Metodo simplex

Clase 20-04-23

Método Simplex

El método simplex es un procedimiento iterativo para resolver problemas de programación lineal, donde se busca obtener la solución óptima de la función objetivo que logre cumplir el conjunto de restricciones.

Este algoritmo fue desarrollado en el año 1947 por el matemático norteamericano **George Dantzig**.

Conceptos Básicos

Para comprender de mejor manera el método simplex vamos a revisar algunas definiciones.

El método parte de dos afirmaciones importantes:

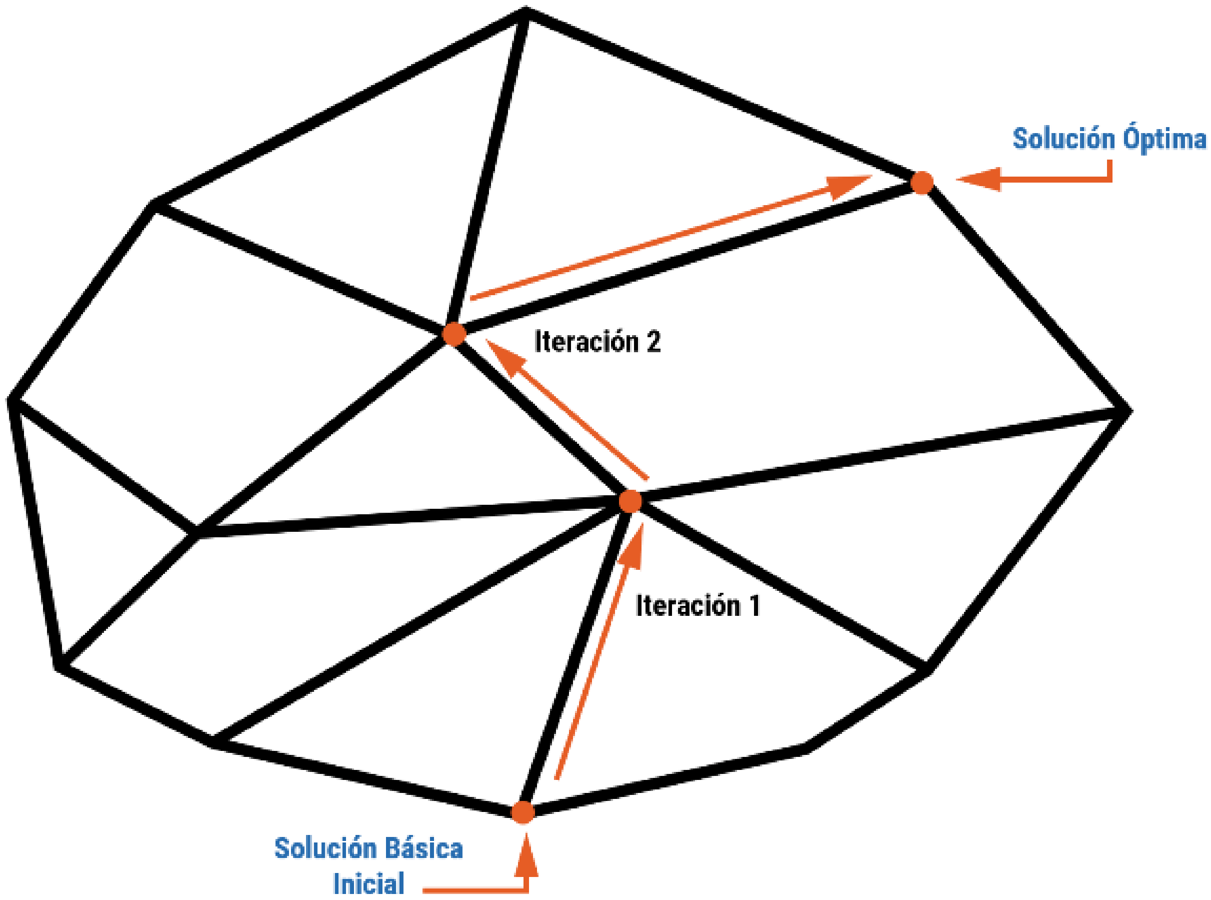
El conjunto de posibles soluciones o conjunto factible de cualquier problema de programación lineal puede representarse mediante un poliedro convexo.

Si un problema de programación lineal tiene una solución óptima y finita, ésta estará en un vértice del poliedro convexo que representa al problema.

El algoritmo simplex parte de uno de los vértices del poliedro, y verifica si es el óptimo; si no lo es, busca un nuevo vértice adyacentes que va mejorando el valor de la función objetivo. Se continúa iterando hasta llegar al vértice que representa la solución óptima.

