



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Asignación óptima de pedidos: revisión del estado del arte desde el año 2007

Joan Ignasi Moliné ; Anna M. Coves

EOLI: Enginyeria d'Organització i Logística Industrial

*IOC-DT-P-2011-02
Desembre 2011*



**Institut d'Organització i Control
de Sistemes Industrials**



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

ASIGNACION OPTIMA DE PEDIDOS: REVISION DEL ESTADO DEL ARTE DESDE EL AÑO 2007.

Joan Ignasi Moliné (UPC)
Anna M. Coves (IOC-UPC)

RESUMEN.-

La asignación óptima de pedidos, por parte de un comprador, en un entorno multiproveedor ha adquirido gran importancia en el ámbito actual de la cadena de aprovisionamiento. Hay diversos artículos que analizan y exponen modelos que permiten la optimización de dicha asignación respecto a un panel de proveedores dado. El artículo actual revisa un total de diez artículos que tratan esta temática y que han sido publicados desde el año 2007 hasta la actualidad, en revistas indexadas por Journal Citation Reports (en ISI Web of Knowledge), además de otras publicaciones en trabajos académicos y en congresos. De esta forma se realiza un análisis que permite responder a; (i) tipo de procedimiento de resolución utilizado, (ii) objetivos planteados, (iii) resultados obtenidos y (iv) complejidad de los modelos. El análisis conjunto de estos cuatro puntos no permite determinar la existencia de un modelo global, por el contrario, todas las soluciones analizadas reflejan y dan respuesta a entornos determinados.

Palabras clave: Asignación de pedidos, múltiples proveedores, modelos matemáticos.

1.- INTRODUCCION.

La asignación óptima de pedidos, por parte de un comprador, en un entorno multiproveedor ha adquirido gran importancia en el ámbito actual de la cadena de aprovisionamiento. Hay diversos artículos que analizan y exponen modelos que permiten la optimización de dicha asignación respecto a un panel de proveedores dado. La responsabilidad de realizar esta tarea recae sobre el departamento de compras.

De forma general se puede afirmar que los objetivos de la gestión de las compras pueden sintetizarse en cuatro¹; disminuir el coste de los productos adquiridos, asegurar entregas puntuales, asegurar los requisitos de calidad realizados a los proveedores y flexibilidad del proveedor para adaptar su capacidad a las necesidades de la empresa compradora. Todo ello alineado e inscrito dentro del marco de la estrategia de la empresa, así como incorporando y desarrollando las capacidades propias del ámbito de las compras. (Gonzalez-Benito, 2007)

Dichos objetivos son especialmente importantes en entornos industriales de producción de bienes con aprovisionamiento continuo de productos y/o materia

¹ Otros autores incluyen la flexibilidad de los proveedores como un factor dentro del aseguramiento de entregas puntuales (Kokangul y Susuz, 2009), de esta forma los principales objetivos son tres; Coste, Calidad y Entregas.

prima, donde, la gestión adecuada de cada uno de ellos tiene impacto sobre los costes de la empresa, de forma que contribuyen a su disminución.

La incidencia de los productos y servicios adquiridos (las compras) en la estructura de costes de las empresas manufactureras es muy variable y, en todos los casos, muy significativa. En la industria de la automoción (fabricantes finales) constituyen entre el 68% y el 79% (Montserrat Pallarés, 1997; ICEX, 2009), mientras que en la industria química, dependiendo del sector en el que se opere, dicho porcentaje oscila entre 42% y el 71% (Feique, 2008).

Debido a esta configuración de las estructuras de costes la definición de acciones que permitan disminuir el coste de los productos comprados adquiere un papel estratégico que, en consecuencia, tendrán un impacto directo en el incremento de los beneficios. Obtener el mismo impacto mediante la ejecución de políticas para incrementar los ingresos y/o la disminución de otros conceptos incluidos en la estructura de costes requerirá, en general, esfuerzos mucho mayores.

Por todo ello, la gestión del departamento de compras tiene una repercusión directa en los resultados de la empresa, de forma que uno de sus principales objetivos será la minimización de los costes de aprovisionamiento (productos/servicios adquiridos). Para conseguirlo, se pueden desarrollar diferentes estrategias, siendo una de las principales la asignación óptima de pedidos al panel de proveedores del que disponga el comprador.

