

Análisis del comportamiento de un almacén ante diferentes velocidades de recepción/salida de mercancía.

Alberto Gómez Gómez¹, Paolo Priore¹, Francisco Javier Puente García¹, José Parreño Fernández¹

¹ Dpto. de Administración de Empresas. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón. Universidad de Oviedo. Campus de Viesques s/n, 33203 Gijón. albertogomez@uniovi.es, priore@uniovi.es, jpuente@uniovi.es, parreno@uniovi.es.

Palabras clave: Almacenes, simulación, distribución

Resumen

El trabajo tiene como principal objetivo analizar el comportamiento de un almacén ante distintas políticas de colocación de los paquetes a almacenar. Así mismo observaremos que variaciones hay en el comportamiento ante distintas velocidades del transporte o distintos planes de producción, tanto constante como variables. Para ello se ha realizado un modelo de simulación desarrollado con el software Arena Simulation que usaremos para realizar el estudio. De los datos obtenidos se deduce que la mejor política de almacenamiento depende del ritmo de movimiento de las mercancías.

1. Descripción del entorno analizado

A continuación se describen los principales elementos analizados en la simulación. Para una descripción más detallada del funcionamiento de los almacenes y sus características, consultar: de Koster et al (2007), Gu et al (2005) y Rouwenhost et al (2000).

1.1. El Almacén

El almacén está formado por una estantería de 5 posiciones de altura por 15 de profundidad, lo que nos da un total de *75 posiciones*. En estas posiciones se podrá colocar un único paquete. Desde la posición de llegada de paquetes al comienzo de la estantería hay una distancia de *10 metros*. Desde la posición de llegada de paquetes a la de salida hay otros *10 metros*. Las posiciones de almacenamiento tienen unas dimensiones de *1,5 metros x 1,5 metros*.

1.2. El Transporte

En la simulación se usará un transporte, una carretilla elevadora. Las velocidades de desplazamiento horizontal y vertical son modificables por el usuario, aunque deben guardar una proporción, la *velocidad horizontal* es *8.88 veces* la *velocidad vertical*. Cada maniobra de carga y descarga de paquetes tendrá un coste constante en tiempo de *15 segundos*, ver Elsayed y Unal (1989).

1.3. El Plan de Producción.

En cuanto a los planes de producción, estos pueden ser constantes durante toda la simulación, o bien puede haber uno o varios cambios de producción durante a simulación. El usuario puede indicar tanto el número de productos total, el número de productos asociados a cada clase, como el porcentaje de producción asignado a las mismas. Si se realizan cambios de

producción durante la simulación, el usuario puede indicar cuando se van a realizar estos cambios, y el porcentaje de variación.

1.4. Políticas de Colocación

En el modelo de simulación se han implementado las políticas de colocación siguientes para su estudio: más cercano, aleatorio, agrupación por 3 clases (4 tipologías), y agrupación por 2 clases (4 tipologías). A continuación pasaremos a detallar cada una de ellas.

1.4.1 Más cercano

En la política de colocación *Más Cercano*, cuando llega un paquete se colocará en el **hueco vacío más cercano a la entrada** sin tener en cuenta el tipo de paquete que sea. Más concretamente ese hueco “más cercano” será el hueco al que el transporte pueda llegar más rápido de todos los huecos libres. Para calcular ese tiempo de acceso se tendrá en cuenta la *distancia*, y las *velocidades de desplazamiento vertical y horizontal* del transporte.

En el momento de sacar paquetes del almacén que previamente hayan sido pedidos, se sacará, de todos los paquetes del tipo pedido, el que el transporte pueda llegar en menor tiempo.

1.4.2 Aleatorio

En la política de colocación *Aleatorio*, cuando llega un paquete se colocará en un **hueco vacío aleatorio** sin tener en cuenta el tipo de paquete sea.

En el momento de sacar paquetes del almacén que previamente hayan sido pedidos, se sacará, de todos los paquetes del tipo pedido, el que el transporte pueda llegar en menor tiempo.

