



# PROBLEMA DE DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE EJECUCIÓN DE n TRABAJOS EN m MÁQUINAS DONDE CADA TRABAJO TIENEN UNA SECUENCIA DE PROCESO DIFERENTE

Ing. Roberto Eyzaguirre Tejada

### Resumen

En el presente artículo se trata sobre el algoritmo de H. Greenberg que es utilizado para facilitar la búsqueda de una solución gráfica que permita determinar el orden de ejecución de n trabajos.

### Abstract

This article deals with H. Greenberg's algorithm that is used to facilitate the search of a graphic solution that allows to determine the order of execution of n jobs.

Para optimizar el tiempo total de elaboración de varios productos que tienen procesos diferentes dentro de una empresa es conveniente la aplicación de un método que permita determinar el orden de ejecución de las actividades en cada estación de trabajo.

El algoritmo de H. Greenberg se ha asociado con la red de la ruta crítica para facilitar la búsqueda de la solución en forma gráfica, es conveniente anotar que las soluciones de los problemas planteados en un grafo se encuentran con mayor rapidez que utilizando otros métodos.

La información requerida es la siguiente:

- Tiempo de operación requerida para la elaboración de cada producto en cada estación de trabajo.
- Secuencia de operaciones que se sigue para la elaboración de cada producto.

Con esta información se procede como sigue:

- Construir la red de la ruta crítica con la información de las actividades, tiempos y secuencias asumiendo que las estaciones de trabajo están disponibles en el momento que se las requiera. Se calcula el tiempo total y se construye la raíz del árbol donde se consigna el tiempo de la ruta crítica y el número 1 para este primer nodo raíz.
- A partir de una estación de trabajo y los productos que la requieren se elaboran todas las alternativas correspondientes al orden de ejecución de las actividades en esta estación.
- Se toman dos alternativas opuestas. Ejemplo: el producto A se elabora primero que B o viceversa. Se procede a calcular el tiempo total de ejecución para cada una de las

alternativas, se construyen dos ramas, se consignan los valores encontrados en cada vértice asociado con la alternativa y se etiqueta con el siguiente numero(2) el vértice con el menor valor calculado.

El procedimiento se repite con las demás alternativas teniendo siempre presente que la búsqueda de la solución se hace a partir del nodo que tiene el menor valor calculado.

Para ilustrar el método, se presenta a continuación un problema de optimización del tiempo total para la ejecución de los trabajos A, B, C en las máquinas M1, M2 y M3.

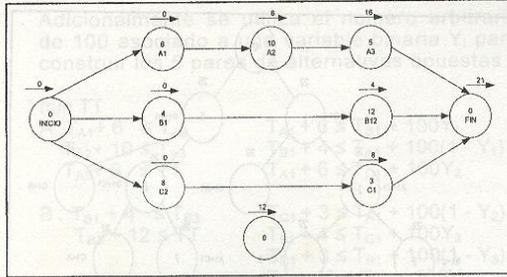
Los tiempos de operación de cada trabajo en cada máquina así como la secuencia de operaciones es como sigue:

### TIEMPO DE OPERACION

TRABAJO	MAQUINA		
	M1	M2	M3
A	6	10	5
B	4	-	12
C	3	8	-

### SECUENCIA DE OPERACIONES

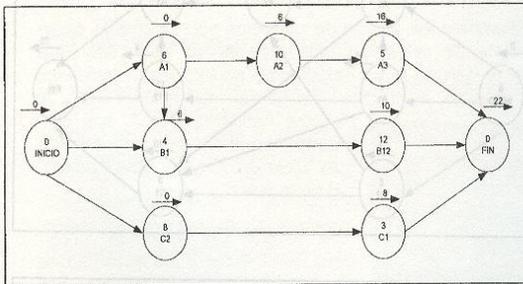
TRABAJO	SECUENCIA		
	1	2	3
A	M1	M2	M3
B	M1	M3	-
C	M2	M1	-



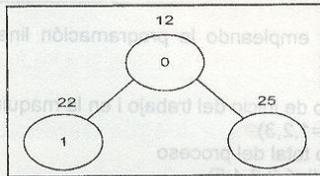
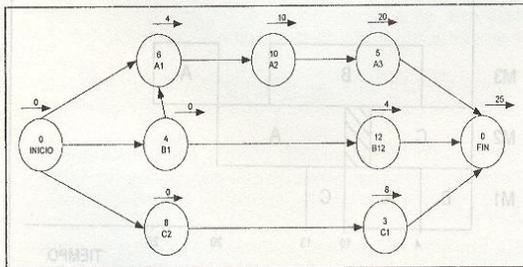
Para determinar el orden de ejecución de los trabajos A, B y C en la máquina M1, se debe evaluar las siguientes alternativas:

