

## **Estabilidad del horizonte de programación en la aplicación de heurísticas al problema del ELSP con Coproducción Deliberada**

**Pilar I. Vidal-Carreras<sup>1</sup>, Jose P. Garcia-Sabater<sup>1</sup>, Manel Mateo Doll<sup>2</sup>, Juan A. Marín-García<sup>1</sup>, Julio-J. García-Sabater<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ROGLE. Departamento de Organización de Empresas. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n 46022. Valencia. pivicar@omp.upv.es, jpgarcia@omp.upv.es, jamarin@omp.upv.es, jugarsa@omp.upv.es

<sup>2</sup>Departamento de Organización de Empresas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. Universidad Politécnica de Catalunya. Av. Diagonal, 647, 08028. Barcelona. manel.mateo@upc.edu

**Palabras clave:** ELSP, Coproducción Deliberada, Simulación, Periodo de Calentamiento

### **1. Introducción**

El presente artículo analiza la influencia del horizonte de programación al emplear la estrategia de simulación como medio para comparar del rendimiento de determinadas heurísticas. Concretamente nos centramos en el problema de programación del lote económico (ELSP) con coproducción deliberada. El problema del ELSP con coproducción consiste en la búsqueda de programas cíclicos de producción para varios productos en una sola máquina. Se pretende que se minimicen los costes del sistema con la particularidad de que determinados procesos productivos pueden dar como resultado más de un producto de manera simultánea en una misma máquina (coproducción). Las heurísticas simuladas son tres Economic Manufacturing Quantity (EMQ), la debida a Doll&Whybark (1973), y la debida a Fransoo (1995) modificadas para considerar el fenómeno de coproducción.

Pretendemos evaluar estas heurísticas para diversos escenarios que tienen condiciones diferentes de inventarios iniciales a través de la simulación. Así, se analizará si es posible generalizar un horizonte común para cada una de las heurísticas, que sea viable para el cálculo de la programación y que no interfiera en la interpretación de las heurísticas. De este modo los resultados obtenidos con las heurísticas mejoran su grado de comparativa. Como nuestro objetivo es la búsqueda de la convergencia en los experimentos, si es que existe, nos parece oportuno relacionar el tiempo a partir del cual las heurísticas mantienen el mismo comportamiento frente a distintos stocks iniciales con el concepto de periodo de calentamiento de la simulación. Podemos definir el periodo de calentamiento de una simulación como aquel tiempo que el sistema necesita para estabilizarse, y finalizar su periodo transitorio. De ese modo es a partir de ese tiempo cuando se puede asumir que los resultados de la simulación son válidos puesto que se ha eliminado el posible sesgo.

### **2. Revisión de la literatura**

El problema clásico del ELSP ha sido estudiado en la literatura desde hace más de 50 años (Eilon, 1957) y (Rogers, 1958). Podemos encontrar diversos estados del arte del problema en (Elmaghraby, 1978; Karimi et al., 2003; Lopez y Kingsman, 1991). De acuerdo (Boctor, 1987) el problema aparece en muchas situaciones como en plantas de estampación y soldadura, en líneas de producción de plástico, en la industria del papel, etc. Sin embargo, en situaciones prácticas es común que alguna característica del ELSP aparezca modificada, como ocurre en ese caso, en el que aparece el fenómeno de coproducción.

Podemos decir que existe coproducción cuando un proceso productivo da como resultado más de un producto de manera simultánea (Deuermeyer y Pierskalla, 1978). La coproducción suele ocurrir en entornos de producción en los que algunos procesos no se conocen/comprenden perfectamente y/o no están totalmente bajo control (Oner y Bilgic, 2008). Así, cuando esto ocurre de modo incontrolable o demasiado caro/complejo para controlar, hablamos de coproducción incontrolada. La mayoría de las áreas productivas intercambian el significado de coproducción y producción de byproducts (Bitran y Leong, 1995). Para estas industrias, el resultado de un proceso genera un conjunto determinado de productos que pueden ser clasificados de acuerdo con una jerarquía de calidad (Bitran y Dasu, 1992). Así se puede interpretar como producto principal a aquel que cumple las especificaciones objetivo definidas previamente por el usuario, y byproducts a aquellos productos que no las cumplen completamente. Normalmente no es conocida con exactitud la tipología de los productos salientes puesto que en el proceso influyen una serie de campos aleatorios, como pueden ser la temperatura, vibraciones o la presencia de polvo en el proceso (Bitran y Gilbert, 1994; Gerchak et al., 1996).