1.4.3 Agrupación en 3 Clases

En la política Agrupación en 3 clases se dividen los ítems en 3 clases (A, B y C) en función del plan de producción o de la probabilidad de que aparezca un determinado ítem. Se ordenan los ítems en función de la probabilidad de que aparezcan. Los x con más probabilidad pertenecerán a la clase A, los y siguientes pertenecerán a la clase B, y los z restantes pertenecerán a la clase C.

En las políticas de *Agrupación en 3 Clases* el almacén está dividido en 3 zonas, una para cada clase. En el modelo se han implementado 4 tipologías, las tres primeras se basan, tanto en distribución como en proporciones, en las tipologías publicadas en el artículo Petersen et al (2004). Cuando llega un paquete se comprueba a que clase pertenece (A, B o C). Si hay sitio en los huecos reservados para esa clase, se colocará en el hueco libre al que el transporte pueda llegar más rápidamente. Si no hay sitio, se colocará en el hueco libre más cercano a las fronteras de la clase. A diferencia de otras situaciones en este caso se optimizará la variable **distancia física** y no tiempo para calcular dicha posición.

En el momento de sacar paquetes del almacén que previamente hayan sido pedidos, se sacará, de todos los paquetes del tipo pedido, el que el transporte pueda llegar en menor tiempo. A continuación se pasarán a detallar las tipologías de agrupación en 3 clases implementadas en el modelo.

