



## [Universidad, Ciencia y Tecnología](#)

versión impresa ISSN 1316-4821

uct v.9 n.33 Puerto Ordaz mar. 2005

### ESTADO DEL ARTE DE LA PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES CON TIEMPOS DE PREPARACIÓN: TEMA PARA FUTURAS INVESTIGACIONES (Parte I)

DArmas, Mayra

**MSc. Mayra DArmas Regnault:** Profesor Ordinario con categoría Agregado en el Dpto. de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO) Vicerrectorado Puerto Ordaz, Final calle china, Urb. Villa Asia, Puerto Ordaz, Edo. Bolívar Venezuela, Telfax 58-286-9623066, correos electrónicos mdarmas@poz.unexpo.edu.ve y mayra.darmas.upc.es.

**Resumen:** El problema de la programación de operaciones ha sido estudiado durante los últimos cuarenta años. Sin embargo muchas de esas investigaciones no consideran el impacto de los tiempos de preparación, asumiendo que la preparación es insignificante o que forma parte del tiempo de procesamiento. En este artículo se muestra las investigaciones más recientes en el campo de secuenciación de operaciones con tiempos de preparación, se sintetiza y organiza el conocimiento, y se dan sugerencias para futuras investigaciones. Las investigaciones se agruparon en cuatro ambientes productivos principales: una máquina, flowshop, job shop y máquinas paralelas y se clasificaron en problemas con y sin familias de productos, con tiempos de preparación dependientes e independientes de la secuencia. de los casos de aplicación presentados se deduce la importancia práctica de separar los tiempos de preparación de los tiempos de procesamiento y de considerar su dependencia de la secuencia. del análisis del estado del arte de la programación de operaciones con tiempos de preparación, se evidencia que es un campo abierto para futuras investigaciones que se ocupen de las aplicaciones de sistemas de producción del mundo real.

**Palabras clave:** Estado del Arte / Programación de operaciones / Secuenciación / Tiempos de preparación

#### STATE OF THE ART OF SCHEDULING WITH SETUP TIMES: SUBJECT FOR FUTURE RESEARCHES (PART I)

**Abstract:** The scheduling problem has been studied during lasts forty years; nevertheless many of scheduling research not consider the impact of setup times and assume setup as negligible or part of the processing time. This article provides the current research in the operations scheduling field with setup times, synthesizing and organizing knowledge and offering suggestions for future researches. The researches were grouped in four main productive environments: single machine, flow shop, job shop and parallel machines; and they were classified in problems with and without product families, with sequence-dependent and sequence-independent setup times. Of the application cases showed is deduced the practice importance to separate the setup times of the processing times, and to consider its dependency of the sequence. Of the analysis of the state-of-the-art of the operations scheduling with setup times is evidenced that is a field opened for future research in the production systems of the real world.

**Keywords:** Operations Scheduling/ Sequencing/ Setup times / State-of-the-art.

#### Servicios Personalizados

##### Artículo

- Artículo en XML
- Referencias del artículo
- Como citar este artículo
- Traducción automática
- Enviar artículo por email

##### Indicadores

- Citado por SciELO
- Accesos

##### Links relacionados

##### Compartir

Otros

Otros

Permalink

## I. INTRODUCCIÓN

El mundo vive un proceso de cambio acelerado, lo que provoca que cada vez sea más difícil competir. Esto ha impulsado a las empresas al estudio de los sistemas de gestión de la producción dentro de la organización, con el objeto de alcanzar la excelencia al considerar que se trata de una potencial fuente de ventaja competitiva para ellas, y por tanto, un factor determinante de la competitividad.

De acuerdo con Sun et al [1], debido al incremento global de la competición, las compañías requieren entregar los productos a los clientes en plazos de entrega cada vez más cortos. Como resultado, la planificación y el control de la producción están bajo una presión constante de reducir y satisfacer los tiempos de entrega al cliente. Sin embargo, las prácticas actuales de programación de la producción no apoyan la respuesta a esta demanda competitiva. Esto es debido al hecho de que la mayoría de los problemas de la programación de la producción son computacionalmente intratables en términos de una solución óptima, y como un resultado miope se usan frecuentemente las reglas dispatching.