En la literatura existen varios artículos que emplean técnicas de simulación para la evaluación de heurísticas en la resolución del problema del ELSP modificado. Estos artículos presentan un ELSP con una tipología de la demanda y las características del producto/proceso especiales. Concretamente aparecen simulados sistemas productivos con demanda dinámica estocástica (Gascon et al., 1994; Leachman y Gascon, 1988), demanda dinámica estática (Brander et al., 2005; Vergin y Lee, 1978), sistemas híbridos de producción contra stock y bajo pedido (Soman et al., 2004) y coproducción deliberada (Vidal-Carreras et al., 2008). Es interesante señalar que a pesar de que las heurísticas simuladas coinciden en la mayoría de los artículos (EMQ, Vergin y Lee, Doll y Whybark, *Lookhead* Heurísticas, Longitud de Ciclo dinámica y extensiones), cada autor emplea un horizonte de programación distinto para la simulación. Mientras uno se ciñe a 100 periodos otro alarga hasta 3000, considerando también el rango de variabilidad de la demanda diferente. Así, en este artículo pretendemos, centrándonos en un caso concreto de simulación (Vidal-Carreras et al., 2008), variar el horizonte en un rango suficiente que permita analizar su efecto en la evaluación de heurísticas.

Respecto a las técnicas que existen en la literatura para analizar el tiempo de estabilización del sistema, y poder así determinar el periodo de calentamiento del sistema podemos distinguir entre métodos gráficos, analíticos, heurísticas, estadísticas e híbridos. Los métodos gráficos implican una inspección visual de las series temporales de los datos de salida (Law y Kelton, 2000; Robinson, 2007; Welch, 1983). Las aproximaciones heurísticas aplican reglas simples con algunas varias suposiciones subyacentes (Fishman, 1978; Pawlikowski, 1990; White et al., 2000). Los métodos estadísticos confían en los principios de la estadística para determinar el periodo de calentamiento (Yucesan, 1993). Los métodos híbridos consisten en una combinación de métodos gráficos o heurísticas con un test iniciales que intentan eliminar datos sesgados (Pawlikowski, 1990).

### **3. Metodología para la búsqueda de la estabilidad**

En el presente artículo para determinar el periodo de calentamiento, es decir a partir de que periodo la simulación se mantiene estable, y poder definir un horizonte de programación no afecte a la interpretación de las heurísticas decidimos emplear el método gráfico de Welch (Welch, 1983). Escogemos este método puesto que se trata de un método sencillo y ampliamente empleado en la práctica. A continuación exponemos los pasos del mismo tal y como afirma (Law y Kelton, 2000):

1. Realizar n réplicas de la simulación cada una con una longitud m. Se denomina  $Y_{ji}$  al resultado de la observación i de la réplica j. El valor de i va desde 1 hasta m y el de j desde 1 hasta n.

2. Calcular el promedio de las réplicas, es decir (1):

$$\bar{Y}_i = \sum_{j=1}^n \frac{Y_{ji}}{n} \text{ para } i=1,2,\dots,m \quad (1)$$

3. Definir una media móvil  $\bar{Y}_i(w)$  para alisar la alta frecuencia de las oscilaciones  $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \dots, \bar{Y}_m$ , siendo w la ventana temporal. Esta ventana w es un valor entero positivo, menor o igual que m/4. Así de acuerdo con (1), el valor de  $\bar{Y}_i(w)$  viene dado por:

4. Dibujamos  $\bar{Y}_i(w)$  para  $i=1,2,3,\dots,m-w$  y elegimos la longitud del ciclo de calentamiento L como el valor para el cual  $\bar{Y}_i(w)$  comienza a converger.

En nuestro caso como detallamos en el modelo de simulación del apartado 5 realizaremos 14 réplicas para 3000 días, lo que significa que  $n=14$  y  $m=3000$ . El valor de la ventana temporal se define como 10 puesto que con ese valor el experimento ya converge, y de acuerdo con (Law y Kelton, 2000) la ventana temporal ha de tomar el mínimo valor a partir del cual se pueda apreciar convergencia.

#### 4. Heurísticas Simuladas

Las heurísticas que vamos a emplear para analizar la influencia del horizonte de programación en el caso del ELSP con coproducción son la regla EMQ, la regla de (Doll y Whybark, 1973) y la regla de (Fransoo et al., 1995) adaptadas al fenómeno de coproducción.