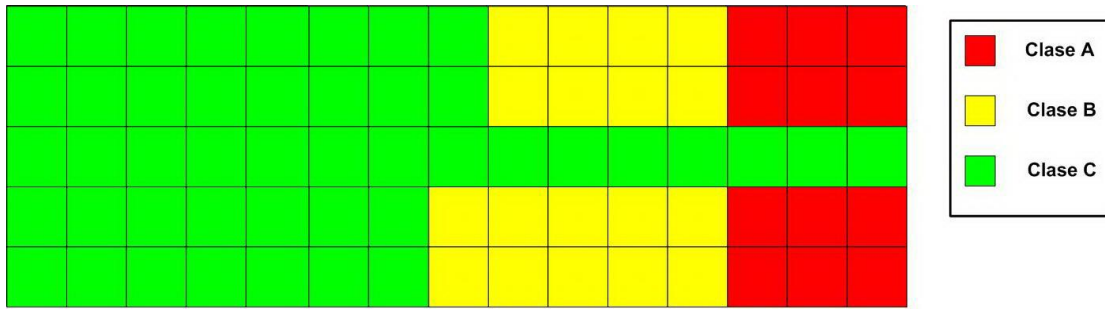


Figura 1. Opción A

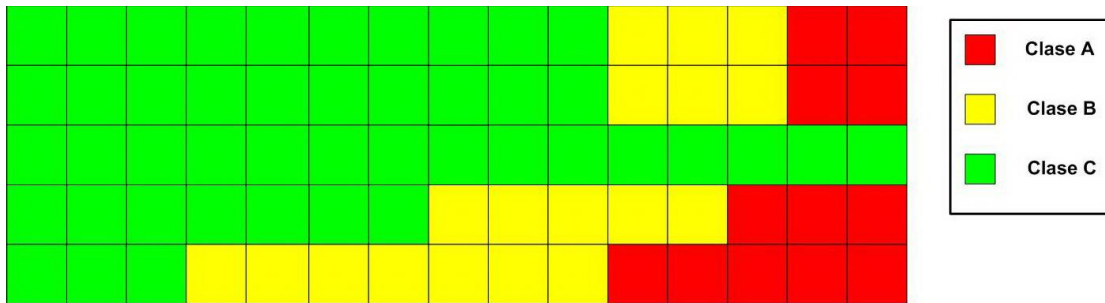


Figura 2. Opción B

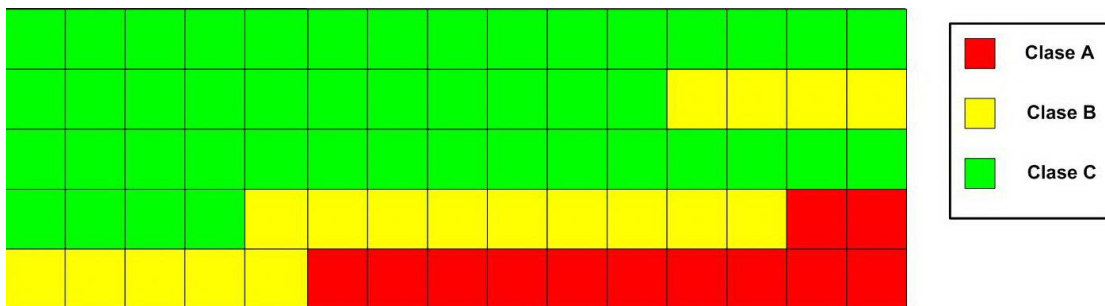


Figura 3. Opción C

En el análisis también se ha contemplado la posibilidad de que exista un cambio de producción durante el periodo de simulación. Si hubiera un cambio de producción durante la simulación se podría *reassignar* los ítems a las clases o dejarlos como están. Depende de si la opción está marcada en el formulario. Este tema se tratará posteriormente con más detalle.

1.4.4 Agrupación en 2 Clases

Esta política de colocación es análoga a la *Agrupación en 3 clases* pero uniendo las clases B y C. Tanto la ordenación de los ítems en clases, tipologías división del almacén y comportamiento al colocar y sacar del almacén, es idéntico al caso anterior uniendo las clases B y C, ver Le Duc et al (2005).

1.5. Recolocación

La recolocación de paquetes sólo tiene sentido en las políticas de agrupación por clases. Es una opción que se puede activar o desactivar desde el formulario. Durante una simulación la zona reservada para una determinada clase, se puede llenar. En ese caso, se colocará el paquete en el hueco libre de otra clase más cercano a los límites de la clase

Si recolocación está activado, cabe la posibilidad de que el paquete se recoloque en uno los huecos de su clase. Para que esto suceda, a parte de tener que haber un hueco libre en la clase

correspondiente, el transporte debe de estar *desocupado*. Es decir, las entradas y salidas siempre tienen preferencia sobre las recolocaciones de paquetes.

1.6. Reasignación de clases

La *Reasignación de clases o Reassignment*, es una opción que solo se puede utilizar en políticas de colocación de agrupación por clases en las que durante la simulación se produzca un cambio en el plan de producción.

Cuando se produce ese cambio de producción, se reasignará a los ítems nuevas clases a las que pertenecen en función de la producción. En conclusión, si está activada la reasignación de clases, se ordenan los ítems en función de la probabilidad de que aparezcan, y se les asigna la clase correspondiente, a los x primeros clase A, a los y siguientes clase B y al resto clase C, ver Moon y Kim (2001).

2. Experimentos realizados

2.1. Experimentos con Plan de Producción constante

En este caso estudiaremos el comportamiento de cada política en función de la *frecuencia de llegadas/salidas*, a través de dichos datos. Además se realizará para cada política simulaciones con y sin *recolocación* para poder ver la diferencia de usarlo o no.

Para un mejor entendimiento de gráficas y tablas de datos se han agrupado las políticas de clases en un grupo de *2 Clases* y otro de *3 Clases*. De esta manera se puede comparar mejor las políticas de 2 y 3 Clases con la política de *Mas Cercano y Aleatorio*. De esta manera se hace una media de las Opciones A, B y C de 2 y 3 Clases de los datos a estudiar. El objetivo final es realizar tablas de recomendaciones sobre que política utilizar, con o sin *recolocación*, para diferentes *frecuencias de llegadas/salidas*, y unos datos de entrada determinados.

2.2. Experimentos con Plan de Producción variable

Cuando realicemos simulaciones con variaciones en el plan producción, nosotros usaremos una única variación, se realizará una simulación con dos replicas. Entre las dos replicas se cambiará el plan de producción, o las probabilidades asociadas a cada producto, se reasignarán productos a las clases en caso de ser necesario, se reiniciarán las estadísticas, pero no se vaciará el almacén. Este seguirá en el mismo estado con los mismos paquetes en espera de entrar y las peticiones en espera de atender, en caso de haber alguna.