En los sistemas productivos, comúnmente se efectúan diversas operaciones que requieren la preparación de las máquinas y los procesos, y que incluyen actividades como la obtención de herramientas, la colocación del material en proceso, la limpieza, la colocación de plantillas y accesorios, el ajuste de las herramientas, y la inspección del material. A pesar de esto, muchas de las investigaciones en el área de programación de operaciones simplifican el problema ya que asumen que los tiempos de preparación son insignificantes o que forman parte del tiempo de procesamiento. [2]

Allahverdi et al [3] agrupan los problemas de secuenciación con tiempos de preparación en aquellos que tienen y no tienen familias, en los que la preparación puede ser dependiente o independiente de la secuencia (ver [Figura 1](#)). El problema de preparación con familias ocurre cuando se agrupan tipos de piezas en familias de productos y se incurre en un tiempo de preparación cuando se cambia entre los tipos de piezas de las diferentes familias. La preparación es dependiente de la secuencia si su duración depende tanto de la operación actual como de la inmediatamente precedente, y es independiente de la secuencia si su duración depende solamente de la operación actual a ser procesada.

### **Figura 1. Problemas de secuenciación con preparaciones Fuente: Allahverdi et al [3]**

La importancia de los tiempos de preparación ha sido investigada por varios autores:

Flynn [4] determinó que las aplicaciones de procedimientos con tiempos de preparación dependientes de la secuencia y los principios de grupo tecnológico incrementan la capacidad de producción.

Wortman [5] considera que para lograr una gestión efectiva de la capacidad de producción, es necesario considerar los tiempos de preparación.

Según Krajewski et al [6], independientemente del sistema productivo, plantean que la forma más efectiva para reducir los niveles de inventarios y mejorar el servicio al cliente es mediante la reducción simultánea de los tiempos de preparación y los tamaños del lote.

Para Kim y Bobrowski [7] su opinión es que la reducción del tiempo de preparación es una tarea importante para lograr un mejor funcionamiento del taller.

Yang y Deane [8], Patterson [9], Logendran y Sriskandarajah [10], Kolahan y Liang [11], Baker [12], Samaddar [13], Hassin y Shani [14], Shah y Ward [15], Chuang et al [16] consideran que se puede lograr una mejora en el rendimiento, al tratar de manera separada los tiempos de preparación y los tiempos de

procesamiento. Esto es primordial en los actuales enfoques de gestión de la producción, como por ejemplo: Producción Ajustada, Justo a Tiempo (JIT por sus siglas en inglés, Just in Time), Tecnología de Producción Óptima (OPT por sus siglas en inglés, Optimized Production Technology), Tecnología de Grupo (GT por sus siglas en inglés, Group Technology), Fabricación Celular (CM por sus siglas en inglés, Cellular Manufacturing) y Competición Basada en el Tiempo.

Ejemplos de ambientes industriales que sustentan la consideración de separar los tiempos de preparación de los tiempos de procesamiento, se presentan en la industria química, textil, del plástico, farmacéutica, de semiconductores, del metal y de procesamiento de productos, donde normalmente se realizan diversos tipos de operaciones en las instalaciones, que han sido citados por autores tales como:

Conway et al [17], refieren que la industria de la impresión proporciona numerosas aplicaciones de tiempos de preparación dependientes de la secuencia donde la limpieza de la máquina depende del color actual y del siguiente.

Pinedo[18] describe una fábrica de bolsa de papel donde se necesita preparación cuando la máquina cambia entre tipos de bolsas de papel, y la duración de la preparación depende del grado de similitud entre las familias consecutivas, es decir el tamaño y el número de colores.

Das y Gupta [19] hacen referencia al requerimiento de tiempos de preparación dependientes de la secuencia, en la industria del plástico donde los productos pueden ser de diferentes tipos y colores.

França et al. [20] exponen que en la producción química, el tiempo necesario para limpiar un reactor, antes de que se procese un nuevo producto, depende de lo último que se produjo. Otros ejemplos de la industria química lo presentan Gupta et al [21] y Ríos Mercado y Bard [22].

Norman y Bean [23] mostraron el caso de una fábrica de autos. De acuerdo con los autores, en la programación de fabricación de autos hay que considerar varios factores que complican el problema, como por ejemplo, que cada operación tiene un requerimiento particular de montaje.

Jensen et al [24], estudiaron el caso de una industria de semiconductores que tiene preparaciones que dependen de familias de productos. Otra aplicación en este tipo de industria fue presentado por Mason et al [25].

