0	0	0	1	1/4	1/4	-15/4	-3	-7/4	0	0	3/4	-
x_1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	-
x_2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	-
x_3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	-
h_5	0	0	0	0	-1/4	-1/4	15/4	3	7/4	1	0	1/4	-
h_6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	-

La solución óptima relajada resulta ser $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \left(1,1,1,\frac{3}{4},0\right)$ con una cota superior de la función objetivo de 43.

Al presentar una de las variables binarias (x_4) un valor no entero, se ramifica el problema añadiendo las restricciones correspondientes.



Si se añade la restricción $x_4 \leq 0$, ésta se convierte en $x_4 + h_7 = 0$, obteniéndose una solución básica no factible tal y como se indica en la tabla siguiente al expresar dicha tabla en su forma estándar.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	Cotas
-Z	0	0	0	0	-1	-1	-3	-2	-1	0	0	0	-43
x_4	0	0	0	1	1/4	1/4	-15/4	-3	-7/4	0	0	0	3/4
x_1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
x_2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
x_3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
h_5	0	0	0	0	-1/4	-1/4	15/4	3	7/4	1	0	0	1/4
h_6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
h_7	0	0	0	0	-1/4	-1/4	15/4	3	7/4	0	0	1	- 3/4
Relación					4	4							

Aplicando el procedimiento del simplex dual, la variable h_7 sale de la base y la variable x_5 entra en la base (podría haberse escogido la variable h_1). Se obtiene la tabla siguiente:

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	Cotas
-Z	0	0	0	0	0	0	-18	-14	-8	0	0	-4	-40
x_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
x_1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
x_2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
x_3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
h_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1
h_6	0	0	0	0	0	-1	15	12	7	0	1	4	-2
x_5	0	0	0	0	1	1	-15	-12	-7	0	0	-4	3
Relación						0							

La variable h_6 sale de la base y la variable h_1 entra en la base resultando la tabla siguiente:

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	Cotas
-Z	0	0	0	0	0	0	-18	-14	-8	0	0	-4	-40
x_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
x_1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
x_2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
x_3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
h_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1
h_1	0	0	0	0	0	1	-15	-12	-7	0	-1	-4	2
x_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1

La solución obtenida es factible ya que todas las variables toman valores enteros y el valor de la función objetivo es 40, que pasa a ser una cota inferior para el valor óptimo.

$$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (1,1,1,0,1)$$

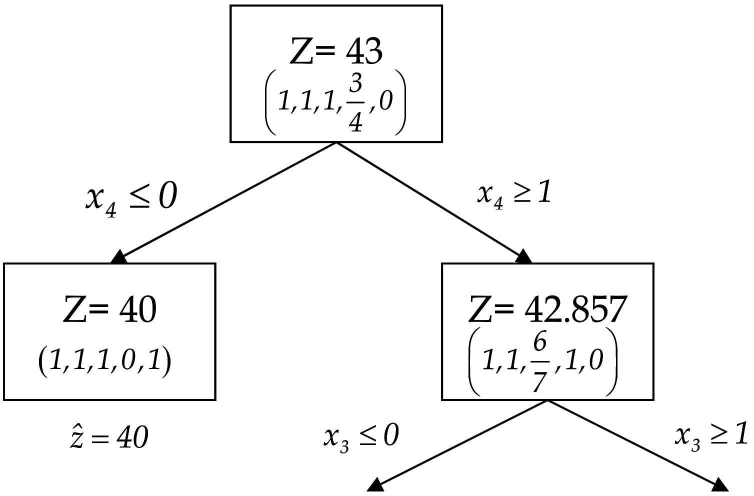
La otra rama que parte del problema relajado consiste en añadir la restricción $x_4 \geq 1$, ésta se convierte en $x_4 - h_8 = 1$, obteniéndose una solución básica no factible tal y como se indica en la tabla siguiente al expresarse en su forma estándar.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_8	Cotas
-Z	0	0	0	0	-1	-1	-3	-2	-1	0	0	0	-43
x_4	0	0	0	1	1/4	1/4	-15/4	-3	-7/4	0	0	0	3/4
x_1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
x_2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
x_3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
h_5	0	0	0	0	-1/4	-1/4	15/4	3	7/4	1	0	0	1/4
h_6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
h_8	0	0	0	0	1/4	1/4	-15/4	-3	-7/4	0	0	1	-1/4
Relación							12/15	2/3	4/7				

Sale de la base la variable h_8 y entra la variable h_4 ya que es la que menor relación adquiere.