- A precede a B o B precede a A
- A precede a C o C precede a A
- B precede a C o C precede a B

**A precede a B (A1<B1)**

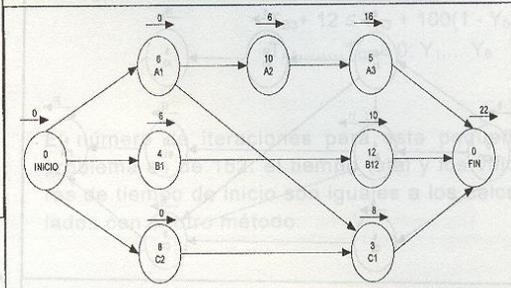


**B precede a A (B1<A1)**

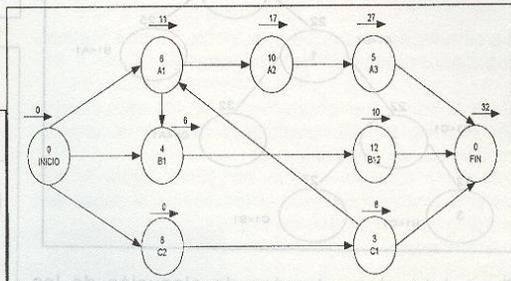


La relación A1<B1 se integra al grafico.

**A precede a C (A1<C1)**

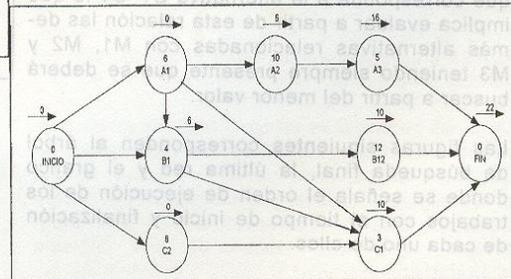


**C precede a A (C1<A1)**



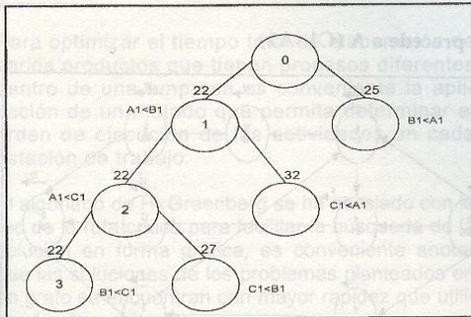
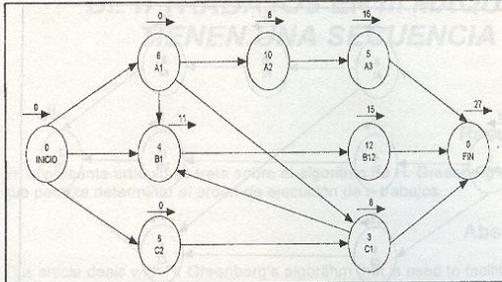
La relación A1<C1 se integra al grafico

**B precede a C (B1<C1)**





C precede a B (C1<B1)

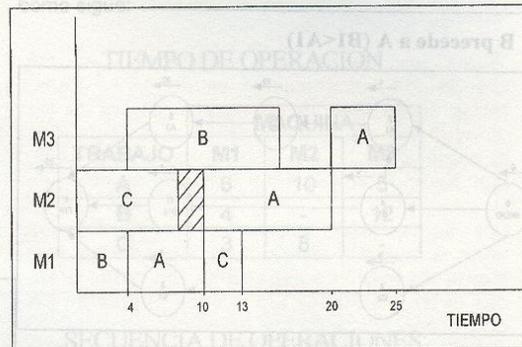
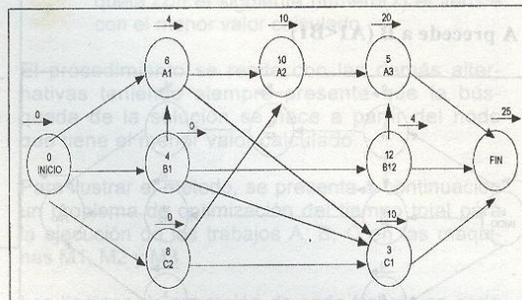
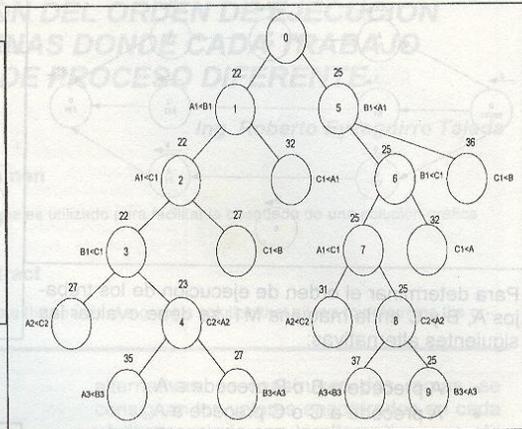


