Granjas Bioter usa diariamente 800 kg de pienso compuesto por un mezcla de maíz y soja, con la siguiente composición:

Pienso	Proteína	Fibras	Coste (€/kg)
Maíz	0.09	0.02	0.30
Soja	0.60	0.06	0.90

Las necesidades dietéticas de pienso son de un mínimo de 30% de proteínas y un máximo del 5% de fibras. Determinar la proporción del pienso para que su coste diario sea mínimo

Granjas Bioter usa diariamente 800 kg de pienso compuesto por un mezcla de maíz y soja, con la siguiente composición:

Pienso	Proteína	Fibras	Coste (€/kg)
Maíz	0.09	0.02	0.30
Soja	0.60	0.06	0.90

Las necesidades dietéticas de pienso son de un mínimo de 30% de proteínas y un máximo del 5% de fibras. Determinar la proporción del pienso para que su coste diario sea mínimo

Variables

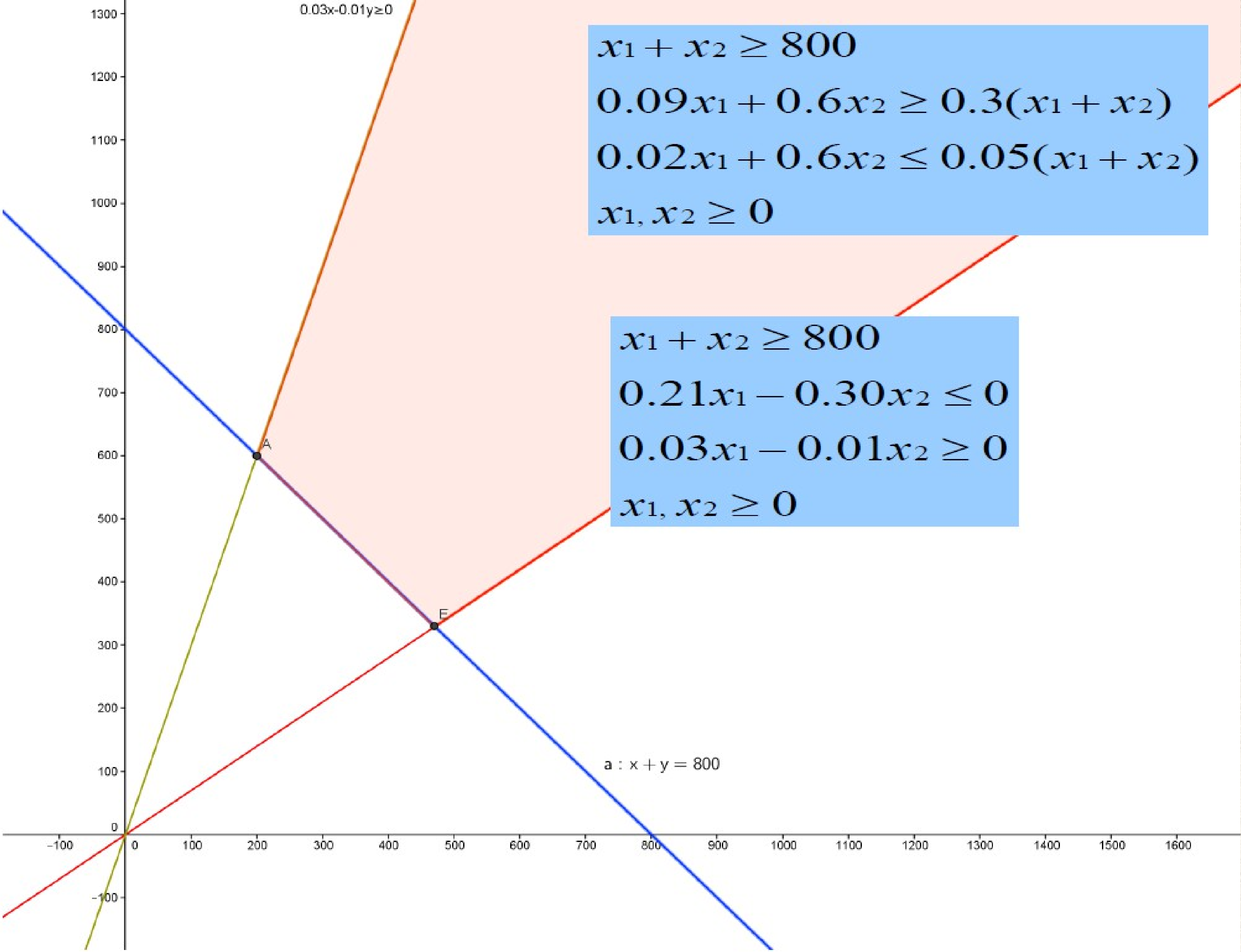
$$\text{kg maiz} = x_1$$
$$\text{kg soja} = x_2$$

Minimizar la función objetivo.