Conceptos Básicos

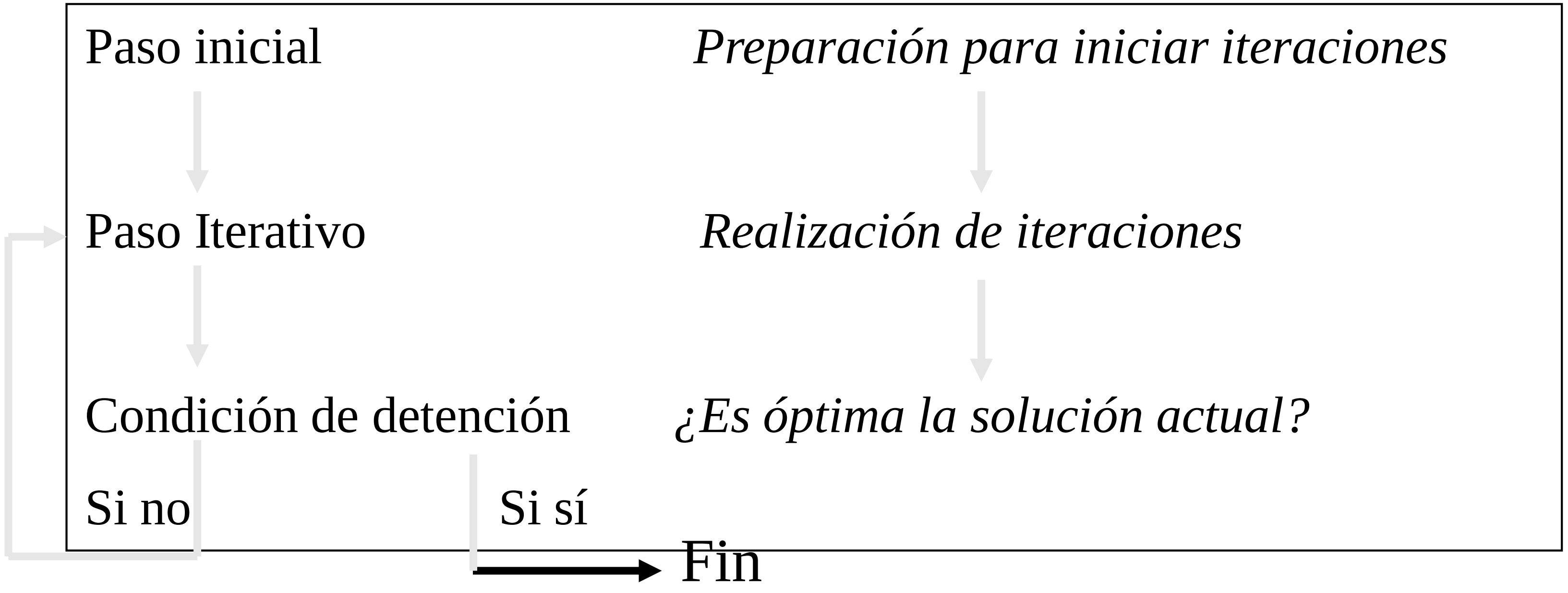
En la siguiente imágen vemos el poliedro que representa la solución factible y cómo realiza el recorrido el algoritmo simplex:



Pasos del Método Simplex

Los pasos a seguir en el método simplex son:

1. Definir el problema en la forma estándar y generar nuestra matriz.
2. Determinar la solución básica inicial.
3. Seleccionar la variable de entrada utilizando la condición de optimalidad. Si no se puede seleccionar una variable de entrada, quiere decir que estamos en la condición óptima y finalizan las iteraciones. De otro modo se continúa con el siguiente paso.
4. Seleccionar la variable de salida utilizando la condición de factibilidad.
5. Actualizar nuestra matriz realizando las operaciones de Gauss-Jordan. Volver al paso número 3.



El método simplex es un procedimiento *algebraíco* en el que cada iteración contiene la solución de un sistema de ecuaciones para obtener una nueva solución a la que se le aplica la prueba de optimalidad. No obstante, también tiene una interpretación *geométrica* muy útil

OBTENCIÓN DE LA SOLUCIÓN

- ❖ Uso del computador absolutamente necesario
- ❖ Los modelos buscan optimizar (maximizar o minimizar)

- ❖ Herbert Simon introduce el termino satisfizar

"*La diferencia entre optimizar y satisfizar refleja la diferencia entre la teoría y la realidad*"

PROGRAMACIÓN LINEAL

Es un método matemático que se emplea para resolver problemas de optimización. En palabras simples la P.L. busca asignar recursos limitados, entre actividades que compiten, de la forma mas óptima posible.

Supuestos de la P.L.