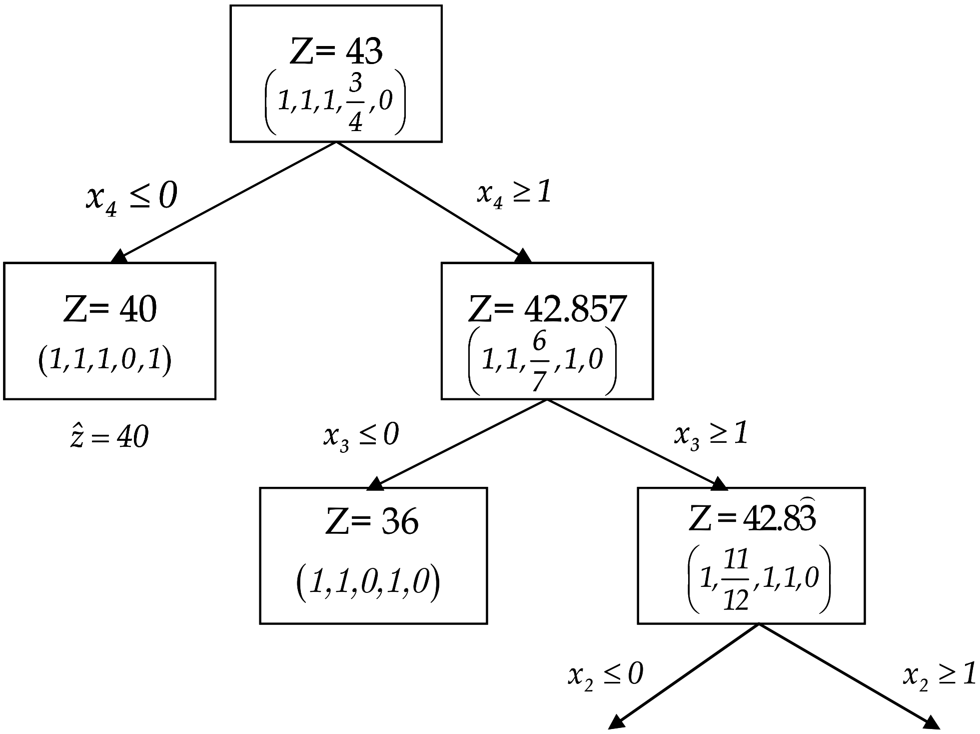
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_8	Cotas
-Z	0	0	0	0	-8/7	-8/7	-6/7	-2/7	0	0	0	-4/7	-300/7
x_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
x_1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
x_2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
x_3	0	0	1	0	1/7	1/7	-15/7	-12/7	0	0	0	4/7	6/7
h_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
h_6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
h_4	0	0	0	0	-1/7	-1/7	15/7	12/7	1	0	0	-4/7	1/7

La solución óptima con la restricción incorporada es $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \left(1, 1, \frac{6}{7}, 1, 0\right)$ con $z = 42.857$. La solución no se puede descartar, pues el valor objetivo no es inferior a la cota actual (40). Como x_3 no presenta un valor entero es necesario ramificar nuevamente.



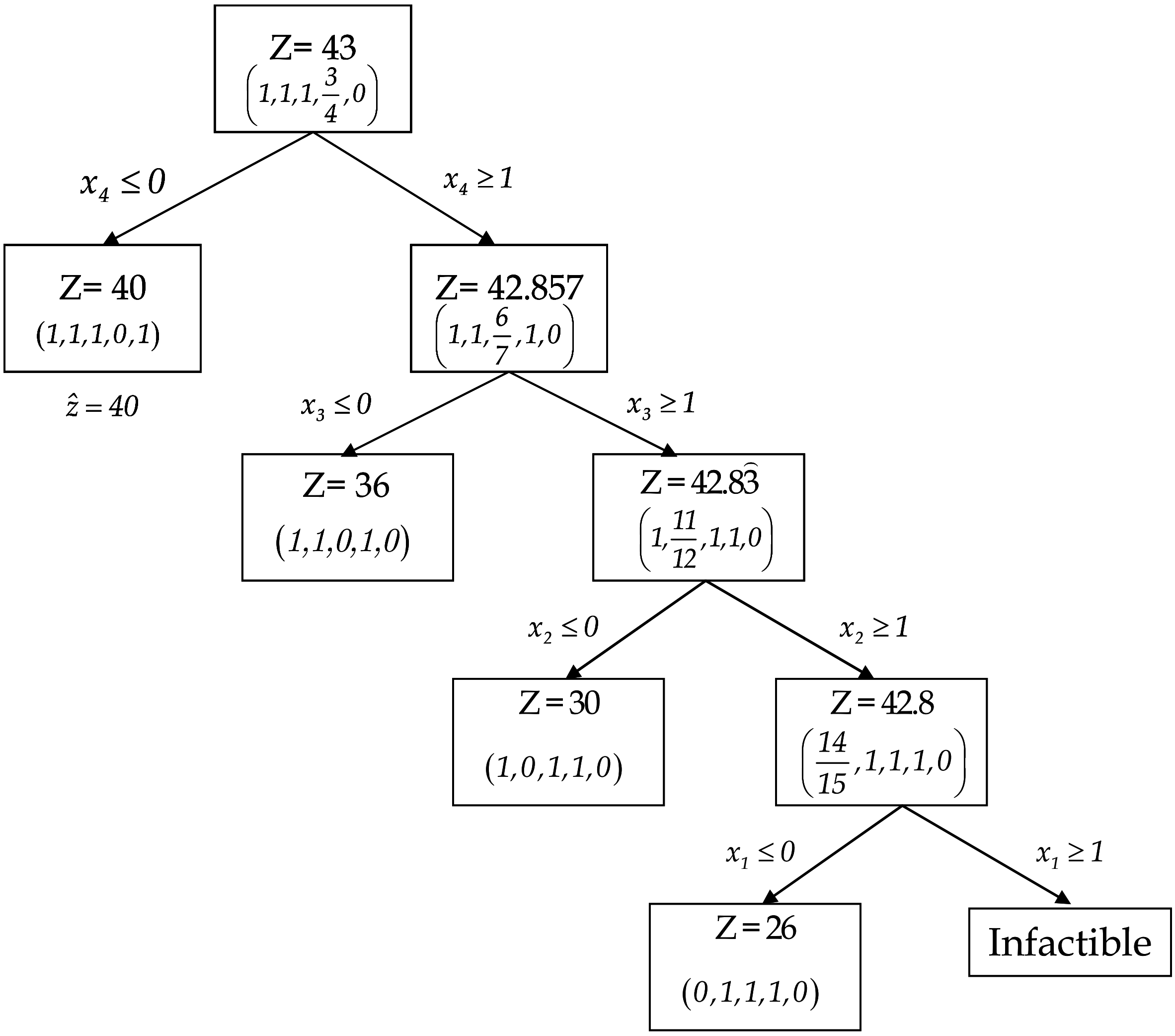
Añadiendo la restricción $x_3 \leq 0$ se obtiene la solución $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (1,1,0,1,0)$ con un valor de la función objetivo de 36 y se descarta esta solución por ser inferior a 40.