$$Z = 0.3x_1 + 0.9x_2$$

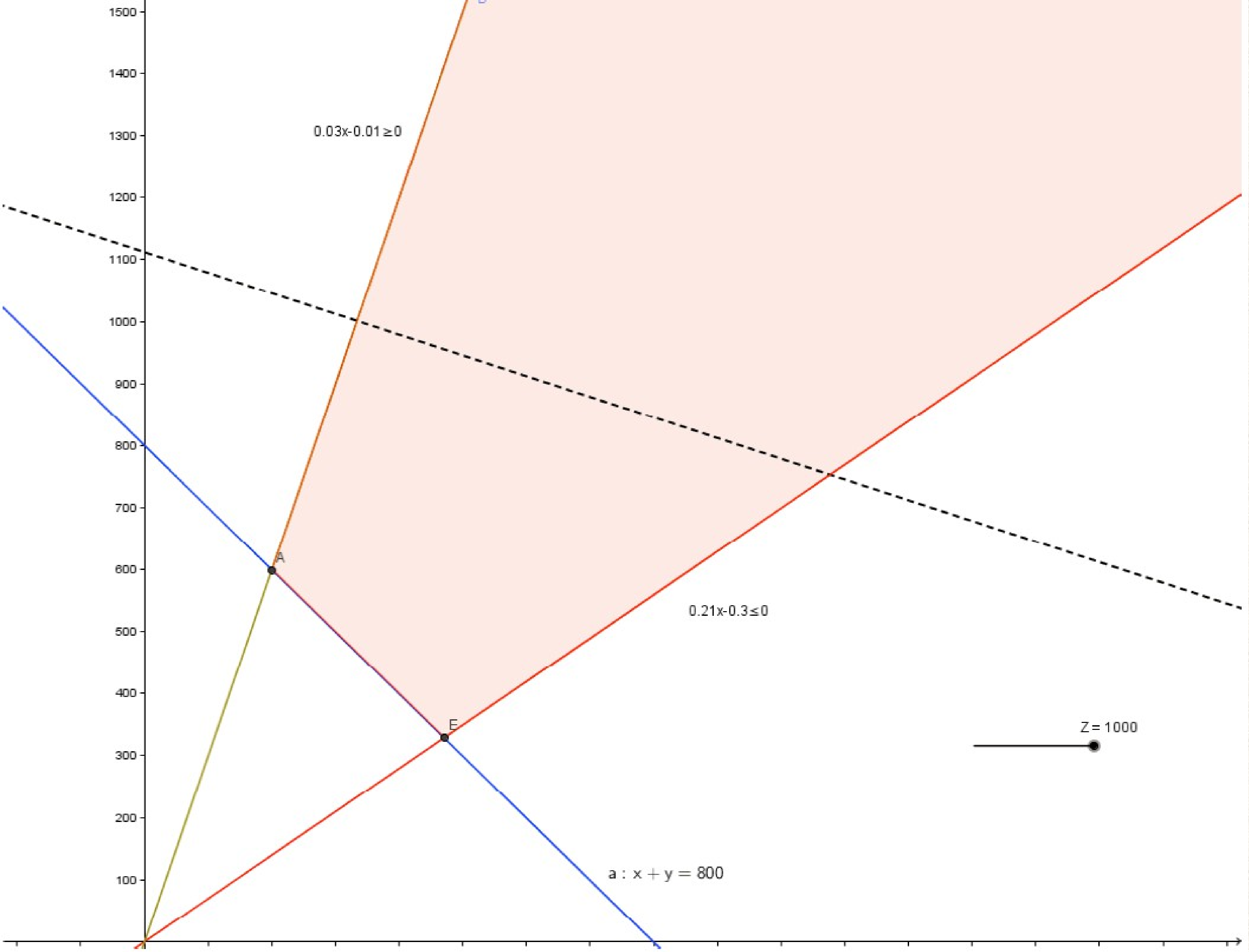
Las restricciones

$$x_1 + x_2 \geq 800$$
$$0.09x_1 + 0.6x_2 \geq 0.3(x_1 + x_2)$$
$$0.02x_1 + 0.6x_2 \leq 0.05(x_1 + x_2)$$
$$x_1, x_2 \geq 0$$

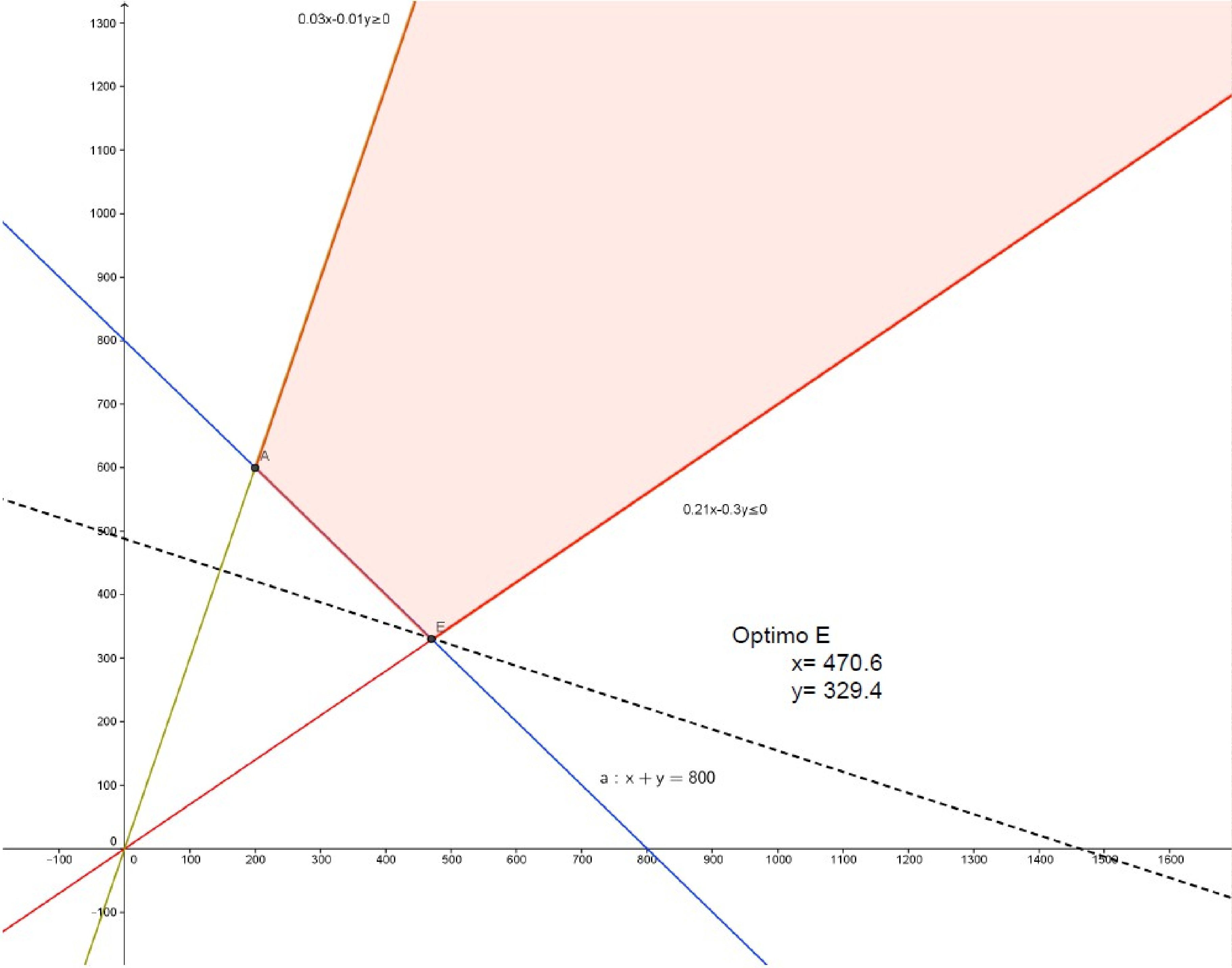


$$x_1 + x_2 \geq 800$$
$$0.09x_1 + 0.6x_2 \geq 0.3(x_1 + x_2)$$
$$0.02x_1 + 0.6x_2 \leq 0.05(x_1 + x_2)$$
$$x_1, x_2 \geq 0$$

$$x_1 + x_2 \geq 800$$
$$0.21x_1 - 0.30x_2 \leq 0$$
$$0.03x_1 - 0.01x_2 \geq 0$$
$$x_1, x_2 \geq 0$$