Para determinar el orden de ejecución de los trabajos A y C en la máquina M2, se evalúa las alternativas A2<C2 y C2<A2, los valores encontrados son 27 para la primera y 23 para la segunda. El menor valor hasta ahora es 23 y por consiguiente se etiqueta con 4 el nodo del árbol al cual se ha consignado este valor.

Para determinar el orden de ejecución de los trabajos A y B en la máquina M3 se evalúa las alternativas A3<B3 y B3<A3; los valores encontrados son 35 para la primera y 27 para la segunda.

El menor valor consignado en el árbol es 25 que corresponde a la alternativa B1<C1 lo que implica evaluar a partir de esta relación las demás alternativas relacionadas con M1, M2 y M3 teniendo siempre presente que se deberá buscar a partir del menor valor.

Las figuras siguientes corresponden al árbol de búsqueda final, la última red y el gráfico donde se señala el orden de ejecución de los trabajos con el tiempo de inicio y finalización de cada uno de ellos.



La solución empleando la programación lineal es como sigue:

$T_{ij}$  = Tiempo de inicio del trabajo i en la máquina J;  
 (i=A,B,C ; J=1,2,3)  
 TT= Tiempo total del proceso  
 $Y_i = 1$  o  $\emptyset$ ; (i=1,2,3,4,5)



Adicionalmente se utiliza el numero arbitrario de 100 asociado a una variable binaria  $Y_i$  para construir los 5 pares de alternativas opuestas.

$$\begin{aligned} \min TT \\ \text{A: } T_{A1} + 6 &\leq T_{A2} & T_{A1} + 6 &\leq T_{B1} + 100Y_1 \\ T_{A2} + 10 &\leq T_{A3} & T_{B1} + 4 &\leq T_{A1} + 100(1 - Y_1) \\ T_{A3} + 5 &\leq TT & T_{A1} + 6 &\leq T_{C1} + 100Y_2 \\ \text{B: } T_{B1} + 4 &\leq T_{B3} & T_{C1} + 3 &\leq T_{A1} + 100(1 - Y_2) \\ T_{B3} + 12 &\leq TT & T_{B1} + 4 &\leq T_{C1} + 100Y_3 \\ & & T_{C1} + 3 &\leq T_{B1} + 100(1 - Y_3) \\ & & T_{A2} + 10 &\leq T_{C2} + 100Y_4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{C: } T_{C2} + 8 &\leq T_{C1} & T_{C2} + 8 &\leq T_{A2} + 100(1 - Y_4) \\ T_{C1} + 3 &\leq TT & T_{A3} + 5 &\leq T_{B3} + 100Y_5 \\ & & T_{B3} + 12 &\leq T_{A3} + 100(1 - Y_5) \\ & & T_{A1}, \dots, T_{C3} &\geq 0; Y_1, \dots, Y_5 \end{aligned}$$

El número de iteraciones para este pequeño problema es de 152. el tiempo total y los valores de tiempo de inicio son iguales a los calculados con el otro método.

También se puede definir un juego general con un modelo de simulación que permita procesar decisiones alternativas y las que determinen los elementos de las alternativas en la versión original. Una ventaja de este enfoque es que se pueden definir nuevas alternativas a su vez son la base para nuevas versiones.

Así, los participantes entran en competencia con un juego de simulación que se define en un modelo de simulación.

### Gerencia para la Formación Empresarial

También los juegos de negocios son un medio excelente para presentar una experiencia real simulada que permita a los estudiantes de Ingeniería Industrial vivir en la práctica sin ningún costo financiero. En este tipo de juegos se definen los conceptos y características de una alternativa para una empresa, los conceptos y características de otra alternativa en el mismo negocio.

En un resumen para la clase, se puede definir un juego de negocios como un modelo de simulación que permita procesar decisiones alternativas y las que determinen los elementos de las alternativas en la versión original. Una ventaja de este enfoque es que se pueden definir nuevas alternativas a su vez son la base para nuevas versiones.