Si se añade $x_3 \geq 1$ se obtiene la solución $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \left(1, \frac{11}{12}, 1, 1, 0\right)$ con un valor de la función objetivo de 42.83 y por lo tanto se puede seguir ramificando el árbol tal y como se indica a continuación:



Añadiendo la restricción $x_2 \leq 0$ se obtiene la solución $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (1,0,1,1,0)$ con un valor de la función objetivo de 30 y se descarta esta solución por ser inferior a la cota inferior.

Si se añade $x_2 \geq 1$ se obtiene la solución $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \left(\frac{14}{15}, 1, 1, 1, 0\right)$ con un valor de la función objetivo de 42.8 (no se descarta) y por lo tanto se puede seguir ramificando el árbol tal y como se indica a continuación:



Añadiendo la restricción $x_1 \leq 0$ se obtiene la solución $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (0, 1, 1, 1, 0)$ con un valor de la función objetivo de 26 y se descarta esta solución por ser inferior a la cota inferior.

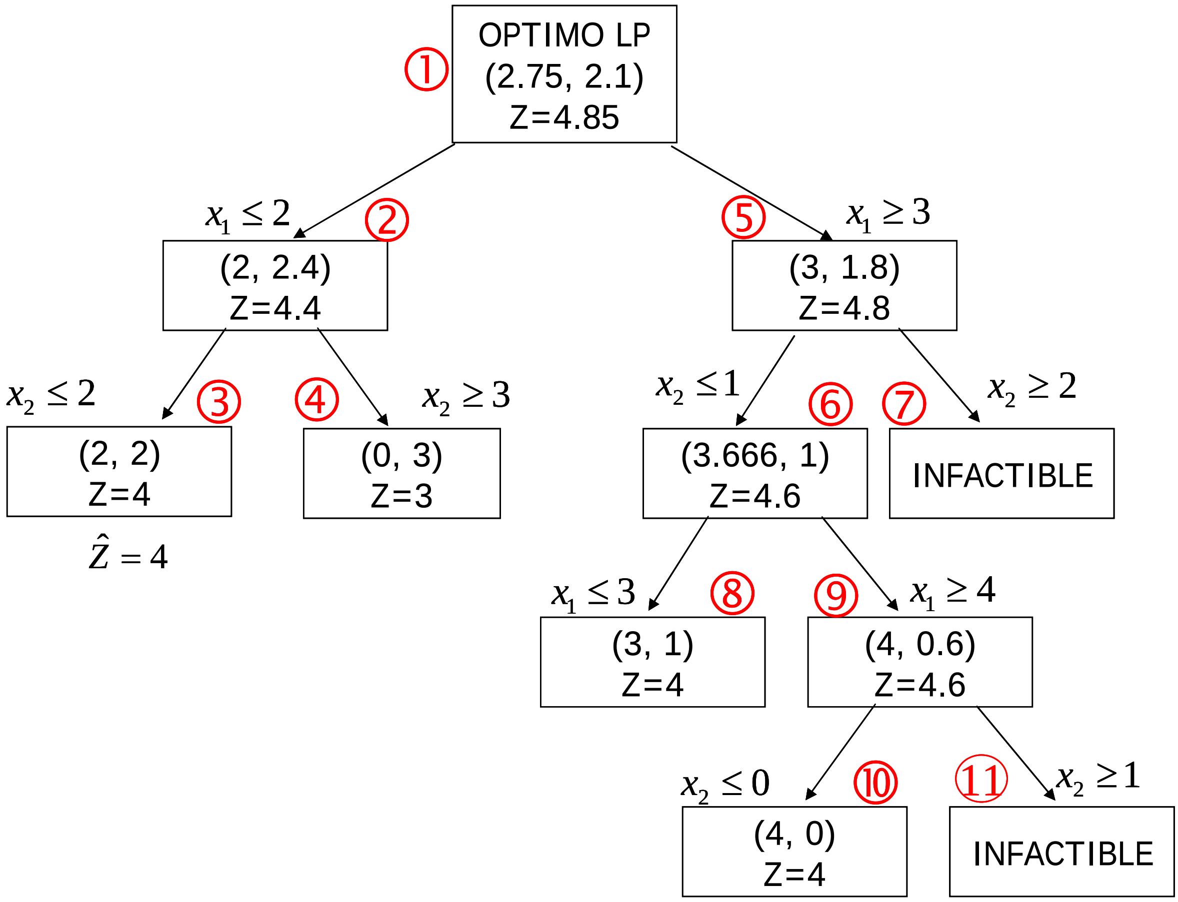
Si se añade $x_1 \geq 1$ se obtiene una solución <u>infactible.</u>