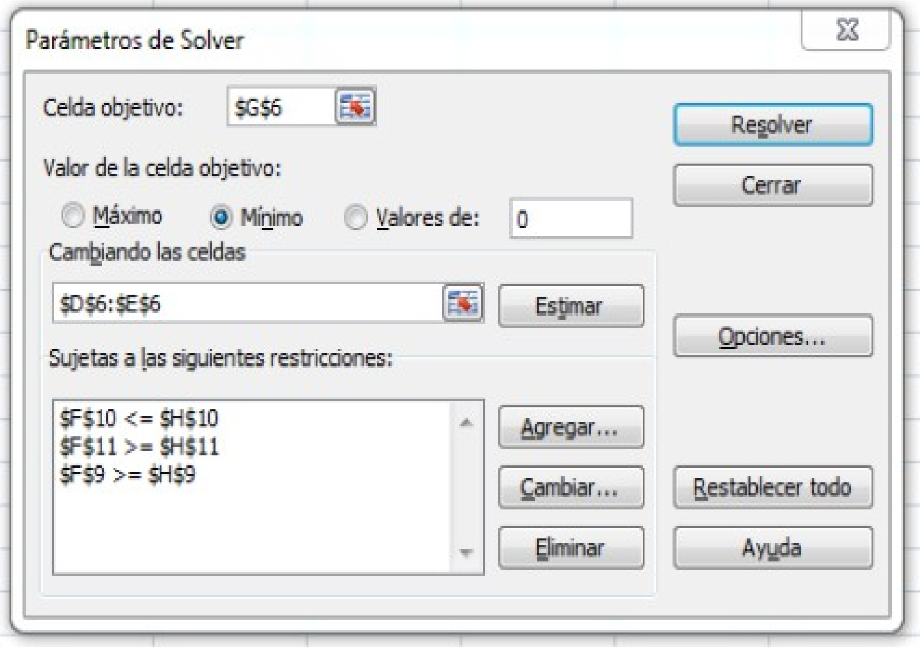


0.03x-0.01 ≥0
0.21x-0.3≤0
A
E
Z = 1000
a : x + y = 800
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100


0.03x-0.01y≥0
0.21x-0.3y≤0
A
E
Optimo E
x= 470.6
y= 329.4
a : x + y = 800

EJEMPLOS DE MODELADO: DIETA
SOLUCIÓN CON SOLVER

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3		DESICIÓN		MAIZ	SOJA		OBJETIVO	
4				X1	X2		Z	
5		COEFICIENTES		0,3	0,9			
6		VALOR OPTIMO		470,59	329,41		437,65	
7								
8								DISPONIBILIDAD
9		RESTRICCIÓN 1		1	1	800	>=	800
10		RESTRICCIÓN 2		0,21	-0,3	0	<=	0
11		RESTRICCIÓN 3		0,03	-0,01	10,82	>=	0



- **<u>Método Simplex</u>** (George Dantzig en 1947): algoritmo iterativo que secuencialmente a través de iteraciones se va aproximando al óptimo del problema de PL en caso de existir este último.

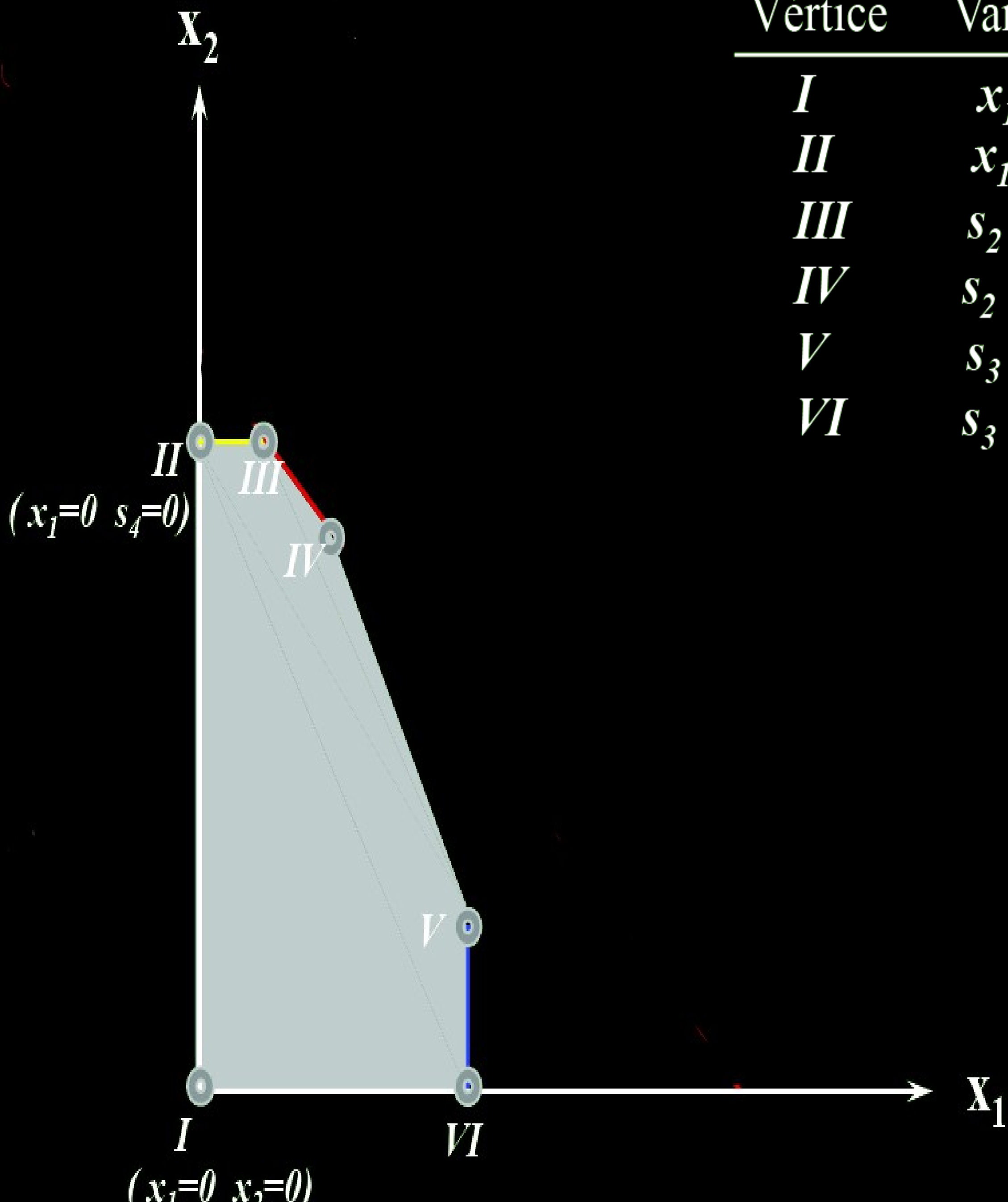
Algoritmo: conjunto de <u>reglas</u> bien definidas, ordenadas y finitas que permite <u>realizar una actividad</u> mediante <u>pasos</u> <u>sucesivos</u> que no generen dudas a quien deba realizar dicha actividad.