La heurística EMQ esta basada en los ciclos de producción independiente

$T_i = \sqrt{2A_i H / h_i d_i (1 - d_i / p_i)}$   $i = 1 \dots n$  y nosotros realizamos la modificación de incorporar coproducción (2):

$$T_{ij} = \sqrt{2A_{ij} H / \left( h_i d_i (1 - d_i / p_{ij}) + h_j d_j (1 - d_i / p_{ij}) \right)} \quad i = 1 \dots n \quad (2)$$

donde, H es el horizonte, y para cada producto  $i=1,\dots,n$ ,  $T_i$  es el tiempo de ciclo,  $A_i, A_{ij}$  son los costes de setup del producto i o del producto i con el j,  $p_i$  y  $p_{ij}$  son los ratios de producción del producto i o del producto i con el j,  $h_i$  son los costes de almacenamiento y  $d_i$  es la demanda diaria de cada producto. En la heurística EMQ los ítems son producidos de acuerdo su cantidad económica siempre que no haya otro ítem cuyo stock caiga por debajo de su stock mínimo. Por lo tanto podemos afirmar que se trata básicamente de una política (s,S) multi-item. Nuestra implementación de la heurística de Doll y Whybark es muy similar a la metodología de la heurística EMQ, modificando el modo de calcular el tiempo de ciclo,  $T_i$  y  $T_{ij}$ . Nosotros modificamos la regla clásica para incorporar coproducción. En Doll y Whybark se calcula el tiempo de ciclo para cada producto i,  $T_i$ ,

como múltiplo de un ciclo fundamental de longitud  $T$ , de modo que  $T_i = k_i T$  siendo  $k_i$  un entero positivo. Nosotros incorporamos  $T_{ij} = k_i T$ . La heurística de (Fransoo et al., 1995) sugiere una política sencilla basada en conseguir tiempos de ciclo estables. La idea es mantener los tiempos de ciclo todo el tiempo posible. De este modo la producción de un ítem no se ve afectada por las condiciones del resto de los productos. De este modo cada producto bien sea de modo aislado o mediante coproducción se fabrica hasta que alcanza su stock máximo. Señalar que en esta regla se emplean los tiempos de ciclo obtenidos de la regla de Doll&Whybark.

La explicación en detalle de estas heurísticas y su modificación para incluir la variable de coproducción se encuentra desarrollada en (Vidal-Carreras et al., 2008).

## 5. Modelo de Simulación

El modelo de simulación es desarrollado empleando el programa Anylogic 6.0. El modelo dispone de dos módulos principales. En el primer módulo que se seleccionan las condiciones iniciales de la simulación, que afectan a los datos de entrada de la misma. Esto es: heurística a simular, número de escenario, valores de los stocks iniciales y la posibilidad de coproducción. El segundo módulo ejecuta la regla de secuenciación elegida y presenta los resultados de acuerdo con la forma escogida.

## 6. Condiciones de Simulación

Todas las simulaciones se ejecutan para 3000 días asumiendo que los ítems se pueden producir en una misma máquina. Se considera este horizonte suficientemente amplio para incluir la convergencia de las heurísticas con distintos escenarios. La actividad productiva se asume de 240 para cada año, sólo días laborables. Los escenarios planteados pretenden plantear situaciones en las cuales los inventarios iniciales tienen distintos valores. Para ello se considera oportuno relacionar su valor con el valor del inventario inicial de cada uno de los productos, de acuerdo con un factor  $\alpha > 0$ . Así denominando  $S_i$  al inventario inicial y  $ss_i$  el inventario de seguridad de cada uno de los productos  $i$  (1,2...10), los escenarios serían los siguientes (Ver Tabla 1):

**Tabla 1. Escenarios de Simulación**

Nº Escenario	Hipótesis
1	$\forall i, ss_i = \alpha s_i$
2.1	$\forall i \in (1..5) \rightarrow ss_i = \alpha s_i, \forall i \notin (1..5) \rightarrow s_i \approx ss_i$
2.2	$\forall i \in (1..5) \rightarrow s_i \approx ss_i, \forall i \notin (1..5) \rightarrow ss_i = \alpha s_i$
3.1	$\forall i \in (1..3) \rightarrow ss_i = \alpha s_i, \forall i \notin (1..3) \rightarrow s_i \approx ss_i$
3.2	$\forall i \in (4..6) \rightarrow ss_i = \alpha s_i, \forall i \notin (4..6) \rightarrow s_i \approx ss_i$
3.3	$\forall i \in (7..10) \rightarrow ss_i = \alpha s_i, \forall i \notin (7..10) \rightarrow s_i \approx ss_i$
4	$\forall i, s_i \approx ss_i$

Los datos empleados en la simulación son el conjunto de 10 productos de (Bomberger, 1966) puesto que son los más usados en la literatura relacionada con el ELSP (Haessler, 1979). En este artículo son modificados con coproducción, concretamente planteando la existencia de tres grupos, de acuerdo :

**Tabla 1. Escenarios de Simulación**

Productive Option	Part N.	Setup Cost	Unit Cost*	Prod Rate (unit /day)	Demand** (unit/day)	Setup Time (hours)
1	1	15	0,065	30000	400	1
2	2	20	0,1775	8000	400	1
3	3	30	0,1275	9500	800	2
2+3	2 3	25	0,1775	0,1275 4000	4750 400	800 1,5
4	4	10	0,1	7500	1600	1
5	5	110	2,785	2000	80	4
6	6	50	0,2675	6000	80	2
5+6	5 6	80	2,785	0,2675 1000	3000 80	80 3
7	7	310	1,5	2400	24	8
8	8	130	5,9	1300	340	4
9	9	200	0,9	2000	340	6
8+9	8 9	165	5,9	0,9 650	1000 340	340 5
10	10	5	0,04	15000	400	1