Por lo tanto la solución óptima consiste en la solución entera inicialmente encontrada:

$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (1, 1, 1, 0, 1)$ con valor de la función objetivo 40. Este problema tiene otra solución igualmente óptima $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = (1, 1, 1, 0, 0)$.

SOLUCIÓN. PROBLEMA 1 APARTADO 3

El árbol de ramificación y corte es el siguiente:

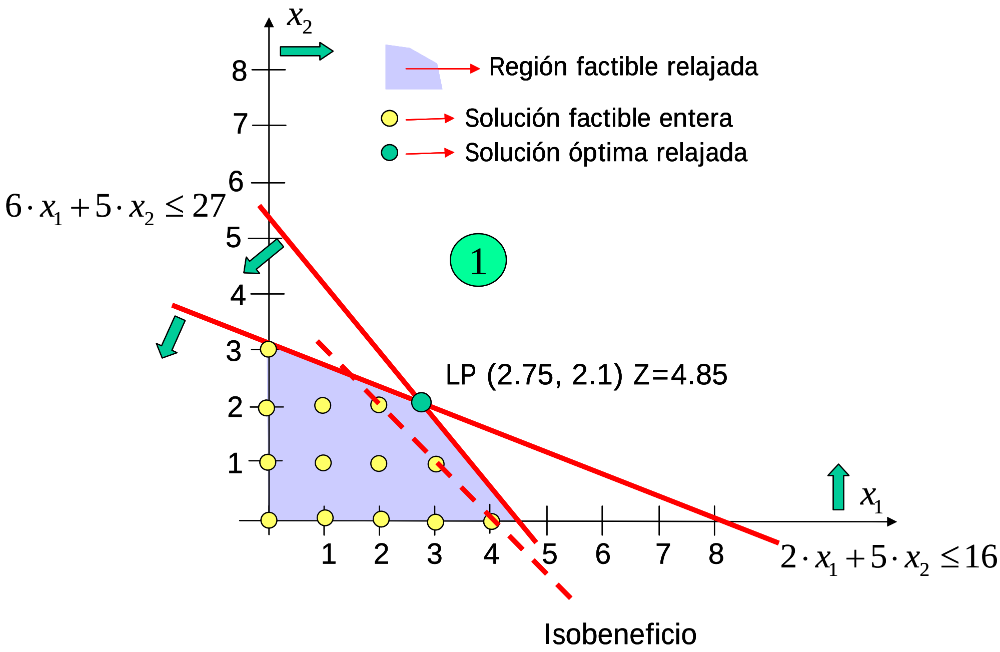


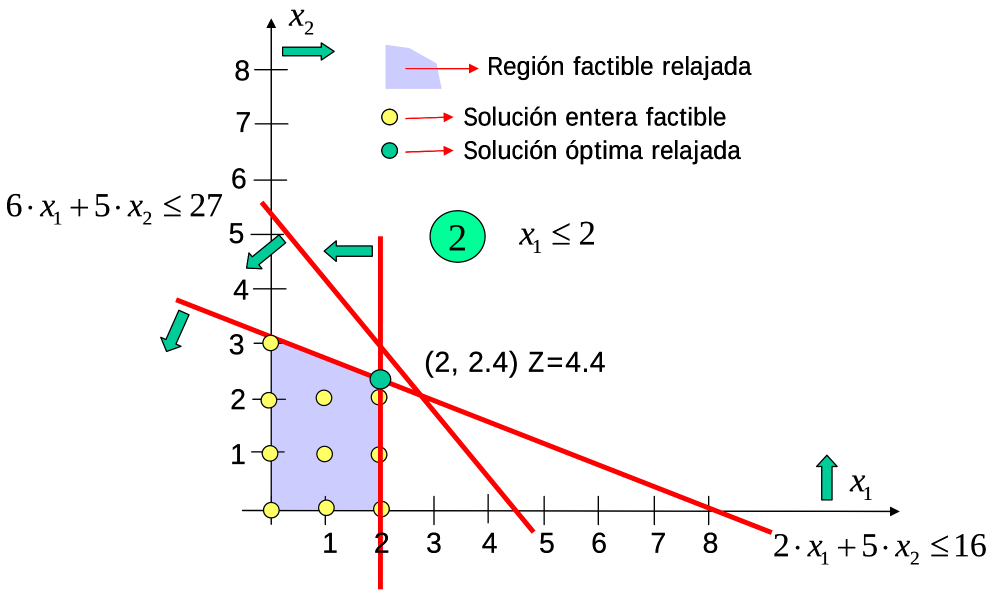
Se resuelven los nodos del árbol según el orden establecido por el número enmarcado en el círculo. Siguiendo dicha ordenación el primer nodo que obtiene una solución entera factible es el nudo 3. Por lo tanto, la cota inferior $\hat{z}$ del problema de maximización resulta ser 4. Al ser el valor de la función objetivo en el nodo 4 un valor entero inferior a $\hat{z}$ dicho nodo es una solución factible pero no óptima.