El objetivo final es el mismo que en simulaciones con plan de producción variable, realizar tablas de recomendaciones sobre las políticas a usar en cada caso. Aunque en este caso en vez de ser en función de la frecuencia de llegadas/peticiones, esta será constante. Será en función del porcentaje de variación del plan de producción. Además habrá que aconsejar sobre la conveniencia o no de usar *recolocación* como *reassignment* o *reasignación de clases*. El uso de medias de 2 y 3 Clases es igual que en las simulaciones con plan de producción constante.

2.3. Simulación situación de producción constante.

Esta primera simulación se realizará con los valores por defecto, tiene como objetivo analizar el comportamiento general del sistema, y usarla para hacer comparaciones con otras simulaciones posteriores en las que se modifique algún dato de entrada.

Se utilizará el almacén previamente indicado, una carretilla elevadora de 16km/h de velocidad horizontal y 1,8km/h de velocidad vertical. La duración de la simulación es de 500 horas y el plan de producción será constante durante toda la simulación. Estará formado por 20 ítems distribuidos de la siguiente forma:

Tabla 1. Distribución del Plan de Producción, Simulación estándar

Clase	Nº Ítems	% Producción
A	3	60
B	5	20
C	12	20

Como ya se ha dicho, el objetivo es hacer una tabla de recomendaciones sobre que política usar en función de la frecuencia de llegadas/salidas. Además de aconsejar sobre la conveniencia o no de usar *recolocación*. Aunque el análisis de la simulación puede ser mucho más exhaustivo, vamos directamente a los resultados principales. Podemos ver en la siguiente gráfica la evolución del uso del almacén por familias de políticas, con y sin *recolocación*.

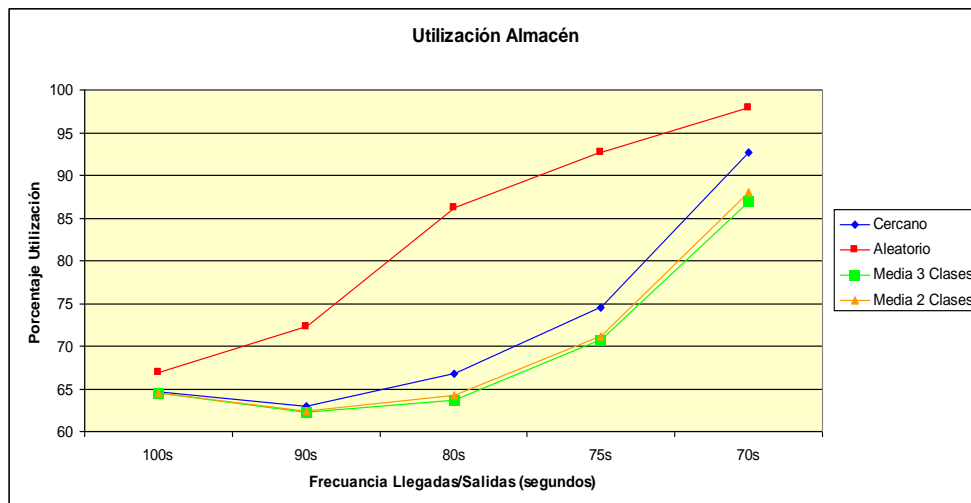


Figura 1. Utilización del Almacén sin recolocación, simulación estándar

Tabla 2. Utilización del Almacén sin recolocación, simulación estándar

	100s	90s	80s	75s	70s
<i>Cercano</i>	64,6900	62,9700	66,7167	74,4633	92,6100
<i>Aleatorio</i>	66,9633	72,2867	86,1600	92,6833	97,8860
<i>Media 3 Clases</i>	64,4744	62,2133	63,7111	70,6533	86,8593
<i>Media 2 Clases</i>	64,5244	62,4189	64,2456	71,0778	88,0200