Ng et al [26] y Aldowaisan [27], estudiaron la secuenciación con tiempos de preparación en la industria de la producción de acero.

En este trabajo se presentan las investigaciones más recientes sobre la programación de operaciones con tiempos de preparación, agrupadas en cuatro ambientes productivos principales: una máquina, flowshop, job shop y máquinas paralelas.

## **II. DESARROLLO**

### **1. Nomenclatura**

El problema del Taller Mecánico (Job-Shop Problem), es el prototipo de problema de programación cuyo enunciado básico es de la forma:  $n$  piezas (lotes u órdenes) deben realizarse en  $m$  máquinas (puestos de trabajo). La realización de cada pieza está asignada a una máquina concreta, tiene una duración determinada conocida y debe establecerse una secuencia de operaciones en cada máquina que optimice un cierto índice de eficiencia.

La nomenclatura utilizada sigue el esquema propuesto por Companys y Corominas [28] para describir el problema de secuenciación, que consta de cuatro descriptores A/B/C/D, donde:

A representa al número de piezas ( $n$  indica un número de piezas arbitrario)

B corresponde al número de máquinas en el taller ( $m$  indica un número arbitrario)

C indica el tipo de flujo de las piezas, y generalmente toma valores de F, P, R o G descritos a continuación.

F: indica Flujo Regular (ran Shop), todas las piezas tienen esencialmente la misma ruta. Las máquinas pueden enumerarse  $1, 2, \dots, m$  de forma que si una pieza tiene una operación en la máquina  $r$  y la siguiente en la  $s$ ,  $r < s$  (habitualmente  $s=r+1$ , pero se admite que algunas piezas no tengan ninguna operación en algunas máquinas).

P: indica un caso particular del anterior, donde todas las máquinas tienen la misma secuencia de piezas, es decir la solución buscada es simplemente una permutación de las piezas, que constituye la secuencia en todas las máquinas.

R: indica Rutas Aleatorias (Randomly Routed Job Shop)

G: indica Flujo General. Es decir, la situación en que la ruta de una pieza tiene dos operaciones sucesivas en las máquinas  $r$  y  $s$ , y la de otra pieza tiene dos operaciones sucesivas en  $s$  y  $r$ .

D describe el índice de eficiencia elegido para evaluar los programas (ver [Tabla I](#))

**Tabla I. Algunos medidas de eficiencia comúnmente usadas**

NOTACIÓN	DESCRIPCIÓN
$C$ :	tiempo de procesamiento
$C_{max}$ :	instante de salida de la última pieza
$F$ :	tiempo de permanencia
$F_{max}$ :	tiempo de permanencia de la pieza que permanece más tiempo
$F_{med}$ :	tiempo medio de permanencia en el taller
$T_{max}$ :	retraso de la pieza que se retrasa más
$T_{med}$ :	retraso medio
$\hat{\Delta}T$ :	retraso total
$\hat{\Delta}E$ :	adelanto total
$E-T$ :	cantidad de piezas adelantadas y retrasadas
$W_{med}$ :	espera media
$U_{med}$ :	utilización media de las máquinas
$U_j$ :	cantidad de piezas retrasadas
$WIP$	inventario en proceso

## 2. Problemas de una máquina

En este tipo de problema, las operaciones se llevan a cabo mediante un recurso a la vez y cada operación tiene diferentes propiedades, por ejemplo, tiempo de procesamiento, fecha de vencimiento, tiempo de preparación, y peso. La secuencia de las operaciones puede determinarse de manera que satisfaga un cierto criterio basado en diferentes medidas de resultados.

Ng et al [26], trataron el problema  $n/1//C_{max}$  con familias de productos, definiendo que las piezas asignadas a

la misma familia son procesadas contiguamente y que todas están terminadas cuando finaliza la última pieza en la familia. El tiempo de operación de la familia es igual a la suma de los tiempos de operación de sus piezas y el tiempo de preparación de la máquina es común para todas las familias.

Lee y Asllani [29], proporcionaron dos alternativas de metodologías de solución para un problema NP hard de secuenciación  $n/1// C_{max}, U_j$  con tiempo de preparación dependiente de la secuencia y doble criterio. Las dos metodologías fueron Programación Entera Mixta 0-1 y Algoritmo Genético de Búsqueda.