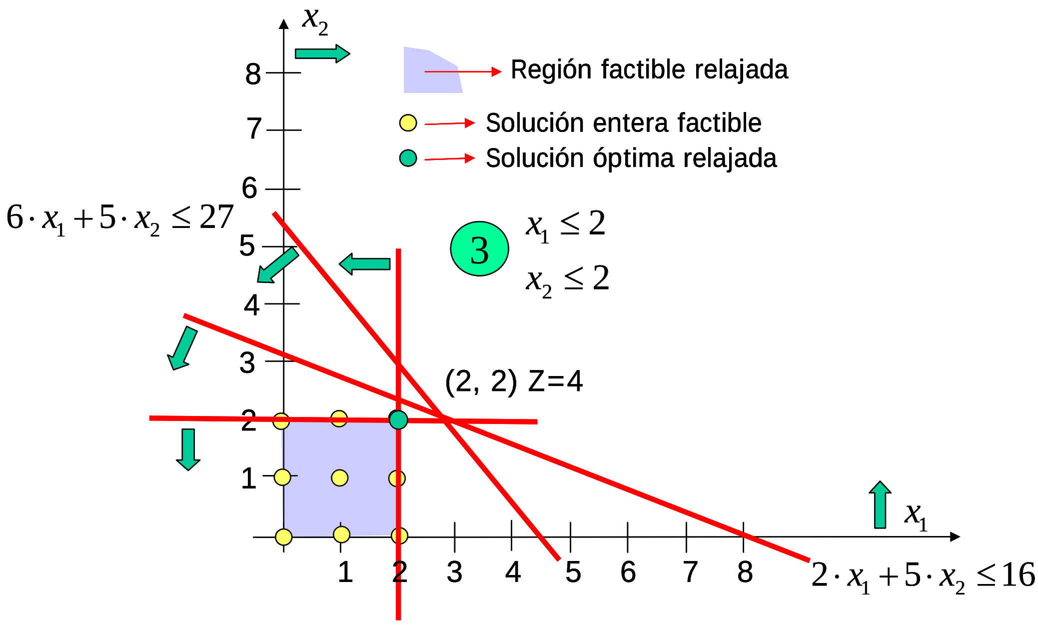
La función objetivo al tener sólo variables enteras y también al ser sus coeficientes valores enteros la solución óptima del problema resultará ser un valor entero. Teniento en cuenta este hecho el nodo 5 obtiene una función objetivo superior a la cota inferior pero la parte entera de dicha solución es igual a 4. Por lo tanto las ramas que salgan del nodo 5 pueden ser podadas ya que como máximo pueden alcanzar el valor 4.

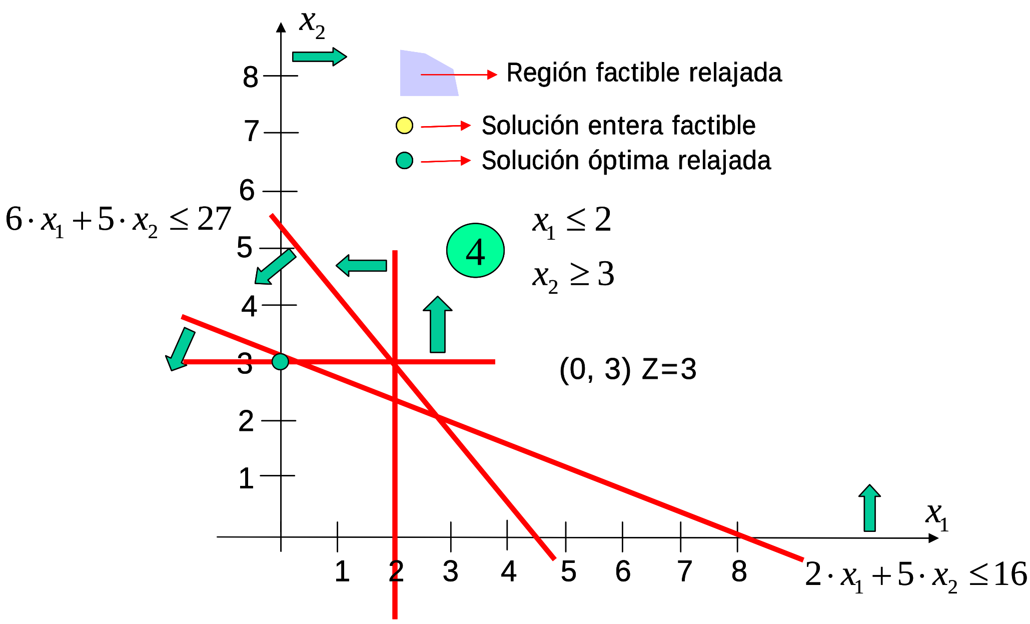
No obstante el árbol está desarrollado completamente para comprobar que existen tres soluciones óptimas que obtienen el mismo valor de la función objetivo, es decir, 4. Las soluciones son por orden de aparición: (2,2), (3,1) y (4,0).