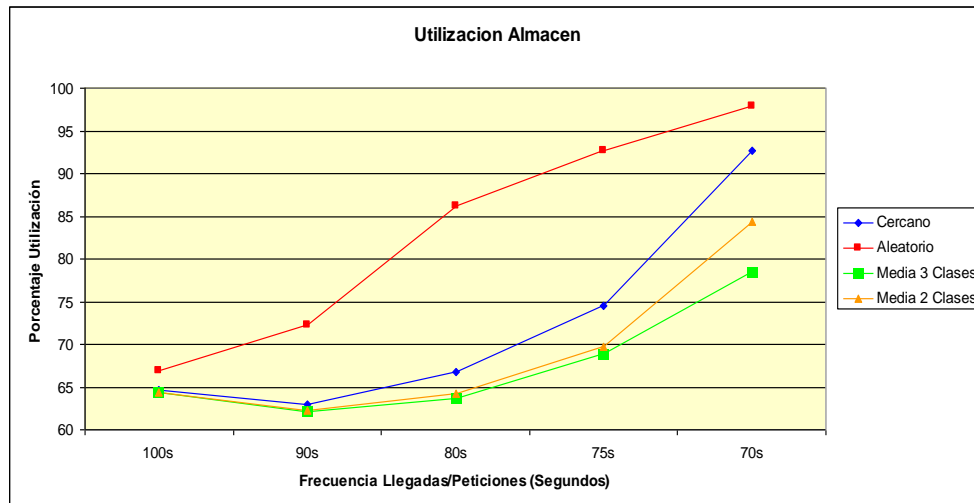


Figura 2. Utilización del Almacén con recolocación, simulación estándar

Tabla 3. Utilización del Almacén con recolocación, simulación estándar

	100s	90s	80s	75s	70s
<i>Cercano</i>	64,6900	62,9700	66,7167	74,4633	92,6100
<i>Aleatorio</i>	66,9633	72,2867	86,1600	92,6867	97,8860
<i>Media 3 Clases</i>	64,3644	62,1378	63,7289	68,8722	78,4000
<i>Media 2 Clases</i>	64,3844	62,2111	64,2000	69,7078	84,4233

Si estudiamos la grafica de la evolución del porcentaje de *almacén utilizado*, lo primero que nos llama la atención es que las políticas de clases y Mas Cercano, siguen un patrón similar, mientras que Aleatorio tiene tasas de utilización mucho mayores aun con frecuencias bajas. También podemos observar como mejoran las políticas de ordenación por clases al usar recolocación, sobre todo la de 3 Clases en que se nota más la mejora que la de 2 Clases.

Si no fijamos más detenidamente en la tabla de datos y la comparamos con la tabla sin recolocación, vemos como con 2 Clases mejoran apenas un 4%, mientras que con 3 Clases un 8%. Tiene sentido porque al tener 3 clases, el número de recolocaciones es mayor y tiene los paquetes mejor ordenados, siendo la gestión de las entradas y salidas más eficiente. El beneficio que da poder recolocar paquetes es el tener la posibilidad de tener el almacén siempre ordenado aunque en un determinado momento hubiera un paquete colocados en los huecos de una clase distinta a la suya. Si no tuviéramos la opción de recolocación, para sacar un paquete mal colocado habría que esperar que hubiera una petición de salida de dicho elemento, mientras que con *recolocación* solo habría que esperar a que el transporte estuviera libre. Por último indicar que la política 3 Clases llega a ser 24% mejor que *Aleatorio*, 14% mejor que *Más Cercano* y un 6% mejor que 2 Clases.

Utilizar *recolocación* mejora claramente la tasa de *ocupación del almacén*, hasta el punto de que todas las tipologías de 2 y 3 clases obtienen mejores resultados que *Más Cercano*.

Si analizamos otros factores como el *tiempo de servicio* o el *tamaño de las colas*, nos confirman lo que hemos visto analizando la *utilización del almacén*. Aunque la mejora en estas variables es mucho más notable. Lo podemos ver en las siguientes tablas comparativas en las que están indicados el *tiempo de servicio* y el *tamaño total de las colas* de la simulación *sin recolocación*, y al lado representado por Δrel la diferencia al aplicarle *recolocación*. Se puede ver un patrón común en ambas medidas, éstas son muy similares, incluso ligeramente mejores sin recolocación al usar frecuencias de llegadas/peticiones bajas, y a medida que esta frecuencia sube, mejora mucho al usar recolocación. Esta mejora es más clara al *usar 3 Clases* que 2, **llegando a reducir el tiempo de servicio y el tamaño de las colas a la mitad**.