Iteración: <u>acto de repetir un proceso con el objetivo de alcanzar un resultado</u>. Cada repetición del proceso también se le denomina una "iteración", y los resultados de una iteración se utilizan como punto de partida para la siguiente iteración.

- El Método Simplex hace uso de la propiedad de que la solución óptima de un problema de PL se encuentra en un vértice de la región de puntos factibles.

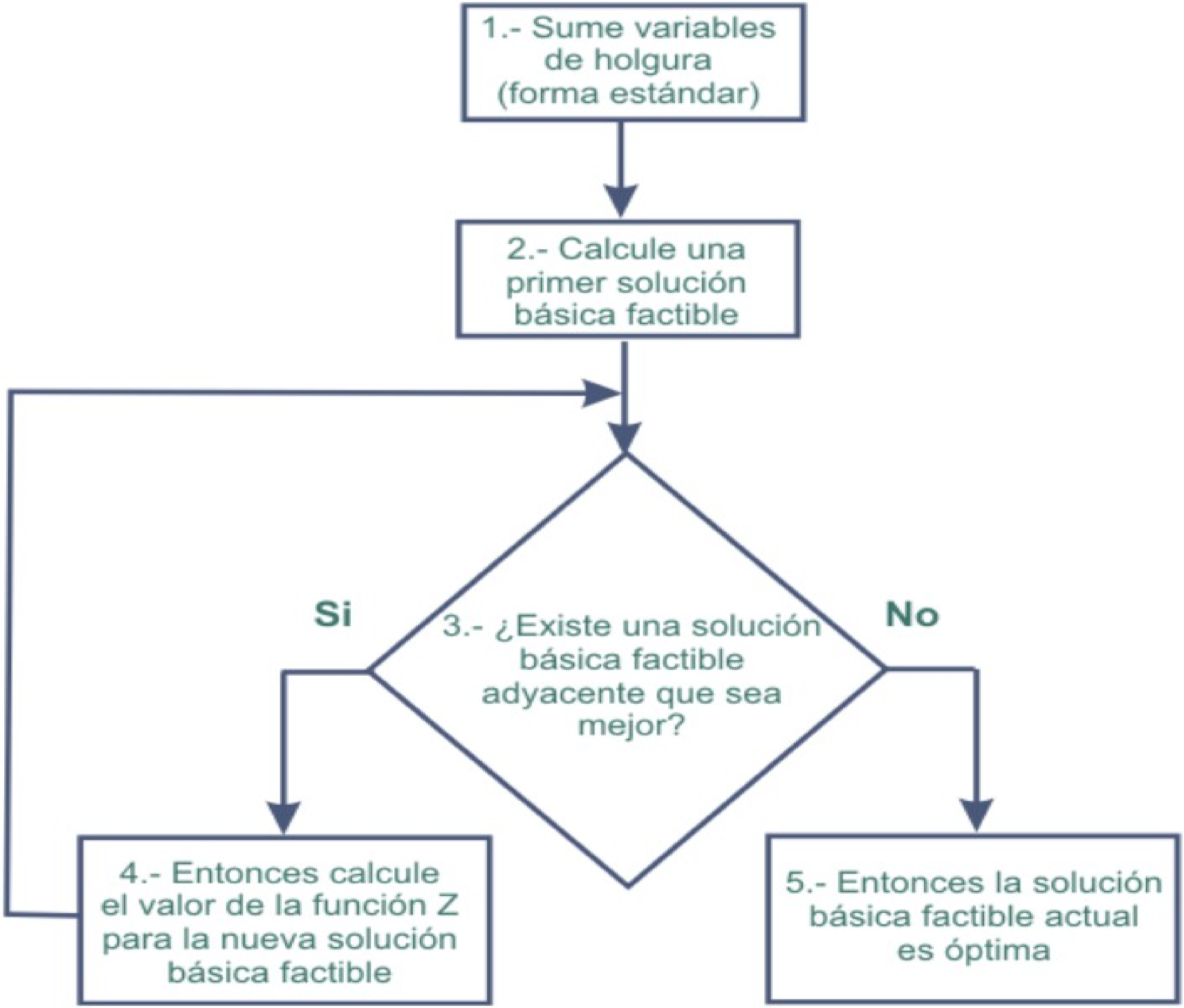
La búsqueda secuencial del algoritmo se basa en la evaluación progresiva de estos vértices hasta encontrar el óptimo.

Vértice	Var. no básicas	Var. básica
I	x_1 x_2	s_1 s_2 s_3 s_4
II	x_1 s_4	$x_2 s_1$ s_2 s_3
III	s_2 s_4	x_1 x_2 s_1 s_3
IV	s_2 s_1	x_1 x_2 s_3 s_4
V	s_3 s_1	x_1 x_2 s_2 s_4
VI	s_3 x_2	x_1 s_1 s_2 s_4



Lo que pretende el método simplex es pasar de un punto a otro (iteración) hasta encontrar la solución que optimice la función objetivo

- Para aplicar el Método Simplex a un modelo lineal, éste debe estar en un formato especial conocido como formato estándar.