- Proporcionalidad
- Aditividad
- Divisibilidad
- Certidumbre
- Objetivo único
- No negatividad

Modelo General de PL

Definición de variables:

Sea $x_j >= 0$. ; $j = 1, 2, 3....n$

Función objetivo:

Max. o Min. $z = C_1X_1 + C_2X_2 + ... + C_jX_j + ... + C_nX_n$

Sujeto a restricciones: $i = 1, 2, 3, ... , m$

$$
\begin{array}{lll}
a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + ... + a_{1j}X_j + ... + a_{1n}X_n & \leq = \geq & b_1 \\
a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + ... + a_{2j}X_j + ... + a_{2n}X_n & \leq = \geq & b_2 \\
\vdots & \vdots & \\
a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + ... + a_{ij}X_j + ... + a_{in}X_n & \leq = \geq & b_i \\
\vdots & \vdots & \\
a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + ... + a_{mj}X_j + ... + a_{mn}X_n & \leq = \geq & b_m
\end{array}
$$

Condiciones de signo para variables: **toda** $x_j \geq 0$

m = # total de restricciones,

n = # de variables de decisión (originales)

C_j, a_{ij} y b_i son constantes (o parámetros) dados.

Métodos de Resolución

Método Gráfico

Empleado principalmente para PPL con dos variables de decisión. Este método se basa en la idea de obtener *regiones de soluciones factibles (RSF)*, en las cuales se encontraría la combinación de variables de decisión que optimizan el modelo.

Método Algebraico (SIMPLEX)

Empleado principalmente para PPL con más de dos variables de decisión. Este método se desarrollo con base en el método gráfico y corresponde a un sistema heurístico, por lo cual requiere de una solución inicial factible para empezar a funcionar.

Introducción

- ✓Un propiedad general del método simplex es que resuelve la PL en iteraciones
- ✓Cada iteración desplaza la solución a un nuevo vértice que tiene el potencial de mejorar el valor de la función objetivo
- ✓El proceso continua hasta que ya no se pueden obtener mejoras

Espacio de soluciones en forma de ecuación

Para estandarizar, la representación algebraica del espacio de soluciones de Programación Lineal se forma bajo dos condiciones:

- Todas las restricciones (excepto las de no negatividad) son ecuaciones con lado derecho no negativo
- Todas las variables son no negativas.

Conversión de desigualdades a ecuaciones

- En las restricciones de $\leq$ el lado derecho se puede pensar como representando el límite de disponibilidad y el lado izquierdo representaría el uso de ese recurso limitado por parte de las actividades (variables) del modelo, la diferencia entre ambos representa la cantidad no usado u **holgura** del recurso

Conversión de desigualdades a ecuaciones

- Dada la restricción

$$6X1 + 4X2 \leq 24$$

$$6X1 + 4X2 + X3 = 24$$

- O bien

$$X1 + X2 \geq 800$$

$$X1 + X2 - X3 = 800$$

Cada slack (holgura) toma significado diferente, el algoritmo necesita de una artificial para iterar

$$\mathbf{X1 + X2 - X3 + \upsilon = 800}$$

Método gráfico	**Método algebraico**
Grafica todas las restricciones, incluyendo las de no negatividad	Representa el espacio de soluciones con m ecuaciones con n variables, y restringe a todas las variables a valores no negativos; $m < n$
El espacio de soluciones consiste en una infinidad de puntos esquina **factibles**	El sistema tiene infinidad de soluciones **factibles**
Identifica **puntos factibles de esquina** del espacio de soluciones	Determina las **soluciones básicas factibles** de las ecuaciones
Los candidatos a la solución óptima corresponden a una cantidad *finita* de **puntos de esquina**	Las candidatas a solución óptima corresponden a una cantidad *finita* de **soluciones básicas factibles**
Se usa la función objetivo para determinar el **punto esquina óptimo** entre todos los candidatos	Se usa la función objetivo para determinar el **solución básica factible óptimo** entre todas las candidas

PREPARANDO EL MODELO PARA ADAPTARLO AL MÉTODO SIMPLEX

Esta es la forma estándar del modelo:

Función objetivo: $c1 \cdot x1 + c2 \cdot x2 + ... + cn \cdot xn \rightarrow$ OPTIMIZAR

Sujeto a:

$$a11 \cdot x1 + a12 \cdot x2 + ... + a1n \cdot xn = b1$$
$$a21 \cdot x1 + a22 \cdot x2 + ... + a2n \cdot xn = b2$$
$$...$$
$$am1 \cdot x1 + am2 \cdot x2 + ... + amn \cdot xn = bm$$
$$x1, ..., xn \geq 0$$

Para ello se deben cumplir las siguientes condiciones:

El objetivo es de la forma de maximización o de minimización.

Todas las restricciones son de igualdad.

Todas las variables son no negativas.

Las constantes a la derecha de las restricciones son no negativas.

Métodos de Resolución
ALGEBRAICO SIMPLEX

El método símplex fue desarrollado en 1947 por el Dr. George Dantzig y conjuntamente con el desarrollo de la computadora hizo posible la solución de problemas grandes planteados con la técnica matemática de programación lineal.

El algoritmo denominado símplex es la parte medular de este método; el cual se basa en la solución de un *sistema de ecuaciones lineales* con el conocido procedimiento de *Gauss-Jordan* y apoyado con criterios para el cambio de la solución básica que se resuelve en forma iterativa hasta que la solución obtenida *converge* a lo que se conoce como óptimo..