La asignación óptima de pedidos estará condicionada, entre otros factores, por los proveedores existentes en el panel que, previamente, habrán sido seleccionados mediante una evaluación y homologación por parte de la empresa compradora. Por tanto, en función de los ámbitos (criterios) evaluados y del nivel de exigencia de la evaluación se determinarán las restricciones del entorno en las que se operarán. Algunos de los ámbitos que pueden ser evaluados son; aseguramiento de la calidad, costes, capacidad, plazos de entrega,... (Kokangul y Susuz, 2009).

El escenario descrito motiva el presente artículo, en el que se realiza una revisión de 10 artículos publicados en revistas indexadas por Journal Citation Reports (en ISI Web of Knowledge), cuyo periodo de publicación abarca desde 2007 hasta la actualidad. La temática de los artículos analizados versa sobre la asignación óptima de pedidos en un panel determinado de proveedores, donde hay un solo comprador y N proveedores. No pertenece al ámbito de este estado del arte el proceso previo de evaluación y homologación de proveedores, a pesar de que sus "consecuencias" quedarán reflejadas en las restricciones de los modelos.

Del análisis de modelos matemáticos que optimizan el aprovisionamiento se destacan en este estudio cuatro aspectos; (a) Objetivos a conseguir, (b) resultados obtenidos (variables), (c) complejidad del modelo y (d) tipo de procedimiento de resolución utilizado.

Este artículo está organizado de forma que en el próximo apartado se revisa y clasifica la literatura analizada. A continuación, en el apartado 3, se efectúa un análisis de aquellos aspectos que la revisión ha revelado como importantes para tener en cuenta en la generación de modelos matemáticos. Finalmente, en el apartado 4 se exponen las conclusiones que permite extraer esta revisión del estado del arte reciente.

2.- ESTADO DEL ARTE.

La totalidad de los artículos analizan la asignación óptima de pedidos en un entorno de multiprovedores, la mayoría han sido publicados en revistas indexadas por Journal Citation Reports (en ISI Web ok Knowledge). Otros provienen de trabajos académicos y de actas de congresos. En cuanto al alcance de la revisión, es preciso remarcar que algunas de las publicaciones analizadas abarcan la etapa previa de selección de proveedores que, por no pertenecer al ámbito de este estado del arte, no será comentada en detalle.

La clasificación de los diferentes modelos se efectúa según el tipo de programación utilizada, estructurándose en dos grandes grupos; modelos que se incluyen dentro de los procedimientos exactos y los procedimientos heurísticos (heurísticas).

2.1 Procedimientos exactos.

Programación dinámica.

Burke et al (2009), proponen un modelo basado en el modelo del vendedor de periódicos. Define las estrategias de aprovisionamiento en el caso de un solo producto y un periodo, en un sistema de dos etapas (proveedores y comprador). En el entorno hay incertidumbre tanto en la demanda como en el suministro, ambos son estocásticos. La función objetivo es la maximización del beneficio esperado, determinando los proveedores a los que se les asigna pedido y las cantidades correspondientes. Los autores ofrecen un completo análisis de sensibilidad donde, mediante, la variación de diferentes parámetros determinan el impacto que tienen sobre las decisiones de aprovisionamiento, permitiendo extrapolar y establecer cuáles son las mejores políticas y/o estrategias de compras a adoptar frente diferentes circunstancias.

Hajji et al. (2010), tratan el caso de un sistema formado por tres etapas (proveedores, producción y demanda/cliente) que se aprovisiona de un solo producto y lo transforma obteniendo otro producto acabado. El modelo determina; la secuencia de proveedores que recibirán pedido, cantidad a suministrar por parte de cada proveedor, momento de lanzamiento del pedido y el ratio de producción necesario, todo ello satisfaciendo el objetivo de minimizar los costes (de inventario/ruptura, producción y aprovisionamiento). El entorno de este sistema es estocástico, de forma que el suministro no es fiable (los proveedores pueden estar disponibles o no estarlo), el sistema productivo tampoco es fiable. La realización del análisis de sensibilidad permite a los

autores afirmar que otorga mayores ventajas un entorno de multiprovedores respecto a otro monoproveedor.