1.- Sume variables de holgura (forma estándar)
2.- Calcule una primer solución básica factible
3.- ¿Existe una solución básica factible adyacente que sea mejor?
Si
No
4.- Entonces calcule el valor de la función Z para la nueva solución básica factible
5.- Entonces la solución básica factible actual es óptima

Formatos de presentación del modelo de PL

Formato general

El modelo matemático de un problema puede presentar restricciones de la forma ≤, otra de la forma = y otras de la forma ≥

OPTIMIZAR:

max (o min) $z = c_1x_1 + \cdots + c_ix_i + \cdots + c_nx_n$

s.a.:

(1) $a_{11}x_1 + \cdots + a_{1j}x_i + \cdots + a_{1n}x_n$ (≤ ; ≥ ; ó =) A_1

(j) $a_{j1}x_1 + \cdots + a_{ji}x_i + \cdots + a_{jn}x_n$ (≤ ; ≥ ; ó =) A_j

(m) $a_{m1}x_1 + \cdots + a_{mi}x_i + \cdots + a_{mn}x_n$ (≤ ; ≥ ; ó =) A_m

$$x_1, \ldots, x_j, \ldots, x_n \geq 0$$

Formatos de presentación del modelo de PL

Formato estándar, puede definirse exactamente como aquel en el cual,
sea un objetivo de maximización o de minimización,
todas las restricciones están expresadas como igualdades
todas variables son mayores o iguales a cero.
y además las constantes a la a la derecha de las restricciones son no negativas

OPTIMIZAR:

max (o min) $z = c_1x_1 + \cdots + c_ix_i + \cdots + c_nx_n$

s.a.:

$$(1)\quad a_{11}x_1 + \cdots + a_{1j}x_i + \cdots + a_{1n}x_n = A_1$$

$$(j)\quad a_{j1}x_1 + \cdots + a_{ji}x_i + \cdots + a_{jn}x_n = A_j$$

$$(m)\quad a_{m1}x_1 + \cdots + a_{mi}x_i + \cdots + a_{mn}x_n = A_m$$

$$x_1, \ldots, x_j, \ldots, x_n \geq 0$$

Formatos de presentación del modelo de PL

Formato canónico

Un modelo esta expresado en formato canónico cuando, además de que todas las variables son no negativas, se tiene que para un objetivo de maximización, todas las restricciones son del tipo menor o igual (≤), o para un objetivo de minimización, todas las restricciones son del tipo mayor o igual (≥).

OPTIMIZAR:

max (o min) $z = c_1x_1 + \cdots + c_ix_i + \cdots + c_nx_n$

s.a.:

(1) $a_{11}x_1 + \cdots + a_{1j}x_i + \cdots + a_{1n}x_n \leq (\text{ó} \geq) A_1$

(j) $a_{j1}x_1 + \cdots + a_{ji}x_i + \cdots + a_{jn}x_n \leq (\text{ó} \geq) A_j$

(m) $a_{m1}x_1 + \cdots + a_{mi}x_i + \cdots + a_{mn}x_n \leq (\text{ó} \geq) A_m$

$x_1, \ldots, x_j, \ldots, x_n \geq 0$

Como transformar el modelo a estandar

Para convertir un modelo de un formato de presentación a otro, es necesario efectuar algunas transformaciones ya sea en la función objetivo, en las restricciones o en las variables de decisión. El modelo que resulta será equivalente al original, pero más fácil de comprender, solucionar o analizar. Las transformaciones de mayor utilidad que podemos llevar a cabo son:

1. Convertir en igualdad una desigualdad de tipo "$\leq$"
2. Convertir en igualdad una desigualdad del tipo "$\geq$"
3. Invertir el sentido de una desigualdad

Como transformar el modelo a estandar

1. Convertir en igualdad una desigualdad de tipo "$\leq$"

La igualdad se obtiene al adicionar en el lado izquierdo de la desigualdad una variable no negativa, que representa el valor que le hace falta al lado izquierdo para ser igual al lado derecho.

Esta se conoce como **variable de holgura,** y en el caso particular en el que las restricciones de tipo $\leq$ se refieren al consumo máximo de un recurso, la variable adicionada cuantifica la **cantidad sobrante** de recurso (cantidad no utilizada) al poner en ejecución la solución óptima.

Así, cuando la restricción 1 de un modelo es $5x_1 + 4x_2 + 9x_3 \leq 15$

Puede convertirse en la ecuación $5x_1 + 4x_2 + 9x_3 + \mathbf{h_1} = 15$

Donde h1 es la variable que indica la holgura de la restricción 1.

Si por ejemplo $x_1 = 1,\ x_2 = 2,\ x_3 = 0$ obtendríamos que

$$5(1) + 5(2) + 9(0) + h_1 = 15 \quad \text{de donde} \quad 13 + h_1 = 15 \quad \text{por lo cual } h_1 = 2$$

Como transformar el modelo a estandar

2. Convertir en igualdad una desigualdad del tipo "$\geq$"

Se realiza al restar en el lado izquierdo de la desigualdad, una variable no negativa, que representa el valor en el cual el valor del lado izquierdo excede al derecho. A esta variable la llamaremos **variable de exceso** y en el caso particular en el que las restricciones de tipo $\geq$ se refieran al contenido mínimo de un ingrediente en una mezcla, la variable adicionada indica cuánto ingrediente **en exceso** sobre el mínimo exigido contendrá la mezcla.

Si la restricción 2 de un modelo es $5x_1 + 7x_2 + 14x_3 \geq 200$,

puede transformarse a la igualdad $5x_1 + 7x_2 + 14x_3 - \mathbf{e_2} = 200$,

en donde e_2 es una variable que indica el exceso de la restricción numero 2.

Es necesario indicar en este punto que cuando se agrega una variable de holgura o de exceso en una restricción, se debe agregar también la misma variable en la función objetivo. Usualmente se pone un cero como coeficiente, salvo en casos especiales.

Como transformar el modelo a estandar

3. Invertir el sentido de una desigualdad:

Multiplicar ambos lados de una desigualdad por (-1), o lo que es lo mismo cambiarle el signo a todos los términos de la inecuación, produce que esta cambie de sentido.