Tabla 4. Tiempo de servicio sin recolocación y diferencial con recolocación, simulación estándar

	100s	Δrel	90s	Δrel	80s	Δrel	75s	Δrel	70s	Δrel
Media Clases 3	0,0304	+0,0050	0,0451	+0,0032	0,0925	+0,0034	0,2099	-0,0494	0,8088	-0,4141
Media Clases 2	0,0318	+0,0028	0,0500	-0,0001	0,1022	+0,0012	0,2220	-0,0347	0,8321	-0,1358

Tabla 5. Tamaño total de las colas sin recolocación y diferencial con recolocación, simulación estándar

	100s	Δrel	90s	Δrel	80s	Δrel	75s	Δrel	70s	Δrel
Media Clases 3	2,32	+0,38	2,97	+0,28	5,62	+0,11	13,33	-3,29	63,57	-35,62
Media Clases 2	2,38	+0,31	3,11	+0,21	6,08	+0,15	14,16	-2,27	65,06	-11,03

Por último para hacer recomendaciones más precisas debemos estudiar las tipologías de ordenación por clases por separado.

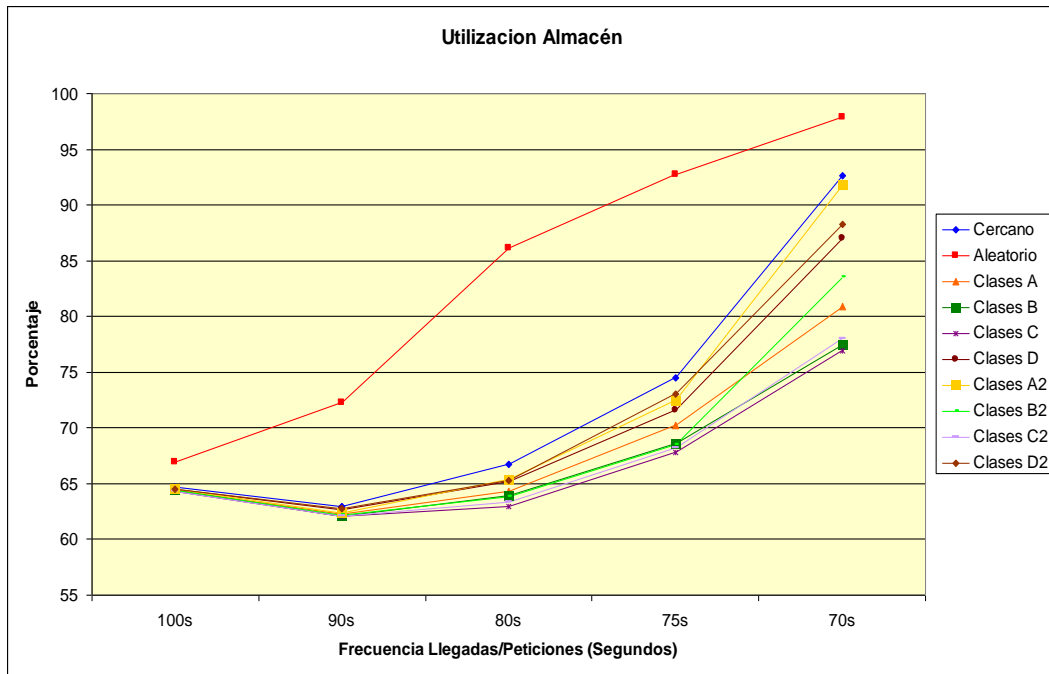


Figura 3. Utilización del Almacén detallado con recolocación, simulación estándar