El problema de programación  $n/1// E-T$  fue planteado por Rabadi et al [30]. Los adelantos y retrasos se pesaron en partes iguales y consideraron fechas de vencimientos iguales y grandes (ilimitadas) para todas las operaciones con tiempos de preparación de la máquina dependientes de la secuencia.

França et al [31] propusieron un Algoritmo Memético (MA por sus siglas en inglés, Memetic Algorithm) y un Algoritmo Genético (GA por sus siglas en inglés, Genetic Algorithm) para el problema  $n/1// \hat{\alpha}T$ . Desarrollaron varios esquemas de reducción de vecinos que afirman ser eficaces cuando se comparan con la vecindad completa.

Baker y Magazine [32], estudiaron un procedimiento  $n/1// T_{max}$  en la presencia de tiempos de preparación entre diferentes familias. Examinaron un modelo específico para este problema, cuando la programación es dominada por una máquina cuello de botella. El algoritmo propuesto se basó en el procedimiento ranco and Bound, considerando propiedades de dominancia.

Dunstall et al [33], propusieron un Algoritmo ranco and Bound para el problema  $n/1//C_{max}$ , donde las piezas están divididas en familias y no es necesaria la preparación entre piezas de la misma familia, siendo la duración de esta preparación independiente de la secuencia.

Tan et al [34], estudiaron el problema  $n/1// \hat{\alpha}T$  considerando que la preparación depende de la secuencia. Para ello compararon los resultados de la aplicación de cuatro métodos: Algoritmo ranco and Bound, Algoritmo Genético, Recocido Simulado (SA por sus siglas en inglés, Simulated Annealing) e Intercambio de Pares con un Inicio Aleatorio.

Baker [12] propuso un procedimiento heurístico para la programación  $n/1//T_{max}$ , asumiendo que las piezas están identificadas con familias distintas, que se requiere preparación cuando la máquina cambia de una familia a otra y que los tiempos de preparación son iguales para todas las familias.

Sun et al [1] desarrollaron una aproximación basada en la relajación de Lagrange para el problema de  $n/1// \hat{\alpha}T^2$ , con  $n$  operaciones independientes en una máquina con fecha de liberación, fecha de entrega y tiempos de preparación dependientes de la secuencia.

Kolahan y Liang [11] investigaron sobre la secuenciación Justo a Tiempo de un centro de maquinado con tiempos de procesamiento variables y preparación dependiente de la secuencia. El objetivo que se plantearon fue encontrar el mejor intercambio entre la meta JIT y la compresión del tiempo de procesamiento y la ampliación de los costos mediante la determinación simultánea de la secuencia de la pieza y los tiempos de procesamiento para las piezas en cuestión. Propusieron un Algoritmo Tabú (TS por sus siglas en inglés, Tabu Search).

Webster et al [35] propusieron e investigaron un Algoritmo Genético, para el problema  $n/1//T-E$ , clasificando las operaciones en familias y considerando que se requiere un tiempo de preparación entre las operaciones de dos familias diferentes. Probaron el Algoritmo Genético con las soluciones obtenidas usando un procedimiento ranco and Bound.

Chen [36] consideraron un modelo de programación en el cual varias familias de productos necesitan ser procesadas mediante una máquina. Investigaron el problema  $n/1//\hat{\alpha}T-E$  y demostraron que el problema es NP-hard, aún cuando haya solamente dos familias de productos y las dos fechas de vencimiento no son ilimitadamente grandes, y propusieron un Algoritmo de Programación Dinámica para resolver este problema con dos familias de productos.

Tan y Narasimhan [37] estudiaron la eficacia del SA al programar  $n/1//\hat{\alpha}T$ . Los resultados de su investigación sugieren maneras en que pueden ser modelados ambientes Job Shop más complejos, tales como múltiples

máquinas con un mayor número de operaciones en la secuencia, y otros objetivos de programación.

Asano y Ohta [38] estudiaron el problema  $n/1//\&E$  con las restricciones, pre-especificadas del instante de entrada de la pieza en el taller (Ready Time) y el instante comprometido de salida de la pieza del taller (Due Time). Para resolverlo, propusieron un Algoritmo de Optimización usando la relación de dominancia para el problema de programación basado en el método ranco and Bound.