\*Annual inventory cost = 10% of item cost and one year = 240 - 8 hour days

\*\*Normal distribution, coefficient of variance 0,1

## 7. Dinámica de la Simulación

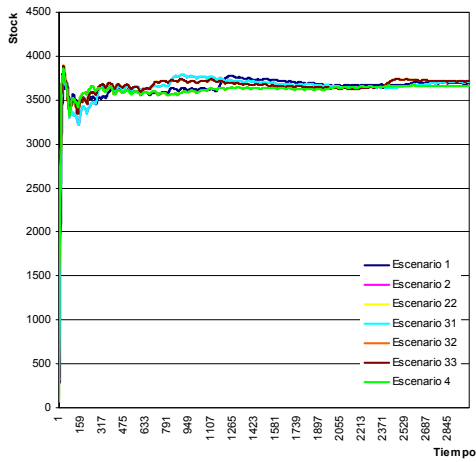
Realizaremos las distintas simulaciones para cada una de las heurísticas y para cada uno de los escenarios considerando como factor  $\alpha$  2 y 4. De este modo resultan 14 escenarios para cada una de las heurísticas planteando un horizonte de programación muy elevado (3000 días) de forma que la estabilización de la demanda se obtenga antes del fin del mismo. Se considera adecuado plantear los resultados en dos situaciones, con y sin coproducción, de forma que puedan compararse y extraerse conclusiones.

## 8. Resultados de la simulación

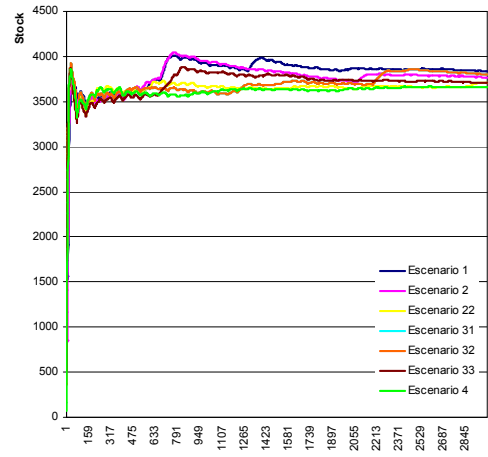
Los resultados se presentan con gráficas para cada una de las 3 heurísticas incluyendo los 14 escenarios. Las gráficas incluirán en su eje de abscisas el horizonte de programación (días) y en eje de ordenadas el coste medio diario para todos los productos, esto es, el cociente entre el sumatorio de los costes totales (almacenamiento y setup) de todos los productos y el sumatorio de los días transcurridos. Para poder observar adecuadamente los datos se considera interesante separar los escenarios de acuerdo con el valor del factor  $\alpha$ . Con el fin de obtener el horizonte a partir del cual se estabilizan las simulaciones se aplica en método de Welch y se presente para cada una de las 3 heurísticas la gráfica de las medias móviles para la ventana de 10 en el caso de no coproducción y de coproducción.

## 9. Heurística EMQ

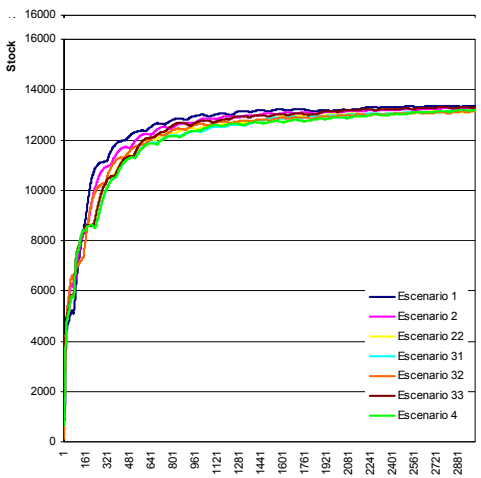
Para la heurística EMQ en el caso de coproducción el sistema se comporta en cuanto costes medios diarios de manera muy similar tanto si el factor  $\alpha$  es 2 como si es 4. Se aprecian diferencias para cada uno de los escenarios pero el comportamiento global sigue la misma tendencia. Sin embargo en el caso de que no exista coproducción parece mucho más estable la situación en la que el factor  $\alpha$  es 2, tal y como podemos observar en las gráficas de la Figura 1.