Por ejemplo, la desigualdad $3x_1 - 9x_2 + 2x_3 \geq -8$

Se invierte de sentido al cambiarle el signo a todos los términos, por lo cual quedará escrita como;

$-3x_1 + 9x_2 - 2x_3 \leq 8$,

que lógicamente equivale a la primera.

Formas canónica y estándar de los problemas de Programación Lineal

Forma general:

Max (min) $z = c_1x_1 + \ldots + c_ix_i + \ldots + c_nx_n$

sujeto a:

$$a_{11}x_1 + \ldots\ldots\ldots\ldots a_{1n}x_n \ (\leq, \geq, =)\ A_1$$

$$\ldots\ldots\ldots$$

$$a_{m1}x_1 + \ldots\ldots\ldots\ldots a_{mn}x_n \ (\leq, \geq, =)\ A_m$$

$x_i \geq 0$ c , a y A son constantes

Forma estándar:

El objetivo es de la forma Max (o min)

Todas las restricciones son igualdades

$$a_{j1}x_1 + \ldots\ldots\ldots\ldots a_{jn}x_n = A_j$$

$x_i \geq 0$ y $A_j \geq 0$

$$\text{Max(min) } z = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{i=1}^{n} a_{ji} x_i = A_j \qquad j = 1, \ldots, m$$

$$x_i \geq 0 \qquad i = 1, \ldots, n$$

$$A_j \geq 0$$

Forma conónica

Todas las restricciones son desigualdades

$$\text{Max } z = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{i=1}^{n} a_{ji} x_i \leq A_j \qquad j = 1, \ldots, m$$

$$x_i \geq 0 \qquad i = 1, \ldots, n$$

$$\text{min } z = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{i=1}^{n} a_{ji} x_i \geq A_j \qquad j = 1, \ldots, m$$

$$x_i \geq 0 \qquad i = 1, \ldots, n$$

Conversión de desigualdades

Las restricciones **≤** representan el límite de disponibilidad de recursos. La diferencia entre lado derecho y el izquierdo de la restricción se denomina holgura

$6x_1+4x_2 \leq 24 \rightarrow \quad 6x_1+4x_2+s_1=24; \qquad s_1 \geq 0$

Las restricciones **≥** representan el límite inferior de disponibilidad de recursos. La diferencia entre lado derecho y el izquierdo de la restricción se denomina excedente

$x_1+x_2 \geq 800 \rightarrow \quad x_1+x_2-s_2=800 \qquad s_2 \geq 0$

La **holgura** y **el excedente** siempre deben ser no negativos así como el lado derecho de la ecuación (en formato estándar)

$-x_1+x_2 \leq -3 \rightarrow \quad -x_1+x_2+s_1= -3$; $s_1 \geq 0$; **multiplicando -1** $x_1-x_2-s_1= 3$

$$\begin{aligned} 2x_1+x_2 &\leq 1000 \\ x_1+x_2 &\leq 800 \\ x_1 &\leq 400 \\ x_2 &\leq 700 \end{aligned} \quad \Longrightarrow \quad \begin{aligned} 2x_1+x_2+s_1 &= 1000 \\ x_1+x_2+s_2 &= 800 \\ x_1+s_3 &= 400 \\ x_2+s_4 &= 700 \end{aligned}$$

Para aplicar el M. Simplex a un modelo lineal, éste debe estar en un formato especial conocido como <u>formato estándar.</u>

$$\text{Max } Z = 2x_1 + 1.5x_2$$

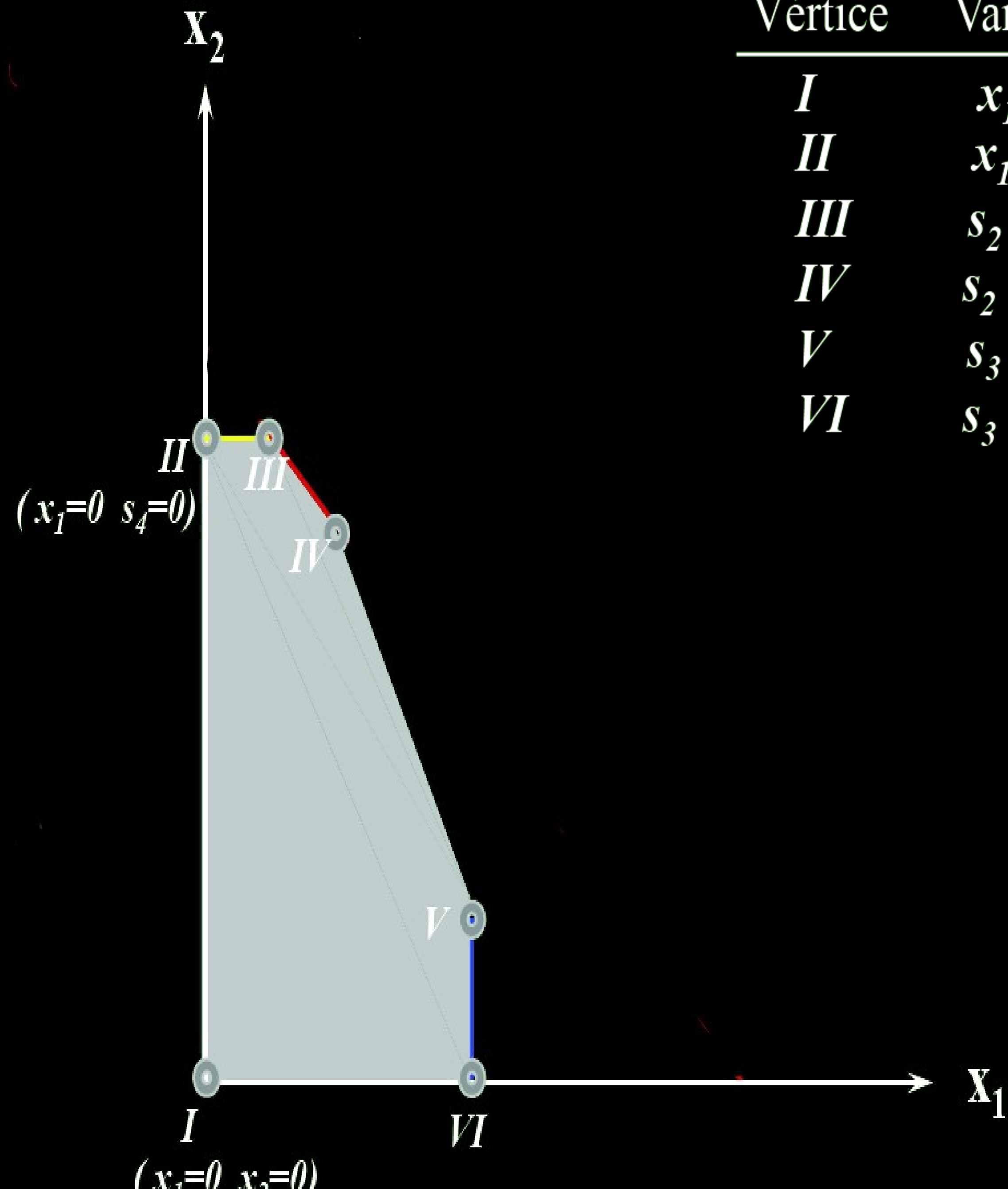
s.a.