- **El conjunto de soluciones factibles para un problema de P.L. es un conjunto convexo.**
- **La solución óptima del problema de programación lineal , si existe, es un punto extremo (vértice) del conjunto de soluciones factibles.**
- **El número máximo de puntos extremos (vértices) por revisar en la búsqueda de la solución óptima del problema es finito.**

Métodos de Resolución

ALGEBRAICO SIMPLEX

Restricción mayor o igual ($\leq$)

Las restricciones de este tipo comúnmente determinan requerimientos máximo disponible de recursos. En este caso se debe incorporar una variable de cantidad no usada que representa el sobrante del máximo del lado izquierdo, respecto del disponible del lado derecho (cuanto falta para utilizar todo el recurso).

Ej.

$$X1 + X2 \leq 800$$

$$X1 + X2 + S1 = 800$$

$$s1 \geq 0$$

Métodos de Resolución ALGEBRAICO

Se una vez obtenida la F.E se esta en condiciones de iniciar el Simplex que nos permitirá encontrar la (s) solución (es) del PPL.

Como el algoritmo se mueve de punto en punto extremo requiere que variables basicas entren y salgan. Las reglas para seleccionar las variables de entrada y salida se conocen como condiciones de optimalidad y factibilidad. Resumiendo:

A. Optimalidad: la variable de entrada en un problema de maximización es la variable no básica que tiene el coeficiente mas negativo en el reglon de la F.O. los empates se rompen arbritariamente. Se llega al optimo en la iteración donde todos coeficientes del reglon de la F.O. de las variables básicas son positivos.

B. Factibilidad: tanto para los problemas de maximización como minimización, la variable de salida es la variable básica asociada con la razón no negativa más pequeña entre los “lados derecho” y los coeficientes de la columna entrante.

	Maximizar	Minimizar
Variable que entra	La más NEGATIVA de los Cj – Zj	La más POSITIVA de los Cj - Zj
Variable que sale	Siendo ***b*** los valores bajo la celda solución y ***a*** el valor correspondiente a la intersección entre ***b*** y la variable que entra. La menos positiva de los ***b/a****.*	Siendo ***b*** los valores bajo la celda solución y ***a*** el valor correspondiente a la intersección entre ***b*** y la variable que entra. La más positiva de los ***b/a***.

Métodos de Resolución
ALGEBRAICO

Pasos del Simplex:

Paso 0 : determinar la solución factible inicial.

Paso 1 : seleccione la variable de entrada empleando la condición de optimalidad.

Deténgase si no hay variable de entrada.

Paso 2 : seleccione una variable de salida utilizando la condición de factibilidad.

Paso 3 : determine las nuevas soluciones básicas empleando los calculos apropiados de Gauss – Jordan, luego vuelva al paso 1.

EL PROBLEMA

Se fabrican dos artículos, cada uno consume para su fabricación 1 litro de determinada materia prima, cuya disponibilidad es 10 litros. De otra materia de la cual se dispone de 24 kg el primer artículo necesita 2 kg. y el segundo 3 kg. El segundo artículo necesita $1m^2$ de papel metálico para su conservación, del cual se dispone de 6 m^2.

Los beneficios son \$1 y \$2 respectivamente

Plantear el modelo y hallar la solución que maximice las ganancias.

Métodos de Resolución

ALGEBRAICO

EJEMPLO

Las variables:

X1 = Cantidad de artículo 1 a producir (unidades)

X2 = Cantidad de artículo 2 a producir (unidades)

Las restricciones:

$$X1 + X2 \leq 10$$

$$2X1 + 3\,X2 \leq 24$$

$$X2 \leq 6$$

El objetivo:

$$Z = 1X1 + 2X2 \rightarrow \text{MAXIMIZAR}$$

Métodos de Resolución
ALGEBRAICO

Agregando las variables slack a las restricciones:

$$1X_1 + 1X_2 + 1X_3 = 10$$

$$2X_1 + 3X_2 + X_4 = 24$$

$$X_2 + X_5 = 6$$

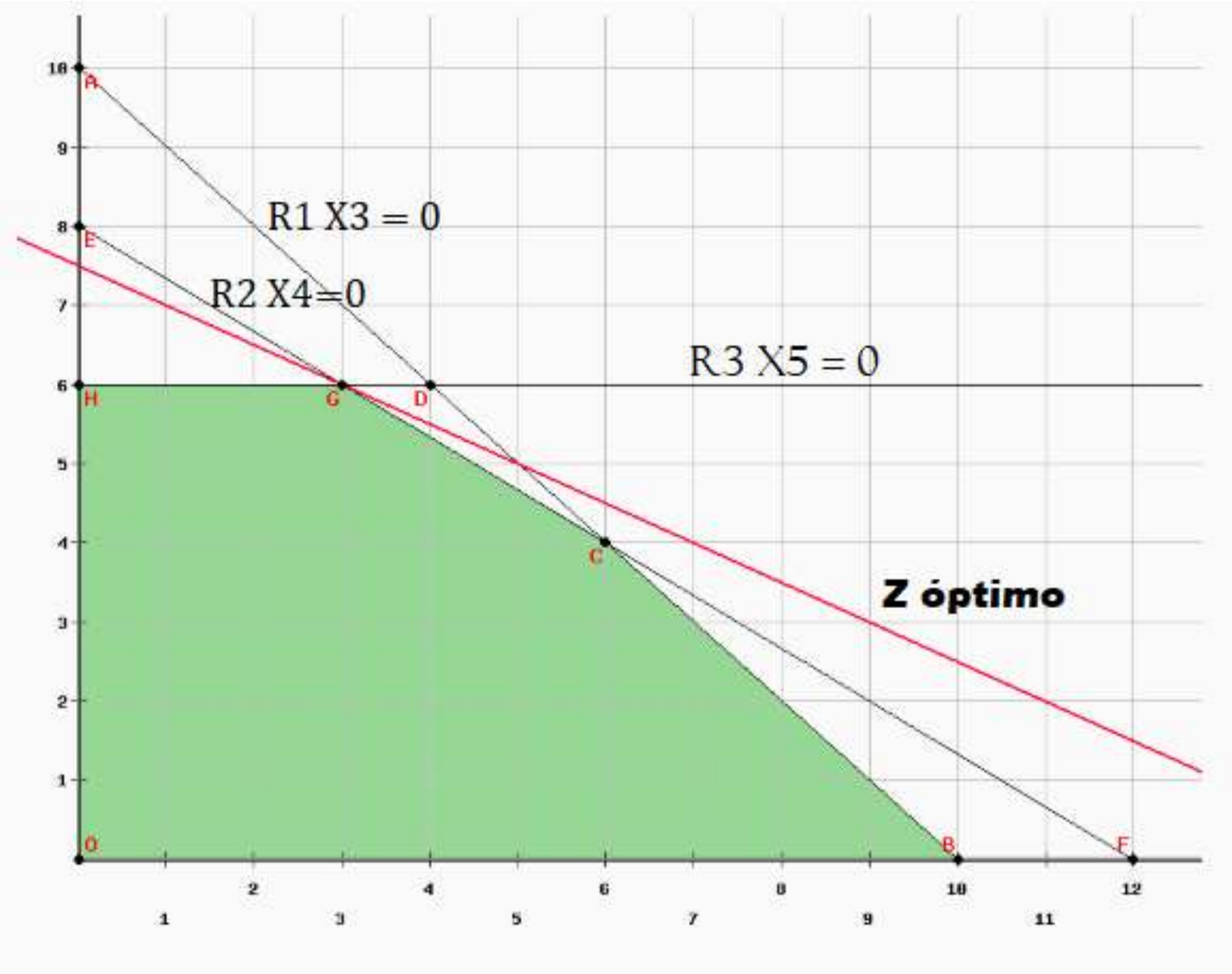
$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0$$

El objetivo:

$$Z = 1X_1 + 2X_2 + 0X_3 + 0X_4 + 0X_5 \rightarrow \text{MAXIMIZAR}$$

$$
\begin{array}{c}
\begin{array}{ccccc} X1 & X2 & X3 & X4 & X5 \end{array} \\
A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 3 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
\end{array}
$$

Resolvemos GRAFICAMENTE



Armemos las matrices

Las restricciones con las slack son:

$$\begin{bmatrix} 1X1 \\ 2X1 \\ 0X1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X2 \\ 3\ X2 \\ X2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1X3 \\ 0X3 \\ 0X3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0X4 \\ 1X4 \\ 0X4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0X5 \\ 0X5 \\ 1X5 \end{bmatrix} \begin{matrix} = \\ = \\ = \end{matrix} \begin{bmatrix} 10 \\ 24 \\ 6 \end{bmatrix}$$

X1, X2, X3, X4, X5 ≥ 0

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 2 & 3 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 10 \\ 24 \\ 6 \end{bmatrix}$$

Primera tabla de simplex

Tabla 1		Cj	1	2	0	0	0
Xk	**Cb**	**BASE**	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**
X3	0	10	1	1	1	0	0
X4	0	24	2	3	0	1	0
X5	0	6	0	1	0	0	1

Primera tabla de simplex

Tabla 1		Cj	1	2	0	0	0
Xk	**Cb**	**BASE**	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**
X3	0	10	1	1	1	0	0
X4	0	24	2	3	0	1	0
X5	0	6	0	1	0	0	1
Z		0					

Z = Cb * BASE,

Cb * columna Ai - Cj

Calculo de fila del Z

Cb * Base : 0* 10 + 0*24 + 0* 6 = 0

Cb * columna Ai – Cj

Columna A1 (X1) = 0*1 +0*2+0*0 -1 = -1

Columna A2 (X2) = 0*1 +0*3+0*1 -2 = -2

Columna A3 (X3) = 0*1 +0*0+0*0 -0 = 0

Columna A4 (X4) = 0*1 +0*0+0*0 -0 = 0

Columna A5 (X5) = 0*1 +0*0+0*0 -0 = 0

Primera tabla de simplex

Tabla 1		Cj	1	2	0	0	0
Xk	**Cb**	**BASE**	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**
X3	0	10	1	1	1	0	0
X4	0	24	2	3	0	1	0
X5	0	6	0	1	0	0	1
Z		0	-1	-2	0	0	0