Tabla 6. Utilización del Almacén detallado con recolocación, simulación estándar

	100s	90s	80s	75s	70s
<i>Cercano</i>	64,6900	62,9700	66,7167	74,4633	92,6100
<i>Aleatorio</i>	66,9633	72,2867	86,1600	92,6867	97,8860
<i>Clases A</i>	64,3967	62,2867	64,2833	70,2667	80,9400
<i>Clases B</i>	64,3733	62,0333	63,9467	68,5833	77,3640
<i>Clases C</i>	64,3233	62,0933	62,9567	67,7667	76,8960
<i>Clases D</i>	64,4833	62,7100	65,1933	71,5667	86,9660
<i>Clases A2</i>	64,4733	62,4133	65,4033	72,4300	91,7500
<i>Clases B2</i>	64,3667	62,1467	63,8267	68,5033	83,5000
<i>Clases C2</i>	64,3133	62,0733	63,3700	68,1900	78,0200
<i>Clases D2</i>	64,5167	62,8000	65,2933	73,0167	88,2700

Observando detalladamente tanto la tabla de datos como la gráfica, podemos afirmar que las políticas de ordenación por clases que obtienen mejores resultados son la *Opción C* de 2 y 3 clases y la *Opción B* de 3 clases, si bien estas diferencias no se notan claramente hasta que el ritmo de *entradas/salidas* es suficientemente alto.

Otro punto a destacar es la diferencia de usar una misma tipología pero con 2 ó 3 clases. Las opciones se comportan de manera distinta. Mientras que la *Opción A* y *Opción B* mejoran bastante con 3 clases un 11% y un 6% respectivamente, las *Opciones C* y *D* apenas llegan al 2%. Por tanto habría que considerar hasta que punto conviene dividir los ítems en una clase más.

3. Conclusiones

A continuación introducimos una tabla resumen de las políticas recomendadas en función de la carga de trabajo, con un plan de producción como el usado en esta simulación.

Tabla. Políticas de Colocación recomendadas, simulación 1

<i>Frecuencia Entradas/Peticiones (segundos)</i>	<i>100s</i>	<i>90s</i>	<i>80s</i>	<i>75s</i>	<i>70s</i>
<i>Política Colocación</i>	Más Cercano	Más Cercano	Más Cercano	Considerar Ordenación por clases sin recolocación	Ordenación por clases con recolocación

En la tabla anterior se recomienda usar la política *Más Cercano* hasta que la *frecuencia de Entradas/Salidas* llegue a 80s porque no se obtienen prácticamente beneficios y sí bastante coste de implantación del *sistema de clases y recolocación*. Cuando llegamos a 75s los beneficios empiezan a ser considerables, en torno a un 5-6% si se utiliza la *opción C*, aunque en este punto no se nota demasiado el efecto del *recolocación*. Cuando la frecuencia está en 70s es obligatorio utilizar ordenación por clases y con recolocación ya que con la *Opción C* se obtienen beneficios de hasta 16% sobre *Más Cercano*. Además el *tiempo de servicio* es del orden de tres veces menor. En este punto no hay mucha diferencia entra la *Opción C* con 2 o 3 clases, 2% en la *utilización del almacén* y 0,05 horas menos de *tiempo de servicio*, así que probablemente interese quedarse con la ordenación de 2 *Clases*.

En próximas simulaciones se estudiará el efecto sobre el sistema de:

- Incrementar en número de ítems con la misma proporción en el plan de producción
- Variar el plan de producción para que ciertas clases tengan más porcentaje de producción
- Variar la velocidad del transporte
- Realizar variaciones en el plan de producción durante la simulación

Referencias

de Koster, R., Le Duc, T., and Roodbergen, K. J., (2007) Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, Vol. 182, No. 2, pp. 481-501.

Elsayed, E. A. and Unal, O. I., (1989) Order batching algorithms and travel-time estimation for automated storage/retrieval systems. *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 7, pp. 1097-1114.

Gu, J., Goetschalckx, M., and McGinnis, L. F., (2007) Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, No. 1, pp. 1-21.

Le Duc, T. and de Koster, R. B. M., (2005) Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse. *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 17, pp. 3561-3581.

Moon, G. and Kim, G.-P., (2001) Effects of relocation to AS/RS storage location policy with production quantity variation. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 40, No. 1-2, pp. 1-13.

Petersen, C. G., Aase, G., and Heiser, D. R., (2004) Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.

Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Van Houtum, G. J., Mantel, R. J., and Zijm, W. H. M., (2000) Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, Vol. 122, No. 3, pp. 515-533.