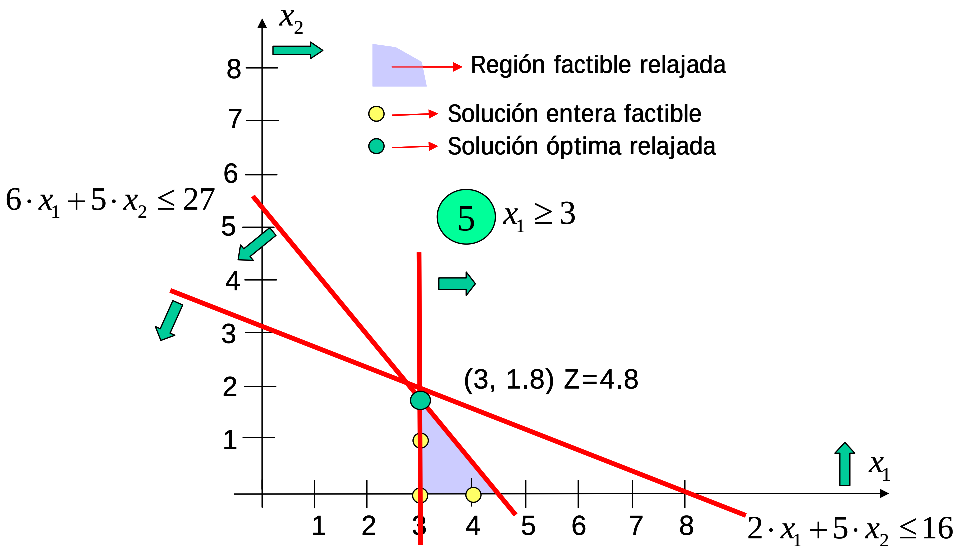
A continuación se muestra la resolución gráfica de cada uno de los nodos del árbol :