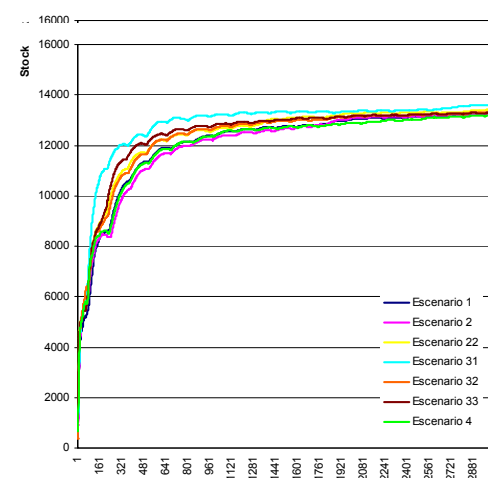
(a) H1. Sin Coproducción. Factor  $\alpha=2$



(b) H1. Sin Coproducción. Factor  $\alpha=4$



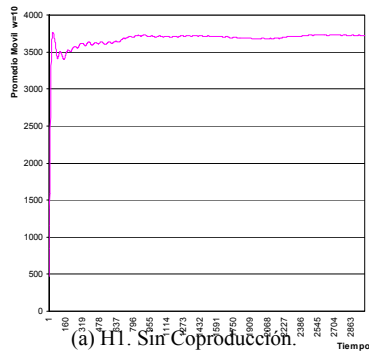
(c) H1. Coproducción. Factor  $\alpha=2$



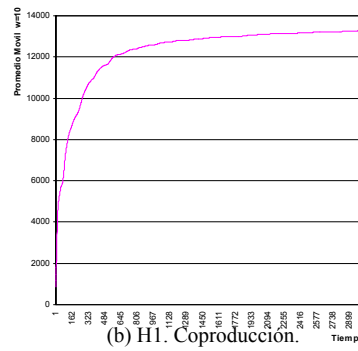
(d) H1. Coproducción. Factor  $\alpha=4$

**Figura 1.** Costes Totales Medios Diarios para la heurística EMQ

A continuación se presentan en la Figura 2 el promedio móvil  $\bar{Y}_i(w)$  para la ventana temporal de 10, para cada uno de las dos situaciones, con y sin coproducción. Las graficas se han obtenido a partir de las 14 réplicas anteriores en cada uno de los dos casos. Como vemos la estabilidad en el horizonte parece que se alcanza de manera más clara en el caso sin coproducción. En torno a los 1000 días parece que empieza a mantenerse estable. Sin embargo en el caso de coproducción tiene una tendencia creciente no mostrándose de manera clara su punto de estabilidad.



(a) H1. Sin Coproducción.

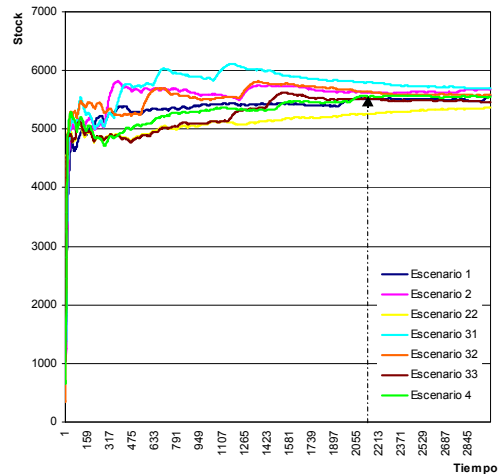
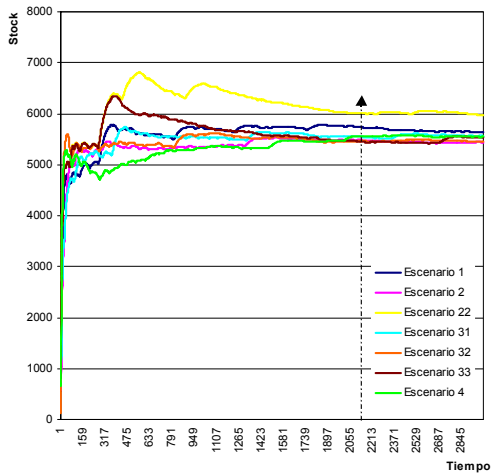
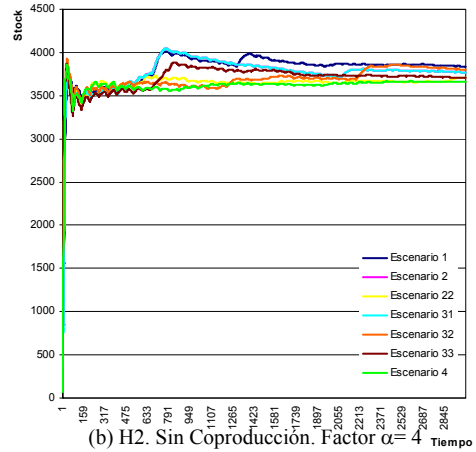
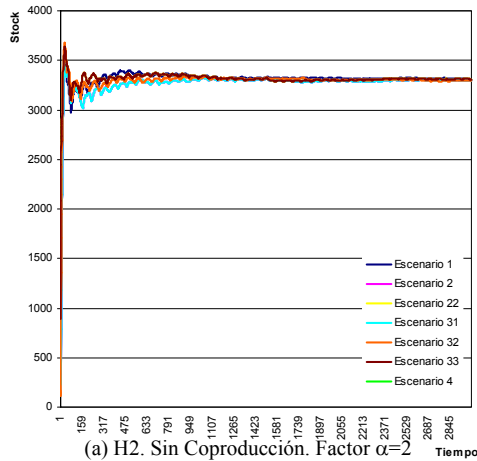