Otros autores interesados en estudiar la programación de una máquina, con costos de preparación dependientes de la secuencia, fueron Feo et al [39] quienes propusieron una heurística para resolver el problema  $n/1//T_{med}$ .

Shutten et al [40], plantearon un algoritmo ranco and Bound para resolver el problema  $n/1//\&T_{max}$ . De acuerdo con los autores, este problema surgió del constante dilema en manufactura entre la eficiencia de la producción y los rendimientos de entrega, entre la maximización de la utilización de la máquina mediante las operaciones de familias similares y la maximización de la satisfacción del cliente a través de la finalización de las piezas antes de la fecha de entrega.

Zdrzalka [41] estudió el problema  $2/1//C_{max}$  en el cual el conjunto de piezas a ser programadas consiste en familias de piezas que requieren una preparación de la máquina entre dos piezas programadas consecutivamente de dos familias diferentes. El tiempo de preparación depende solamente de la siguiente familia a ser secuenciada.

Gupta y Hob [42] desarrollaron dos algoritmos heurísticos, considerando dos clases de productos, con el objetivo de minimizar el número de piezas retrasadas. El primer algoritmo incorpora el Algoritmo de Moore con una rutina de cambio de piezas, mientras que el segundo algoritmo añade la búsqueda ranco and Bound al primer algoritmo propuesto.

A continuación, en la [Tabla II](#) se resumen las investigaciones más recientes relacionadas con la secuenciación de operaciones en una máquina, indicando si se consideran familias de productos y tiempos de preparación dependientes o independientes de la secuencia, así como también el método de resolución del problema.

**Tabla II. Investigaciones sobre secuenciación de una máquina con tiempos de preparación.**

AUTOR	TIEMPO DE PREPARACIÓN		FAMILIAS	ÍNDICE DE EFICIENCIA	MÉTODO APLICADO
	Independiente de la secuencia	Dependiente de la secuencia			
Ng et al (2004)	X		X	C	Programación Lineal
Lee y Asllani (2003)		X		$U_j$ y C	Prog. Lineal Entera y GA
Rabadi et al (2003)		X		E-T	Branch and Bound
França et al (2001)		X		$\&T$	MA y GA
Baker y Magazine (2000)		X	X	$T_{max}$	Branch and Bound
Dunstall et al (2000)	X		X	F	Branch and Bound
Tan et al (2000)		X		$\&T$	Branch and Bound, GA, SA

Baker (1999)	X		X	Tmax	Procedimiento Heurístico
Sun et al (1999)		X		$T^2$	Relajación de Lagrange
Kolahan y Liang (1998)		X		E-T (Costos), Costo de y del tiempo de operación	Programación no Lineal Entera y TS
Webster (1998)	X			$\Delta E-T$	GA
Chen Z-L (1997)	X		X	$\Delta E-T$	Programación Dinámica
Liaee y Emmons (1997)	X	X	X	F, Fmax, Tmax, Uj y costo máximo.	Clasificación NP-hard, solucionable, o abierto
Tan y Narasimhan (1997)		X		$\Delta T$	SA
Asano y Ohta (1996)		X		$\Delta E$	Branch and Bound
Feo et al (1996)		X		$\Delta T(\text{costos}) + \text{costos de preparación}$	GRASP
Shutten et al (1996)	X		X	Tmax	Branch and Bound
Zdrzalka (1996)	X		X	C	Branch and Bound
Gupta y Hob (1995)	X		X	Uj	Branch and Bound

### III. REFERENCIAS

- 1) Sun X, Noble J y Klein C., Single-Machine Scheduling with Sequence Dependent Setup to Minimize Total Weighted Squared Tardiness. IIE Transactions, 1999; 31: 113-124 [ [Links](#) ]
- 2) DArmas M y Companys R., Secuenciación de operaciones en una máquina con tiempos de preparación dependientes de la secuencia. Documento Interno de Trabajo. Departamento de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Cataluña. 2003. pp 1-4 [ [Links](#) ]
- 3) Allahverdi A, Gupta J y Aldowaisan T., A Review of Scheduling Research Involving Setup Considerations. Omega, International Journal of Management Science.1999; 27: 219-239 [ [Links](#) ]
- 4) Flynn BB., The Effects of Setup Time on Output Capacity in Cellular Manufacturing. International Journal of Production Research, 1987; 25: 1761-1772 [ [Links](#) ]
- 5) Wortman DB. Managing Capacity: Getting the Most from Your Firms Assets. Industrial Engineering 1992; 24: 47:49 [ [Links](#) ]
- 6) Krajewski L, King B, Ritzman L y Wong D. Kamban, MRP, and Shaping the Manufacturing Environment. Management Science 1987; 33: 39-57 [ [Links](#) ]
- 7) Kim S y Bobrowski P., Impact of Sequence-Dependent Setup Time on Job Shop Scheduling Performance.