Lin (2010), desarrolla un modelo matemático que resuelve, mediante un algoritmo, la política de aprovisionamiento de un solo producto por parte de un comprador fuerte respecto a un único proveedor. La función objetivo es la maximización del beneficio esperado, en la que los condicionantes del entorno consideran que; el pedido se realiza una sola vez y es suministrado en diferentes entregas, se efectúa una selección 100% de las piezas recibidas y existen descuentos en función de la cantidad solicitada. El resultado obtenido es un pedido fijo y, por tanto, se determinará el número de entregas y el precio al que se adquirirá la materia prima. Es un modelo de lote económico en un entorno diferente al tradicional.

Programación lineal entera mixta (PLEM).-

Coves y Cervera (2009), presentan el caso de aprovisionamiento de múltiples productos y monopериоdo, incluyendo restricciones de calidad, existencia de descuentos (dos tipos) y plazos de entrega. Proponen un modelo de programación entera mixta (denominado modelo básico) que, como resultados, obtiene; unidades adquiridas de cada producto a cada proveedor, proveedores que reciben pedido (por producto) y volumen de negocio en cada tipo de descuento. La función objetivo del modelo consiste en la minimización de los costes.

Programación no lineal entera (PNLE).-

Kokangul y Susuz (2009), centran su atención en realizar la asignación de pedidos de un solo producto a N proveedores que están priorizados según una asignación de pesos. Proponen tres modelos no lineales para resolver tres funciones objetivo; maximización del valor de compra, minimización del coste de las compras y ambas a la vez. Las principales restricciones del entorno que incluyen los modelos son respecto a; limitaciones de presupuesto, capacidad de los proveedores, número de proveedores a seleccionar, pedidos mínimos a asignar, presencia de descuentos y calidad. En el artículo los autores integran la asignación de pedidos con un proceso previo de evaluación y jerarquización de proveedores.

2.2.- Procedimientos heurísticos.-

2.2.1.- Algoritmos heurísticos basados en un procedimiento exacto.-

Programación lineal entera mixta (PLEM).-

Rezaei y Davoodi (2007), consideran un entorno de aprovisionamiento multiproducto, multiproveedor y multipериоdo, en el que hay que determinar la cantidad a solicitar de cada producto, a cada proveedor y en cada periodo, de forma que se maximice el beneficio e incluyendo restricciones de calidad y almacenamiento. Para hallar la solución se plantea un modelo de programación lineal entera mixta que se resuelve mediante un algoritmo genético. En

contraposición con la resolución del modelo exacto, que ofrece una sola solución que, en ocasiones, no es aplicable, mediante el algoritmo genético el resultado final está formado por varias soluciones, de manera que el comprador puede escoger la más conveniente permitiendo, así, tener en cuenta restricciones cualitativas.

Programación no lineal entera (PNLE).-

Mendoza y Ventura (2010), ofrecen un modelo que asigna pedidos a los proveedores a la vez que determina los diferentes niveles de stock en un sistema constituido por varias etapas sucesivas (N etapas, en serie), la primera etapa es el aprovisionamiento, que suministrará a su siguiente y ésta a su posterior. Todas ellas constituyen una cadena por la que fluye el producto y pertenecen a una sola empresa (la empresa compradora). De esta forma la materia prima adquirida va pasando por las diferentes etapas (almacén, producción, ...) hasta convertirse en un producto acabado que se vende al cliente final. Los resultados obtenidos son de dos tipos; los propios de la asignación de pedidos a proveedores y, para cada etapa, la cantidad a aprovisionarse y su punto de pedido. El modelo planteado está basado en el modelo del lote económico (EOQ) dando lugar a una programación no lineal entera mixta. Para su resolución se utiliza una heurística denominada POT (Power of Two), Roundy (1986). Las soluciones obtenidas se desvían un 0.05% (en promedio) respecto al óptimo, con tiempos de resolución más asumibles.

Abginehchi y Zanjirani (2010), desarrollan un modelo para el aprovisionamiento de un solo producto, en el que los tiempos de entrega son aleatorios. Este determina el punto de pedido (nivel de stock) y, también, las cantidades a asignar a los proveedores (Q_i) de forma que se minimicen los costes (de lanzamiento, posesión, adquisición y ruptura). Para ello proponen un modelo no lineal que, para su resolución utiliza una rutina de búsqueda numérica basada en un algoritmo de programación cuadrática (SQP). Desarrollan dos variantes; para demanda constante y para demanda aleatoria.