$$
\begin{aligned}
2x_1 + x_2 &\le 1000 \\
x_1 + x_2 &\le 800 \\
x_1 \quad\quad &\le 400 \\
x_2 &\le 700 \\
x_1, x_2 &\ge 0
\end{aligned}
\quad \Longrightarrow \quad
\begin{aligned}
2x_1 + x_2 + s_1 \quad\quad\quad &= 1000 \\
x_1 + x_2 \quad + s_2 \quad\quad &= 800 \\
x_1 \quad\quad\quad + s_3 \quad &= 400 \\
x_2 \quad\quad\quad + s_4 &= 700
\end{aligned}
$$

Donde en 1º lugar convertimos las inecuaciones en ecuaciones, introduciendo las vbs de:

- holgura o sobra "sj" si la ecuación es (≤) de disponibilidad
- superávit o falta "fi" si la ecuación es (≥) de obligatoriedad

Vértice	Var. no básicas	Var. básica
I	$x_1\ x_2$	$s_1\ s_2\ s_3\ s_4$
II	$x_1\ s_4$	$x_2\ s_1\ s_2\ s_3$
III	$s_2\ s_4$	$x_1\ x_2\ s_1\ s_3$
IV	$s_2\ s_1$	$x_1\ x_2\ s_3\ s_4$
V	$s_3\ s_1$	$x_1\ x_2\ s_2\ s_4$
VI	$s_3\ x_2$	$x_1\ s_1\ s_2\ s_4$



Lo que pretende el método simplex es pasar de un punto a otro (iteración) hasta encontrar la solución que optimice la función objetivo

El Método Simplex

$$Max\ Z = 2x_1 + 1.5x_2 \ +0\ s_1 + 0\ s_2 + 0\ s_3 + 0\ s_4$$

s.a.

$$\begin{aligned} 2x_1 + x_2 + s_1 &= 1000 \\ x_1 + x_2 + s_2 &= 800 \\ x_1 + s_3 &= 400 \\ x_2 + s_4 &= 700 \end{aligned}$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Apoyándose en la tabla que se obtiene a partir de una solución básica, de una forma iterativa

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2 x_1	1.5 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3	0 s_4	VALOR
0	s_1	2	1	1	0	0	0	1000
0	s_2	1	1	0	1	0	0	800
0	s_3	1	0	0	0	1	0	400
0	s_4	0	1	0	0	0	1	700
	z_j	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
	$c_j - z_j$	**2**	**1.5**	**0**	**0**	**0**	**0**	

El Método Simplex

$$Max\ Z = 2x_1 + 1.5x_2 \ +0\ s_1 + 0\ s_2 + 0\ s_3 + 0\ s_4$$

s.a.

$$2x_1 + x_2 + s_1 = 1000$$

$$x_1 + x_2 + s_2 = 800$$

$$x_1 + s_3 = 400$$

$$x_2 + s_4 = 700$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

		2	1.5	0	0	0	0	
Coeficiente básico	**VARIABLE BÁSICA**	x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	s_4	**VALOR**
0	s_1	2	1	1	0	0	0	1000
0	s_2	1	1	0	1	0	0	800
0	s_3	1	0	0	0	1	0	400
0	s_4	0	0	0	0	0	1	700

El Método Simplex

$$Max\ Z = 2x_1 + 1.5x_2\ \ +0\ s_1 + 0\ s_2 + 0\ s_3 + 0\ s_4$$

$s.a.$

$$2x_1 + x_2 + s_1 = 1000$$
$$x_1 + x_2 + s_2 = 800$$
$$x_1 + s_3 = 400$$
$$x_2 + s_4 = 700$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

					Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2 x_1	1.5 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3	0 s_4	VALOR
	0	x 2	=	0	0	s_1	2	1	1	0	0	0	1000
+	0	x 1	=	0	0	s_2	1	1	0	1	0	0	800
+	0	x 1	=	0	0	s_3	1	0	0	0	1	0	400
+	0	x 0	=	0	0	s_4	0	0	0	0	0	1	700
				0		z_j	0	0	0	0	0	0	0

El Método Simplex

$$Max\ Z = 2x_1 + 1.5x_2 + 0\,s_1 + 0\,s_2 + 0\,s_3 + 0\,s_4$$

s.a.

$$2x_1 + x_2 + s_1 = 1000$$
$$x_1 + x_2 + s_2 = 800$$
$$x_1 + s_3 = 400$$
$$x_2 + s_4 = 700$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2	1.5	0	0	0	0	VALOR
		x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	s_4	
0	s_1	2	1	1	0	0	0	1000
0	s_2	1	1	0	1	0	0	800
0	s_3	1	0	0	0	1	0	400
0	s_4	0	0	0	0	0	1	700
	z_j	0	0	0	0	0	0	0
	$c_j - z_j$	2	1.5	0	0	0	0	

$2 - 0 = 2$

Tabla de Simplex I

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2	1.5	0	0	0	0	VALOR
		x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	s_4	
0	s_1	2	1	1	0	0	0	1000
0	s_2	1	1	0	1	0	0	800
0	s_3	1	0	0	0	1	0	400
0	s_4	0	1	0	0	0	1	700
	z_j	0	0	0	0	0	0	0
	$c_j - z_j$	2	1.5	0	0	0	0	

PASOS:

1º determinar vb de entrada = columna pivote

2º determinar vb de salida = renglón pivote

3º la intersección = pivote o elemento pivote

4º aplicar los cálculos de Gauss-Jordan para obtener la nueva solución básica

5º parar cuando todos los valores cj-zj son todos no positivos (0 ó -). Si no, repetir pasos.