- International Journal of Production Research, 1994; 32: 1503-1520 [ [Links](#) ]
- 8) Yang Y y Deane R., Setup Time Reduction and Competitive Advantage in a Closed Manufacturing Cell. European Journal of Operational Research 1993; 69: 413-423 [ [Links](#) ]
- 9) Patterson M., Analysis of Setup Time at Constraint Resources. International Journal of Production Research 1993; 31: 845-849 [ [Links](#) ]
- 10) Logendran R y Sriskandarajah C., Two-Machine Group Scheduling Problem with Blocking and Anticipatory Setups. European Journal of Operational Research 1993; 69: 467-481 [ [Links](#) ]
- 11) Kolahan F y Liang M. An Adaptive TS Approach to JIT Sequencing with Variable Processing Times and Sequence-Dependent Setups, European Journal of Operational Research, 1998; 109: 142-159 [ [Links](#) ]
- 12) Baker K., Heuristic Procedures for Scheduling Job Families with Setups and Due Dates. Naval Research Logistics, 1999; 46: 978-991 [ [Links](#) ]
- 13) Samaddar S., The Effect of Setup Time Reduction on its Variance. Omega, 2001; 29: 243-247 [ [Links](#) ]
- 14) Hassin R y Shani M., Machine Scheduling with Earliness, Tardiness and Non-Execution Penalties. Computers & Operations Research. Article in Press, Available online at www.sciencedirect.com [ [Links](#) ]
- 15) Shah R y Ward P. Lean Manufacturing: Context, Practice Bundles, and Performance. Journal of Operations Management, 2003; 21: 129-149 [ [Links](#) ]
- 16) Chuang B, Ouyang L y Chuang K. A Note on Periodic Review Inventory Model with Controllable Setup Cost and Lead Time. Computers & Operations Research, 2004; 31: 549-561. [ [Links](#) ]
- 17) Conway RW, Maxwell WL y Miller LW., Theory of Scheduling. New York, Dover Publications 1967 pp 53-67. [ [Links](#) ]
- 18) Pinedo M. Scheduling: Theory, Algorithms and Systems. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1995 pp 15-22. [ [Links](#) ]
- 19) Das S y Gupta J. A Savings Index Heuristic Algorithm for Flowshop Scheduling with Sequence Dependent Set-Up Times. Journal of the Operational Research Society, 1995; 46: 1364-1372 [ [Links](#) ]
- 20) França P, Gendreau M, Laporte G y Müller F. A Tabu Search Heuristic for the Multiprocessor Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times, International Journal of Production Economics, 1996; 43: 79-89 [ [Links](#) ]
- 21) Gupta J, Strusevich V y Zwanevel C., Two-Stage No-Wait Scheduling Models with Setup and Removal Times Separated. Computers Operation Research, 1997; 24:1025-1031 [ [Links](#) ]
- 22) Rios-Mercado R y Bard J., Secuenciando óptimamente líneas de flujo en sistemas de manufactura, Ingenierías, 2001; 10: 39-45 [ [Links](#) ]
- 23) Norman B y Bean J. A, Genetic Algorithm Methodology for Complex Scheduling Problems. Naval Research Logistics, 1999; 46: 199-211 [ [Links](#) ]
- 24) Jensen J, Malhotra M y Philipoom P., Family-Based Scheduling of Shops with Functional Layouts. International Journal of Production Research, 1998; 36: 2687- 2700 [ [Links](#) ]
- 25) Mason S, Fowler J y Carlyle W. A Modified Shifting Bottleneck Heuristic for Minimizing Total Weighted Tardiness in Complex Job Shops. Journal of Scheduling, 2002; 5:247-262 [ [Links](#) ]
- 26) Ng C-T-D, Cheng E y Kovalyov M. Single Machine Batch Scheduling with Jointly Compressible Setup and Processing Times. European Journal of Operational Research, 2004; 153: 211-219 [ [Links](#) ]
- 27) Aldowaisan T. A New Heuristic and Dominance Relations for No-Wait Flowshops with Setups. Computers & Operations Research, 2001; 28: 563-584 [ [Links](#) ]