Selección de la variable que entra

Calcular Indicador de salida

- BASE /Columna Seleccionada

En nuestro caso

BASE / Columna A2 (X2)

10/1 = 10

24/3 = 8

6/1 = 6

Primera tabla de simplex

Tabla 1		Cj	1	2	0	0	0	
Xk	**Cb**	**BASE**	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**	**Θ**
X3	0	10	1	1	1	0	0	10
X4	0	24	2	3	0	1	0	8
X5	0	6	0	1	0	0	1	6
Z		0	-1	-2	0	0	0	

Selección de la variable que sale

Selección de la variable que entra

Como calculamos

La fila del pivot se divide por el pivot

La tercer fila se divide por 1

La columna del pivot se completa con ceros

Como regla la variable que está en la base intersección su columna lleva 1 en ese lugar, el resto de la columna asociado se completa con ceros.

Como calculamos A3

Como regla la variable que está en la base intersección su columna lleva 1 en ese lugar, el resto de la columna asociado se completa con ceros

Tabla 1		Cj	1	2	0	0	0
Xk	**Cb**	BASE	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**
X3					1		
X4					0		
X2					0		

Como calculamos A4

Como regla la variable que está en la base intersección su columna lleva 1 en ese lugar, el resto de la columna asociado se completa con ceros

Tabla 1		Cj	1	2	0	0	0
Xk	**Cb**	**BASE**	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**
X3						0	
X4						1	
X2						0	

Como calculamos

Los demás elementos de la tabla se calculan con la regla de Gauss-Jordan

$$aij^{(nuevo)} = aij^{(anterior)} - \frac{aip^{(anterior)} * apj^{(anterior)}}{app^{(anterior)}}$$

Donde:

aij = es una posición en la tabla (i es la fila, j la columna)

app= es el elemento pivot

Primera tabla de simplex

Tabla 1		Cj	1	2	0	0	0
Xk	**Cb**	**BASE**	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**
X3	0	10 (a1b)	1 (a11)	1 (a12)	1 (a13)	0 (a14)	0 (a15)
X4	0	24 (a2b)	2 (a21)	3 (a22)	0 (a23)	1 (a24)	0 (a25)
X5	0	6 (a3b)	0 (a31)	1 (app)	0 (a33)	0 (a34)	1 (a35)
Z		0	-1	-2	0	0	0

Como calculamos

$$\mathbf{a1b}^{\mathbf{(nuevo)}} = a1b^{(anterior)} - \frac{a1p^{(anterior)} * apb^{(anterior)}}{app^{(anterior)}}$$

$$\mathbf{a1b}^{\mathbf{(nuevo)}} = 10 - \frac{1*6}{1} = 4$$

BASE	X2
10 (a1b)	1 (a12)
6 (a3b)	1 (app)

Como calculamos

$$\mathbf{a2b}^{\mathbf{(nuevo)}} = a2b^{(anterior)} - \frac{a2p^{(anterior)} * apb^{(anterior)}}{app^{(anterior)}}$$

$$\mathbf{a2b}^{\mathbf{(nuevo)}} = 24 - \frac{3*6}{1} = 6$$

BASE	**X2**
24 (a2b)	3 (a22)
6 (a3b)	1 (app)

Como calculamos columna A1

$$\mathbf{a11}^{\mathbf{(nuevo)}} = a11^{(anterior)} - \frac{a1p^{(anterior)} * ap1^{(anterior)}}{app^{(anterior)}}$$

$$\mathbf{a11}^{\mathbf{(nuevo)}} = 1 - \frac{0*1}{1} = 1$$

1 (a11)	1 (a12)
0 (a31)	1 (app)

$$\mathbf{a21}^{\mathbf{(nuevo)}} = a21^{(anterior)} - \frac{a2p^{(anterior)} * ap1^{(anterior)}}{app^{(anterior)}}$$

$$\mathbf{a21}^{\mathbf{(nuevo)}} = 2 - \frac{0*3}{1} = 2$$

2 (a21)	3 (a22)
0 (a31)	1 (app)

Como calculamos columna A5

$$\mathbf{a15}^{\mathbf{(nuevo)}} = a15^{(anterior)} - \frac{a1p^{(anterior)} * ap1^{(anterior)}}{app^{(anterior)}}$$

$$\mathbf{a15}^{\mathbf{(nuevo)}} = 0 - \frac{1*1}{1} = -1$$

0 (a12)	1 (ap5)
1 (a1p)	1 (app)

$$\mathbf{a25}^{\mathbf{(nuevo)}} = a25^{(anterior)} - \frac{a2p^{(anterior)} * ap5^{(anterior)}}{app^{(anterior)}}$$

$$\mathbf{a25}^{\mathbf{(nuevo)}} = 0 - \frac{1*3}{1} = -3$$

0 (a25)	3 (ap5)
1 (a2p)	1 (app)