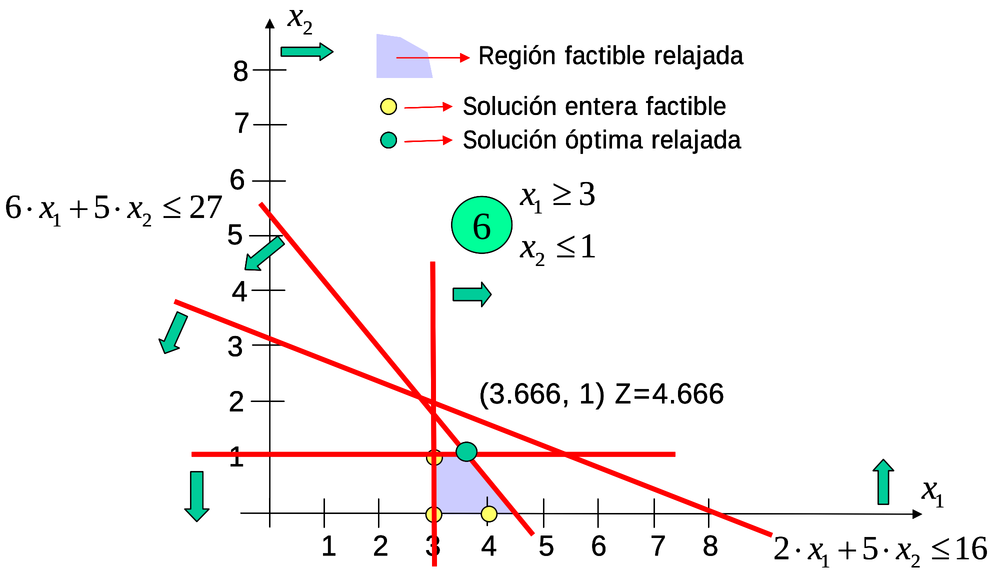


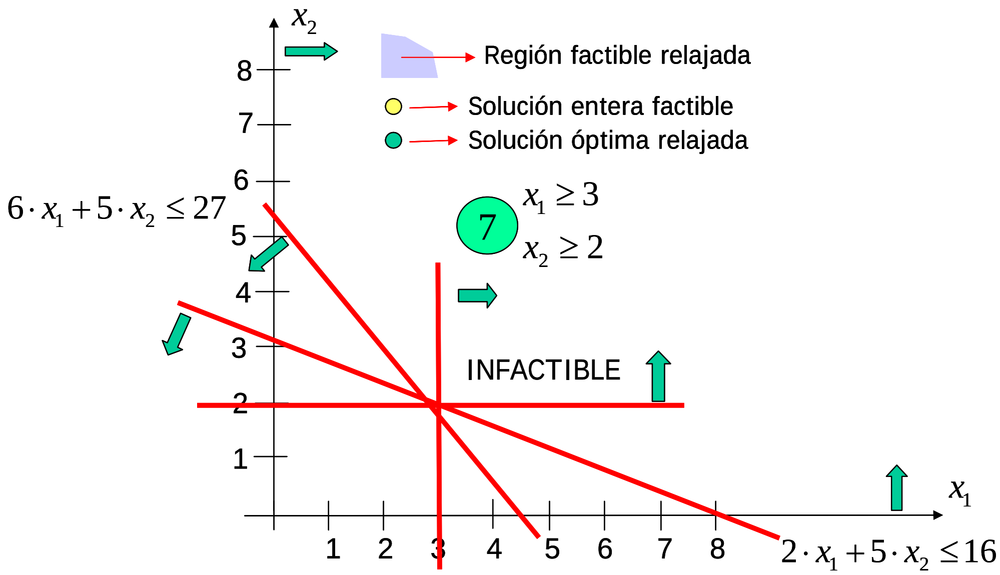



x_2
Región factible relajada
Solución entera factible
Solución óptima relajada
$6 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 27$
3
$x_1 \leq 2$
$x_2 \leq 2$
(2, 2) Z=4
x_1
$2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 16$
1 2 3 4 5 6 7 8

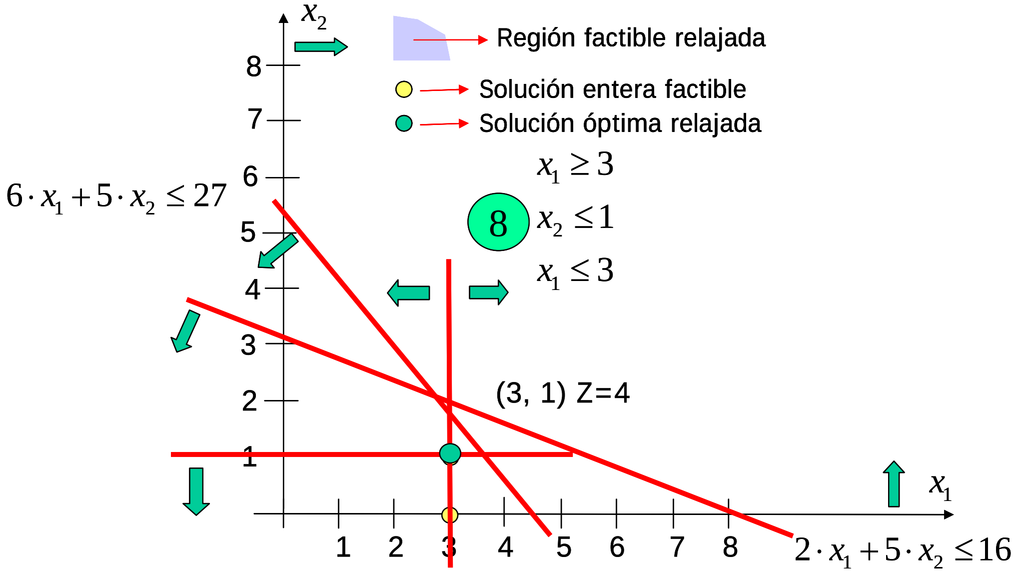

x_2
Región factible relajada
Solución entera factible
Solución óptima relajada
$6 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 27$
4
$x_1 \leq 2$
$x_2 \geq 3$
(0, 3) Z=3
x_1
$2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 16$
1 2 3 4 5 6 7 8


x_2
Región factible relajada
Solución entera factible
Solución óptima relajada
$6 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 27$
5
$x_1 \geq 3$
(3, 1.8) Z=4.8
x_1
$2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 16$

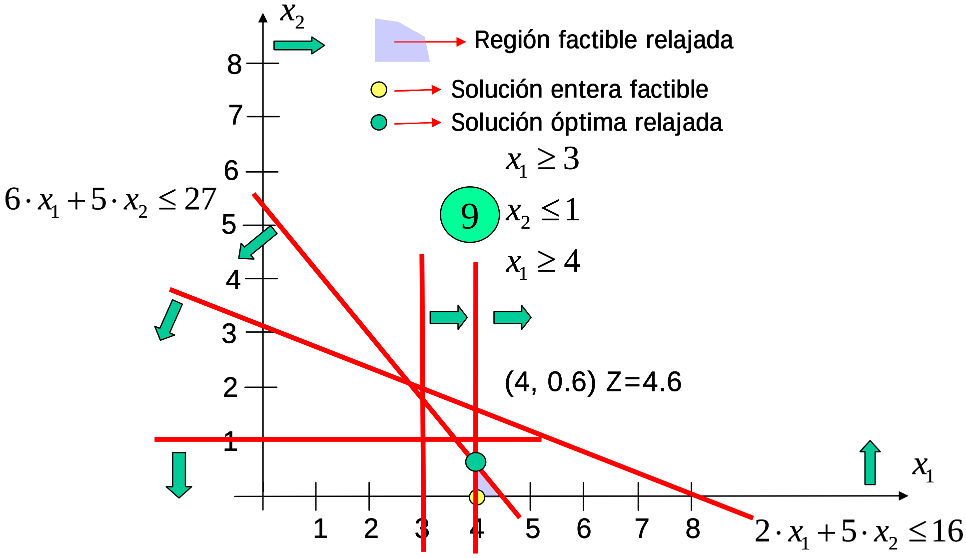

x_2
Región factible relajada
Solución entera factible
Solución óptima relajada
$6 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 27$
6
$x_1 \geq 3$
$x_2 \leq 1$
(3.666, 1) Z=4.666
x_1
$2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 16$