(b) H1. Coproducción.

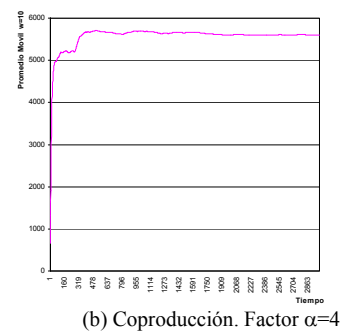
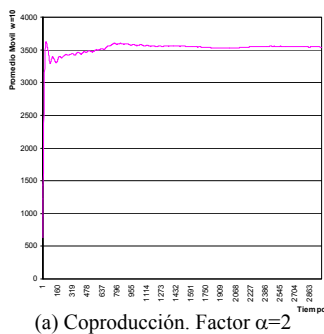
**Figura 2.** Promedio Móvil  $\bar{Y}_i(w)$  con  $w=10$

## 10. Heurística Doll & Whybark

Para el caso de la heurística de Doll and Whybark sin coproducción se aprecia un resultado mucho más convergente en el caso del factor 2 de acuerdo con la Figura 3. Es interesante señalar como con el factor 4 los costes resultan ser mucho más variados aunque también tiende a converger. En la Figura 4 se aprecia como el sistema sin coproducción alcanza la estabilidad en torno a los 600 días, mientras que con coproducción este hecho se demora.



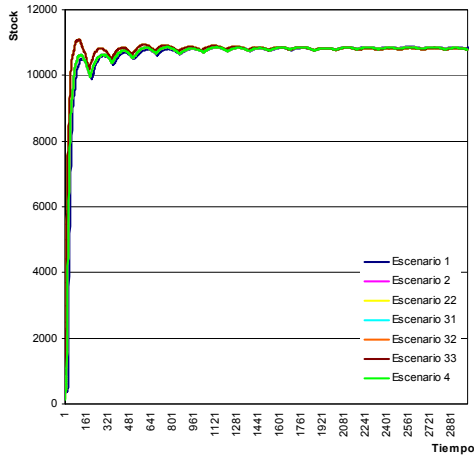
**Figura 3.** Costes Totales Medios Diarios para la heurística de Doll&Whybark



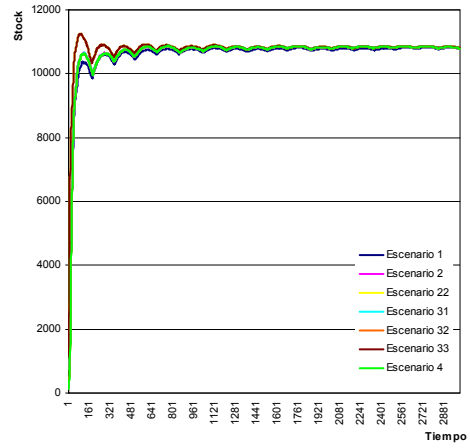
**Figura 4.** Promedio Móvil  $\bar{Y}_i(w)$  con  $w=10$

## 11. Heurística Fransoo

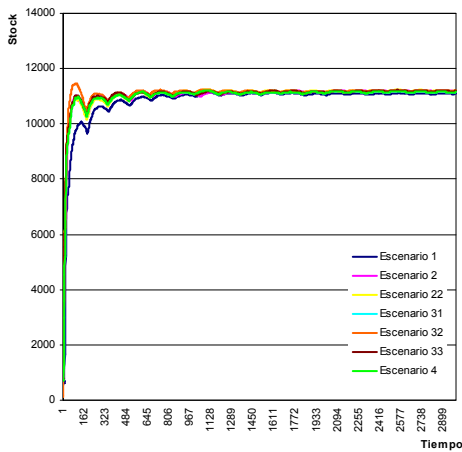
Para la heurística de Fransoo no se aprecian cambios en el sistema sin coproducción o con coproducción para los distintos escenarios sean con factor 2 o 4 como vemos en la Figura 5. Así como se aprecia en la Figura 6 ambos sistemas se estabilizan con el mismo periodo de calentamiento en torno a los 1000 días.