PASOS:

1º determinar vb de entrada = columna pivote

(el mayor valor positivo en el reglón cj-zj)

2º determinar vb de salida = renglón pivote

(Prueba del cociente mínimo: elemento del LD ·/· elemento de la columna pivote que sea positivo. De todos los cocientes, el que sea menor es el reglón que sale)

PASOS:

3º la intersección = pivote o elemento pivote

(es el elemento que hay en la intersección de la columna y fila pivote)

PASOS:

4º aplicar los cálculos de Gauss-Jordan para obtener la nueva solución básica

a) renglón pivote:

Nuevo reglón pivote=reglón pivote actual ·/· elemento pivote

b) todos los demás renglones:

Nuevo renglón=(renglón actual) - (su coeficiente en la columna pivote) x (nuevo reglón pivote)

Tabla de Simplex: Paso de I a II.

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2 x_1	1.5 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3	0 s_4	VALOR	
0	s_1	2	1	1	0	0	0	1000	1000/2 = 500
0	s_2	1	1	0	1	0	0	800	800/1 = 800
0	s_3	1	0	0	0	1	0	400	400/1 = 400 Menor +
0	s_4	0	1	0	0	0	1	700	700/0 = ∞
	z_j	0	0	0	0	0	0	0	
	$c_j - z_j$	2	1.5	0	0	0	0		

Mayor

$0 / 1 = 0$

$1 - \frac{2 \times 0}{1} = 1$

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2 x_1	1.5 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3	0 s_4	VALOR
0	s_1	0	1	1	0	-2	0	200
0	s_2	0	1	0	1	-1	0	400
2	x_1	1	0	0	0	1	0	400
0	s_4	0	1	0	0	0	1	700
	z_j	2	0	0	0	2	0	800
	$c_j - z_j$	0	1.5	0	0	-2	0	

Tabla de Simplex : II.

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2	1.5	0	0	0	0	VALOR
		x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	s_4	
0	s_1	0	1	1	0	-2	0	200
0	s_2	0	1	0	1	-1	0	400
2	x_1	1	0	0	0	1	0	400
0	s_4	0	1	0	0	0	1	700
	z_j	2	0	0	0	2	0	800
	$c_j - z_j$	0	1.5	0	0	-2	0	

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2	1.5	0	0	0	0	VALOR
		x_1	x_2	s_1	s_2	s_3	s_4	
0	s_1	0	1	1	0	-2	0	200
0	s_2	0	1	0	1	-1	0	400
2	x_1	1	0	0	0	1	0	400
0	s_4	0	1	0	0	0	1	700
	z_j	2	0	0	0	2	0	800
	$c_j - z_j$	0	1.5	0	0	-2	0	

Tabla de Simplex: Paso de II a III.

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2 x_1	1.5 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3	0 s_4	VALOR	
0	s_1	0	1	1	0	-2	0	200	200/1 = 200 Menor +
0	s_2	0	1	0	1	-1	0	400	400/1 = 400
2	x_1	1	0	0	0	1	0	400	400/0 = oo
0	s_4	0	1	0	0	0	1	700	700/1 = 700
	z_j	2	0	0	0	2	0	800	
	$c_j - z_j$	0	1.5	0	0	-2	0		

Mayor

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2 x_1	1.5 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3	0 s_4	VALOR
1.5	x_2	0	1	1	0	-2	0	200
0	s_2	0	0	-1	1	1	0	200
2	x_1	1	0	0	0	1	0	400
0	s_4	0	0	-1	0	2	1	500
	z_j	2	1.5	1.5	0	-1	0	1100
	$c_j - z_j$	0	0	-1.5	0	1	0	

Tabla de Simplex: III.

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2 x_1	1.5 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3	0 s_4	VALOR
0	x_2	0	1	1	0	-2	0	200
0	s_2	0	0	-1	1	1	0	400
2	x_1	1	0	0	0	1	0	400
0	s_4	0	0	-1	0	2	1	700
	z_j	2	1.5	1.5	0	-1	0	1100
	$c_j - z_j$	0	0	-1.5	0	1	0	

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2 x_1	1.5 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3	0 s_4	VALOR
1.5	x_2	0	1	1	0	-2	0	200
0	s_2	0	0	-1	1	1	0	200
2	x_1	1	0	0	0	1	0	400
0	s_4	0	0	-1	0	2	1	500
	z_j	2	1.5	1.5	0	-1	0	1100
	$c_j - z_j$	0	0	-1.5	0	1	0	

Tabla de Simplex: Paso de III a IV.

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2 x_1	1.5 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3	0 s_4	VALOR	
0	x_2	0	1	1	0	-2	0	200	200/-2 = -100
0	s_2	0	0	-1	1	1	0	200	200/1 = 200 Menor +
2	x_1	1	0	0	0	1	0	400	400/1 = 400
0	s_4	0	0	-1	0	2	1	500	500/2 = 250
	z_j	2	1.5	1.5	0	-1	0	1100	
	$c_j - z_j$	0	0	-1.5	0	1	0		

Mayor

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2 x_1	1.5 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3	0 s_4	VALOR
1.5	x_2	0	1	-1	2	0	0	600
0	s_3	0	0	-1	1	1	0	200
2	x_1	1	0	1	-1	0	0	200
0	s_4	0	0	1	-2	0	1	100
	z_j	2	1.5	0.5	1	0	0	1300
	$c_j - z_j$	0	0	-0.5	-1	0	0	

Tabla de Simplex: IV

Coeficiente básico	VARIABLE BÁSICA	2 x_1	1.5 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3	0 s_4	VALOR
1.5	x_2	0	1	-1	2	0	0	600
0	s_3	0	0	-1	1	1	0	200
2	x_1	1	0	1	-1	0	0	200
0	s_4	0	0	1	-2	0	1	100
	z_j	2	1.5	0.5	1	0	0	1300
	$c_j - z_j$	0	0	-0.5	-1	0	0	

… hasta obtener la solución óptima cuando todos los valores son NO positivos

Solución:

$$x_1 = 200$$

$$x_2 = 600$$

$$s_3 = 200$$

$$s_4 = 100$$

$$Z = 1300$$