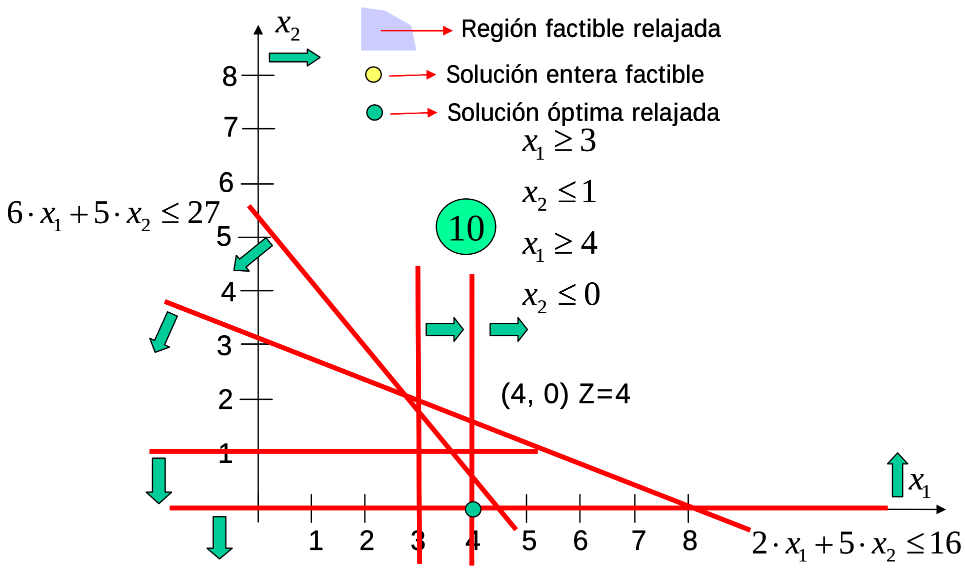


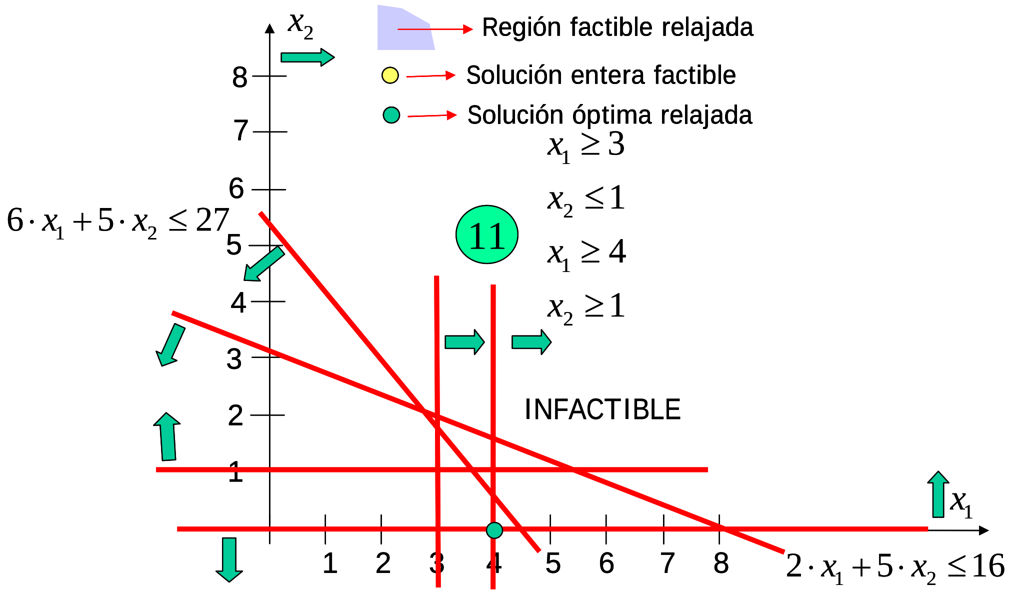
x_2
Región factible relajada
Solución entera factible
Solución óptima relajada
$6 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 27$
7
$x_1 \geq 3$
$x_2 \geq 2$
INFACTIBLE
x_1
$2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 16$



x_2
Región factible relajada
Solución entera factible
Solución óptima relajada
$6 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 27$
8
$x_1 \geq 3$
$x_2 \leq 1$
$x_1 \leq 3$
(3, 1) Z=4
x_1
$2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 16$


Región factible relajada
Solución entera factible
Solución óptima relajada
$x_1 \geq 3$
$x_2 \leq 1$
$x_1 \geq 4$
9
$6 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 27$
(4, 0.6) Z=4.6
$2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 16$
x_1
x_2


Región factible relajada
Solución entera factible
Solución óptima relajada
$x_1 \geq 3$
$x_2 \leq 1$
$x_1 \geq 4$
$x_2 \leq 0$
10
$6 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 27$
(4, 0) Z=4
$2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 16$
x_1
x_2


x_2
Región factible relajada
Solución entera factible
Solución óptima relajada
$x_1 \geq 3$
$x_2 \leq 1$
$x_1 \geq 4$
$x_2 \geq 1$
11
$6 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 27$
INFACTIBLE
x_1
$2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 \leq 16$
1
2
3
4
5
6
7
8