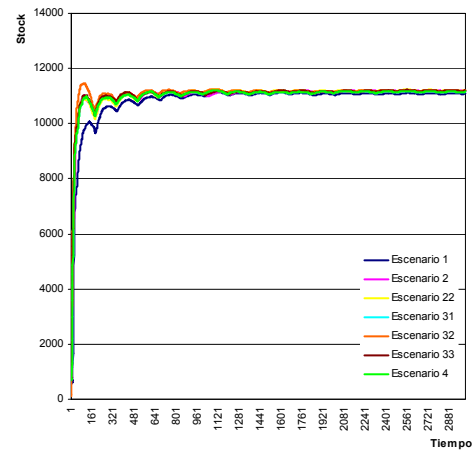
(a) H3. Sin Coproducción. Factor  $\alpha=2$



(b) H3. Sin Coproducción. Factor  $\alpha=4$

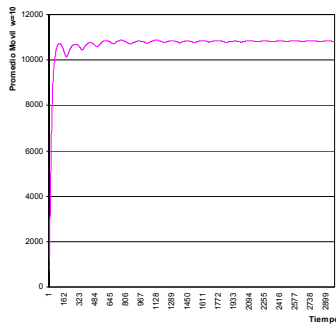


(c) H3. Coproducción. Factor 2

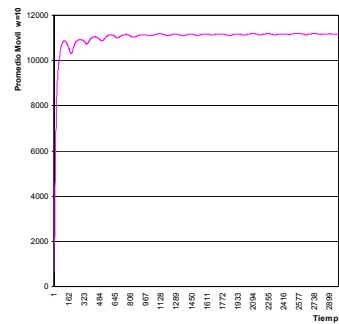


(d) H3. Coproducción. Factor 4

**Figura 5.** Costes Totales Medios Diarios para la heurística de Fransoo



(a) H3. Sin Coproducción.



(b) H3. Coproducción.

**Figura 6.** Promedio Móvil  $\bar{Y}_i(w)$  con  $w=10$



## 12. Conclusiones

El presente artículo pretende aportar más claridad a la casuística en la definición del horizonte de programación de la producción en la simulación de heurísticas, en ocasiones un poco confusa. Así, para poder determinar la influencia del horizonte de programación planteamos las heurísticas para escenarios (réplicas) diferentes en función de las unas hipótesis de inventarios iniciales. Una vez realizados los experimentos podemos observar que en todos los casos la convergencia parece que existe, pero no es sencillo decidir en que momento se puede considerar establecida. Por ello para determinar en que horizonte podemos asumir que convergen nos parece oportuno relacionar el tiempo de calentamiento de la simulación con el tiempo en el que las heurísticas mantienen el mismo comportamiento frente a los distintos escenarios. Es a partir de ese tiempo es cuando se puede asumir que los resultados de la simulación son válidos. Las tres heurísticas simuladas responden de modo diferente. En algunos casos ese periodo se señala como 1000 días. Esto plantea que en algunas ocasiones horizontes de programación excesivamente ajustados introducen al sistema en un transitorio de forma que no se muestran resultados estables. Por ejemplo, sería adecuado establecer un horizonte de 240 días para una programación de la producción, pero considerando los resultados válidos una vez transcurridos 1000 días. Esto es debido a que en ese tiempo las oscilaciones del sistema son mínimas. En el periodo anterior el sistema se está reajustando para alcanzar una situación estable, de modo que parte de las condiciones iniciales no afectan a la solución. Es por ello que en muchos artículos es posible que los autores no hagan mención al valor tomado para los inventarios iniciales. Esto es coherente siempre que las simulaciones hayan considerado un tiempo suficiente que permita al sistema estabilizarse de manera que no le afecte cual era la situación anterior, concretamente el stock inicial.