Primera ITERACION de simplex

Tabla 2			1	2	0	0	0
Xk	**Cb**	**Base**	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**
X3	0	4	1	0	1	0	-1
X4	0	6	2	0	0	1	-3
X2	2	6	0	1	0	0	1
Z		12	-1	0	0	0	2

Primera ITERACION de simplex

Tabla 2			1	2	0	0	0
Xk	**Cb**	**Base**	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**
X3	0	4	1	0	1	0	-1
X4	0	6	2	0	0	1	-3
X2	2	6	0	1	0	0	1
Z		12	-1	0	0	0	2

Segunda ITERACION de simplex

Tabla 3			1	2	0	0	0
Xk	**Cb**	**Base**	**X1**	**X2**	**X3**	**X4**	**X5**
X3	0	1	0	0	1	-1 / 2	1 / 2
X1	1	3	1	0	0	1 / 2	-3 / 2
X2	2	6	0	1	0	0	1
Z		15	0	0	0	1 / 2	1 / 2

Reforzamos lo desarrollado

https://www.youtube.com/watch?v=CCud7rAIi8A

Cambio del tipo de optimización

- Si en nuestro modelo, deseamos minimizar, podemos dejarlo tal y como está, pero deberemos tener en cuenta nuevos criterios para la condición de parada (deberemos parar de realizar iteraciones cuando en la fila del valor de la función objetivo sean todos menores o iguales a 0), así como para la condición de salida de la fila. Con objeto de no cambiar criterios, se puede convertir el objetivo de minimizar la función F por el de maximizar F·(-1).
- **Ventajas:** No deberemos preocuparnos por los criterios de parada, o condición de salida de filas, ya que se mantienen.
- **Inconvenientes:** En el caso de que la función tenga todas sus variables básicas positivas, y además las restricciones sean de desigualdad "≤", al hacer el cambio se quedan negativas y en la fila del valor de la función objetivo se quedan positivos, por lo que se cumple la condición de parada, y por defecto el valor óptimo que se obtendría es 0.
- **Solución:** En la realidad no existen este tipo de problemas, ya que para que la solución quedara por encima de 0, alguna restricción debería tener la condición "≥", y entonces entraríamos en un modelo para el método de las Dos Fases.

Todas las restricciones son de igualdad.

- Si en nuestro modelo aparece una inecuación con una desigualdad del tipo "≥", deberemos añadir una nueva variable, llamada variable de exceso *si*, con la restricción si ≥ 0. La nueva variable aparece con coeficiente cero en la función objetivo, y restando en las inecuaciones.
- Surge ahora un problema, veamos como queda una de nuestras inecuaciones que contenga una desigualdad "≥" :

$$a11 \cdot x1 + a12 \cdot x2 \geq b1 \quad a11 \cdot x1 + a12 \cdot x2 - 1 \cdot xs = b1$$

Todas las restricciones son de igualdad.

- Como todo nuestro modelo, está basado en que todas sus variables sean mayores o iguales que cero, cuando hagamos la primera iteración con el método Simplex, las variables básicas no estarán en la base y tomarán valor cero, y el resto el valor que tengan. En este caso nuestra variable xs, tras hacer cero a x1 y x2, tomará el valor -b1. No cumpliría la condición de no negatividad, por lo que habrá que añadir una nueva variable, xr, que aparecerá con coeficiente cero en la función objetivo, y sumando en la inecuación de la restricción correspondiente.

Todas las restricciones son de igualdad

- Quedaría entonces de la siguiente manera:

a11·x1 + a12·x2 ≥ b1   a11·x1 + a12·x2 - 1·xs + 1 ·xr = b1

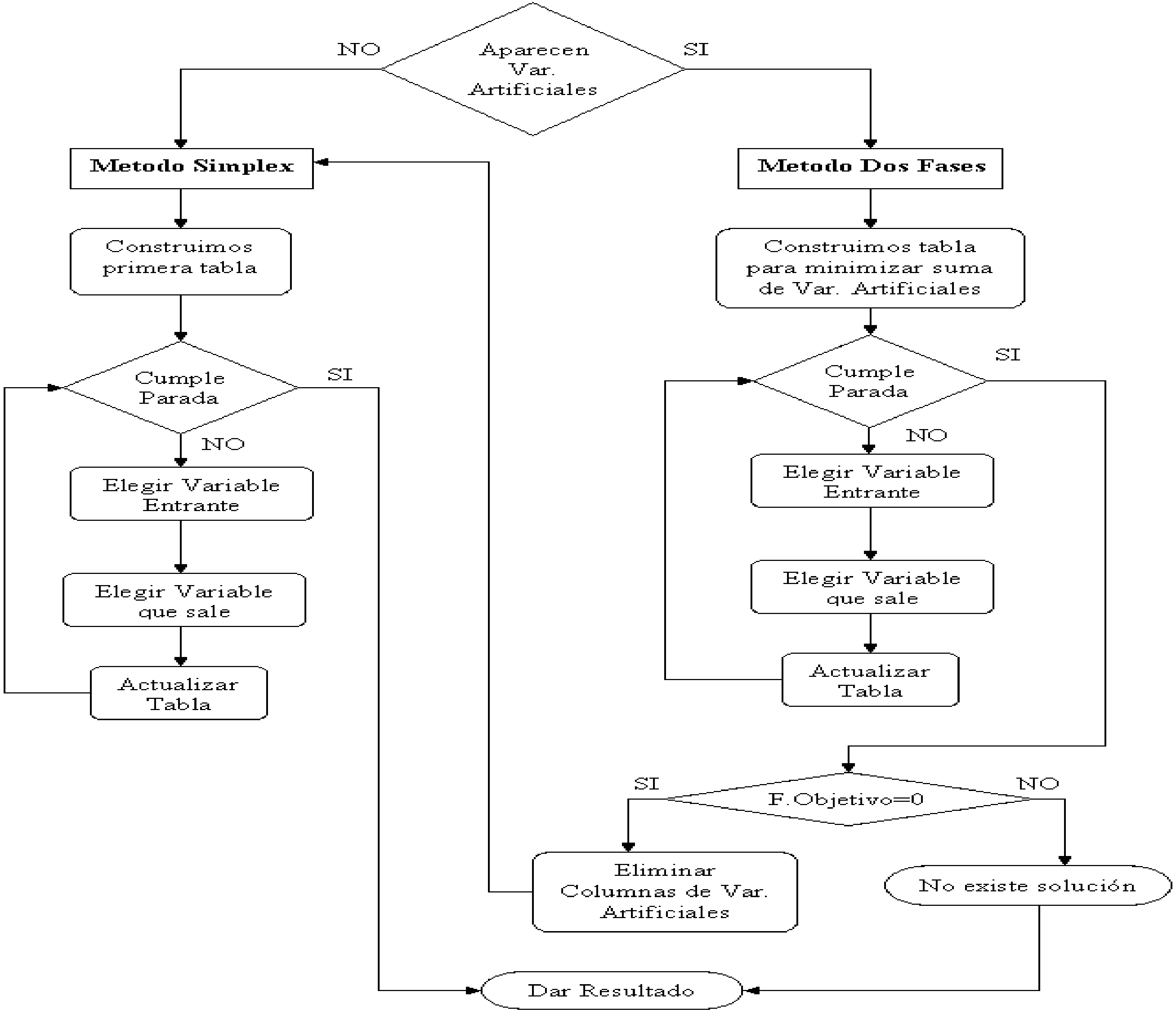
- Este tipo de variables se les llama variables artificiales, y aparecerán cuando haya inecuaciones con desigualdad ("=","≥"). Esto nos llevará obligadamente a realizar el método de las Dos Fases
- Del mismo modo, si la inecuación tiene una desigualdad del tipo "≤", deberemos añadir una nueva variable, llamada variable de holgura si, con la restricción si "≥" 0 . La nueva variable aparece con coeficiente cero en la función objetivo, y sumando en las inecuaciones.

- A modo resumen podemos dejar esta tabla, según la desigualdad que aparezca, y con el valor que deben estar las nuevas variables.

Tipo de desigualdad	**Tipo de variable que aparece**
$\geq$	- exceso + artificial
$=$	+ artificial
$\leq$	+ holgura

DESARROLLANDO EL MÉTODO SIMPLEX

- Una vez que hemos estandarizado nuestro modelo, puede ocurrir que necesitemos aplicar el método Simplex o el método de las Dos Fases. Véase en la figura como debemos actuar para llegar a la solución de nuestro problema.


Aparecen Var. Artificiales
NO
SI
Metodo Simplex
Metodo Dos Fases
Construimos primera tabla
Construimos tabla para minimizar suma de Var. Artificiales
Cumple Parada
SI
NO
Elegir Variable Entrante
Elegir Variable que sale
Actualizar Tabla
Cumple Parada
SI
NO
Elegir Variable Entrante
Elegir Variable que sale
Actualizar Tabla
F.Objetivo=0
SI
NO
Eliminar Columnas de Var. Artificiales
No existe solución
Dar Resultado

Lo reforzamos con este video:

https://www.youtube.com/watch?v
=21lkV3r8r-4

PASO 5: Resolver el modelo utilizando software: Algunas aplicaciones

1. PHPSimplex:

   http://www.phpsimplex.com/simplex/simplex.htm

1. Graficador para dos variables:

   https://www.zweigmedia.com/MundoReal/LPGrapher/lpg.html

1. Geogebra: https://www.geogebra.org/m/UPMkfuuz
2. Optimezer PL IO:

   https://nicmalegre.github.io/optimizer-pl-io/home