- 28) Companys R y Corominas A. Organización de la Producción II: Dirección de Operaciones. Barcelona, España, Ediciones UPC, 1996. p.9-34 [ [Links](#) ]
- 29) Lee S M y Asllani A. Job Scheduling with Dual Criteria and Sequence-Dependent Setups: Mathematical Versus Genetic Programming. Omega, 2003. Article in Press, Available online at www.sciencedirect.com [ [Links](#) ]
- 30) Rabadi G, Mollaghasemi M y Anagnostopoulos G. A Branch-and-Bound Algorithm for the Early/Tardy Machine Scheduling Problem with a Common Due-Date and Sequence-Dependent Setup Time. Computers & Operations Research, 2003. Article in press. Disponible online en: www.sciencedirect.com [ [Links](#) ]
- 31) França P, Mendes A y Moscazo P. A Memetic Algorithm for the Total Tardiness Single Machine Scheduling Problem. European Journal of Operational Research 2001; 132: 224-242 [ [Links](#) ]
- 32) Baker K y Magazine M. Minimizing Maximum Lateness with Job Families. European Journal of Operational Research, 2000; 127: 126-139 [ [Links](#) ]
- 33) Dunstall S, Wirth A y Baker K. Lower Bound and Algorithms for Flowtime Minimization on a Single Machine with Set-Up Times. Journal of Scheduling, 2000; 3: 51-69 [ [Links](#) ]
- 34) Tan K-C, Narasimhan R, Rubin P, Ragatz G. A Comparison of Four Methods for Minimizing Total Tardiness on a Single Processor with Sequence Dependent Setup Times. Omega, 2000; 28: 313-326 [ [Links](#) ]
- 35) Webster S, Jog P y Gupta A. A Genetic Algorithm for Scheduling Job Families on a Single Machine with Arbitrary Earliness/Tardiness Penalties and an Unrestricted Common Due Date. International Journal of Production Research, 1998; 36: 2543- 2551 [ [Links](#) ]
- 36) Chen Z-L., Heuristic Procedures for Scheduling Job Families with Setups and Due Dates. European Journal of Operational Research, 1997; 96: 518-537 [ [Links](#) ]
- 37) Tan K-C y Narasimhan R., Minimizing Tardiness on a Single Processor with Sequence-Dependent Setup Times: a Simulated Annealing Approach. Omega, International Journal Management Science, 1997; 25: 619-634 [ [Links](#) ]
- 38) Asano M y Ohta H. Single Machine Scheduling Using Dominance Relation to Minimize Earliness Subject to Ready and Due Times. International Journal Production Economics, 1996; 44: 35-43 [ [Links](#) ]
- 39) Feo T, Sarathy K y McGahan J. A Grasp for Single Machine Scheduling with Sequence Dependent Setup Costs and Linear Delay Penalties. Computers Operations Research, 1996; 23: 881-895 [ [Links](#) ]
- 40) Shutten J, Van de Velde S y Zijm W. Single Machine Scheduling with Release Dates, Due Dates and Family Setup Times. Management Science, 1996; 42: 1165-1174 [ [Links](#) ]
- 41) Zdrzalka S. A Sequencing Problem with Family Setup Times. Discrete Applied Mathematics, 1996; 66: 161-183 [ [Links](#) ]
- 42) Gupta J y Hob J. Scheduling with Two Job Classes and Setup Times to Minimize the Number of Tardy Jobs. International Journal of Production Economics, 1995; 42: 205-216. [ [Links](#) ]

**Nota: La segunda parte de este artículo se publicará en el próximo ejemplar de Universidad, Ciencia y Tecnología.**

---

**Dirección de Investigación y Postgrado, UNEXPO, Vicerrectorado Puerto Ordaz, Alta Vista Sur, Urb. Villa Asia  
Final calle China, Apdo. Postal 78, Puerto Ordaz, Edo. Bolívar, Venezuela, Tele/fax (0286)962.52.45 -  
961.13.82 E-mail: luifed@telcel.net.ve**



[uct-poz@unexpo.edu.ve](mailto:uct-poz@unexpo.edu.ve)