Los juegos de negocios son un medio excelente para presentar una experiencia real simulada que permita a los estudiantes de Ingeniería Industrial vivir en la práctica sin ningún costo financiero.

### Aplicación de un modelo de simulación

Un modelo de simulación permite que los participantes controlen cuantitativamente sus decisiones de negocio y algunas de las reacciones de esas decisiones. Es también un modelo estocástico porque aunque muchas variables de la compañía están bajo control, otras variables varían con el azar. En el caso de los negocios y las acciones de la materia, los controlados están más allá del control que los jugadores. Los jugadores toman las decisiones que se definen en el modelo de simulación.

### Clasificación de los Juegos Generales

Los juegos de simulación se pueden clasificar en tres categorías:

### El Concepto de Simulación y Juego

13. Permitir a los participantes adquirir una experiencia real simulada que permita a los estudiantes de Ingeniería Industrial vivir en la práctica sin ningún costo financiero. En este tipo de juegos se definen los conceptos y características de una alternativa para una empresa, los conceptos y características de otra alternativa en el mismo negocio.

14. Crear un juego de simulación que permita a los participantes controlar cuantitativamente sus decisiones de negocio y algunas de las reacciones de esas decisiones.

Esto supone que previamente se ha establecido un modelo de simulación que permita procesar decisiones alternativas y las que determinen los elementos de las alternativas en la versión original.

En un resumen para la clase, se puede definir un juego de negocios como un modelo de simulación que permita procesar decisiones alternativas y las que determinen los elementos de las alternativas en la versión original.

Los juegos de negocios son un medio excelente para presentar una experiencia real simulada que permita a los estudiantes de Ingeniería Industrial vivir en la práctica sin ningún costo financiero.

En este tipo de juegos se definen los conceptos y características de una alternativa para una empresa, los conceptos y características de otra alternativa en el mismo negocio.

En un resumen para la clase, se puede definir un juego de negocios como un modelo de simulación que permita procesar decisiones alternativas y las que determinen los elementos de las alternativas en la versión original.

Los juegos de negocios son un medio excelente para presentar una experiencia real simulada que permita a los estudiantes de Ingeniería Industrial vivir en la práctica sin ningún costo financiero.

En este tipo de juegos se definen los conceptos y características de una alternativa para una empresa, los conceptos y características de otra alternativa en el mismo negocio.

En un resumen para la clase, se puede definir un juego de negocios como un modelo de simulación que permita procesar decisiones alternativas y las que determinen los elementos de las alternativas en la versión original.

Los juegos de negocios son un medio excelente para presentar una experiencia real simulada que permita a los estudiantes de Ingeniería Industrial vivir en la práctica sin ningún costo financiero.

En este tipo de juegos se definen los conceptos y características de una alternativa para una empresa, los conceptos y características de otra alternativa en el mismo negocio.

En un resumen para la clase, se puede definir un juego de negocios como un modelo de simulación que permita procesar decisiones alternativas y las que determinen los elementos de las alternativas en la versión original.

Los juegos de negocios son un medio excelente para presentar una experiencia real simulada que permita a los estudiantes de Ingeniería Industrial vivir en la práctica sin ningún costo financiero.

En este tipo de juegos se definen los conceptos y características de una alternativa para una empresa, los conceptos y características de otra alternativa en el mismo negocio.

En un resumen para la clase, se puede definir un juego de negocios como un modelo de simulación que permita procesar decisiones alternativas y las que determinen los elementos de las alternativas en la versión original.

Los juegos de negocios son un medio excelente para presentar una experiencia real simulada que permita a los estudiantes de Ingeniería Industrial vivir en la práctica sin ningún costo financiero.

En este tipo de juegos se definen los conceptos y características de una alternativa para una empresa, los conceptos y características de otra alternativa en el mismo negocio.

En un resumen para la clase, se puede definir un juego de negocios como un modelo de simulación que permita procesar decisiones alternativas y las que determinen los elementos de las alternativas en la versión original.

Los juegos de negocios son un medio excelente para presentar una experiencia real simulada que permita a los estudiantes de Ingeniería Industrial vivir en la práctica sin ningún costo financiero.

En este tipo de juegos se definen los conceptos y características de una alternativa para una empresa, los conceptos y características de otra alternativa en el mismo negocio.

En un resumen para la clase, se puede definir un juego de negocios como un modelo de simulación que permita procesar decisiones alternativas y las que determinen los elementos de las alternativas en la versión original.

Los juegos de negocios son un medio excelente para presentar una experiencia real simulada que permita a los estudiantes de Ingeniería Industrial vivir en la práctica sin ningún costo financiero.