## Referencias

- Bitran, G. B.; Leong, T. Y. (1995). Coproduction of Substitutable Products. *Production Planning & Control*, Vol. 6, n.º. 1, pp. 13-25.
- Bitran, G. R.; Dasu, S. (1992). Ordering Policies in An Environment of Stochastic Yields and Substitutable Demands. *Operations Research*, Vol. 40, n.º. 5, pp. 999-1017.
- Bitran, G. R.; Gilbert, S. M. (1994). Coproduction Processes with Random Yields in the Semiconductor Industry. *Operations Research*, Vol. 42, n.º. 3, pp. 476-491.
- Boctor, F. F. (1987). The G-Group Heuristic for Single-Machine Lot Scheduling. *International Journal of Production Research*, Vol. 25, n.º. 3, pp. 363-379.
- Bomberger, E. E. (1966). A dynamic programming approach to a lot size scheduling problem. *Management Science*, Vol. 12, n.º. 11, p. 778.
- Brander, P.; Leven, E.; Segerstedt, A. (2005). Lot sizes in a capacity constrained facility - a simulation study of stationary stochastic demand. *International Journal of Production Economics*, Vol. 93-94, pp. 375-386.
- Deuermeyer, B. L.; Pierskalla, W. P. (1978). By-Product Production System with An Alternative. *Management Science*, Vol. 24, n.º. 13, pp. 1373-1383.
- Doll, C. L.; Whybark, D. C. (1973). An iterative procedure for the single-machine multi-product lot scheduling problem. *Management Science*, Vol. 20, n.º. 1, pp. 50-55.
- Eilon, S. (1957). Scheduling for batch production. *Journal of Institute of Production Engineering*, Vol. 36, pp. 549-579.

- Elmaghraby, S. E. (1978). The economic lot scheduling problem (ELSP): Review and extensions. *Management Science*, Vol. 24, n° 6, pp. 587-598.
- Fishman, G. S. (1978). Grouping Observations in Digital-Simulation. *Management Science*, Vol. 24, n° 5, pp. 510-521.
- Fransoo, J. C.; Sridharan, V.; Bertrand, J. W. M. (1995). A Hierarchical Approach for Capacity Coordination in Multiple Products Single-Machine Production Systems with Stationary Stochastic Demands. *European Journal of Operational Research*, Vol. 86, n° 1, pp. 57-72.
- Gascon, A.; Leachman, R. C.; Lefrancois, F. (1994). Multi-item, single-machine scheduling problem with stochastic demands: a comparison of heuristics. *International Journal of Production Research*, Vol. 32, n° 3, pp. 583-596.
- Gerchak, Y.; Tripathy, A.; Wang, K. (1996). Co-production models with random functionality yields. *IIE Transactions*, Vol. 28, n° 5, pp. 391-403.
- Karimi, B.; Ghomi, S. M. T. F.; Wilson, J. M. (2003). The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms. *Omega-International Journal of Management Science*, Vol. 31, n° 5, pp. 365-378.
- Law, A. M.; Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw Hill.
- Leachman, R. C.; Gascon, A. (1988). A Heuristic Scheduling Policy for Multi-Item, Single-Machine Production Systems with Time-Varying, Stochastic Demands. *Management Science*, Vol. 34, n° 3, pp. 377-390.
- Lopez, M. A. N.; Kingsman, B. G. (1991). The Economic Lot Scheduling Problem - Theory and Practice. *International Journal of Production Economics*, Vol. 23, n° 1-3, pp. 147-164.
- Oner, S.; Bilgic, T. (2008). Economic lot scheduling with uncontrolled co-production. *European Journal of Operational Research*, Vol. 188, n° 3, pp. 793-810.
- Pawlikowski, K. (1990). Steady-State Simulation of Queuing-Processes - A Survey of Problems and Solutions. *Computing Surveys*, Vol. 22, n° 2, pp. 123-170.
- Robinson, S. (2007). A statistical process control approach to selecting a warm-up period for a discrete-event simulation. *European Journal of Operational Research*, Vol. 176, n° 1, pp. 332-346.
- Rogers, J. (1958). A Computational Approach to the Economic Lot Scheduling Problem. *Management Science*, Vol. 4, n° 3, pp. 264-291.
- Soman, C. A.; Pieter van Donk, D.; Gaalman, G. J. C. (2004). Comparison of dynamic scheduling policies for hybrid make-to-order and make-to-stock production systems with stochastic demand. *International Journal of Production Economics*, Vol. In Press, Corrected Proof.
- Vergin, R. C.; Lee, T. N. (1978). Scheduling Rules for Multiple Product Single Machine System with Stochastic Demand. *Infor*, Vol. 16, n° 1, pp. 64-73.
- Vidal-Carreras, P.-I., Garcia-Sabater, J.-P., Marín-García, J. A., & Garcia-Sabater, J.-J. (2008). Comparison of Scheduling Policies for a Production System with Parts Grouping, in 2<sup>nd</sup> International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, Universidad de Burgos, ed., p. 291.
- Welch, P. (1983). The statistical analysis of simulation results, en S.Lavenberg (dir), *The computer modelling handbook*, pp. 268-328. Academic Press.

White, K. P.; Cobb, M. J.; Spratt, S. C. (2000). A comparison of five steady-state truncation heuristics for simulation. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, Vols 1 and 2 pp. 755-760.

Yucesan, E. (1993). Randomization Tests for Initialization Bias in Simulation Output. Naval Research Logistics, Vol. 40, n<sup>o</sup>. 5, pp. 643-663.