Programación multiobjetivo.-

Kirytopoulos et al (2010), proponen un modelo que integra la evaluación de proveedores y la asignación de pedidos. Respecto al entorno, consideran el caso de N proveedores con "peso" asignado, un periodo, pedido mínimo a realizar a cada proveedor y con los tiempos de entrega de cada uno conocidos. El resultado obtenido es el pedido a realizar a cada proveedor, en las soluciones en lugar del óptimo se busca el concepto de eficiencia. Para la asignación plantean una programación matemática multiobjetivo (MOMP, multiobjective mathematical programming method). La resolución está apoyada en el método denominado AUGMECON (Augmented e constraint method), que ofrece las soluciones óptimas de Pareto. Entre estas el decisor escogerá la solución mas conveniente y para hacerlo estará ayudado por una herramienta de filtrado interactivo de soluciones (Steuer, 1989). De esta forma es posible focalizarse en las soluciones preferidas.

2.2.2.- Algoritmos heurísticos no basados en un procedimiento exacto.-

Burke et al (2008), considerando un solo producto, un solo periodo y las capacidades productivas de los proveedores, proponen tres heurísticas para la asignación de pedidos en cada uno de tres tipos diferentes de descuentos (descuento lineal, descuento en unidades incrementadas y descuento en todas las unidades). Los resultados obtenidos se comparan con el método exacto existente, concluyendo que la solución es muy próxima al óptimo y que existe una ganancia en el tiempo de resolución.

3.- Análisis de la revisión del estado del arte (desde 2007).-

El anterior estado del arte permite concluir que en la generación de modelos matemáticos que optimicen la asignación de pedidos sobre un panel de N proveedores, principalmente, hay que destacar tres aspectos;

1. Objetivos planteados.
2. Resultados obtenidos.
3. Complejidad del modelo

3.1.- Objetivos planteados.

La función objetivo más común en los diferentes modelos es la minimización de los costes (6 casos, 60%), también hay otros modelos que consideran la maximización de los beneficios (3 casos, 30%) y en un caso (10%) se desarrolla un modelo multi-objetivo.

También hay que destacar que un artículo (Kokangul y Susuz, 2009) ofrece hasta tres modelos con diferentes funciones objetivo; minimización de coste, maximización del valor de compra y función multi-objetivo que incluye los dos anteriores.

A pesar de que el ámbito del presente estado del arte abarca sólo la asignación de pedidos, hay que mencionar que dos de los artículos (20%) integran la fase de evaluación y selección de proveedores con la de asignación de pedidos.

3.2.- Resultados obtenidos.

En general, el comprador tiene una necesidad (demanda) de Q unidades y asignará a los proveedores una cantidad q_i (para cada proveedor i), de forma que $\sum q_i = Q$.

De esta forma, la decisión común a todos los artículos (10 casos, 100%) son las cantidades compradas a cada proveedor que, dependiendo del modelo, pueden estar acompañadas por otras variables; tiempo entre pedidos, ciclo de pedidos (en caso de existir), punto de pedido, ...

Hay que destacar que al mismo tiempo que se realiza la asignación de pedidos sobre el panel de proveedores algunos artículos consideran que se está

realizando una selección de estos, pues, podrá haber proveedores en los que la cantidad a suministrar sea cero.

3.3.- Complejidad del modelo.

La complejidad está determinada, principalmente, por dos ejes;

- El número de etapas de la cadena de aprovisionamiento que abarque el modelo (compras, transporte, almacenamiento, calidad, producción, demanda/expedición), a este eje se le denominará Profundidad. A medida que el modelo incluya más etapas de la cadena de aprovisionamiento será más completo, a la vez que tenderá a ser más complejo.
- La variedad de costes y los parámetros de entorno introducidos. Estos últimos están en función de las características propias de la empresa, del sector al que pertenece y de decisiones propias del departamento de compras (monoperiodo vs multiperiodo, tipo de modelo a utilizar, existencia de aleatoriedad, ...) y, según los que se incorporen, el modelo será más o menos complejo.

La tabla 1 sintetiza los dos ejes mencionados e incluye muchos de los factores que han sido contemplados en los artículos analizados y que determinarán la complejidad final del modelo. La tabla no es exhaustiva, pues, en función de los intereses del comprador, pueden ser añadidos más factores. Asimismo, aquellos que están incluidos dentro de una de las etapas de la cadena de aprovisionamiento no tienen por qué estar presentes en su totalidad en los modelos que incluyen dicha etapa, la decisión depende de las características de la empresa, del sector en el que opera y de sus intereses.

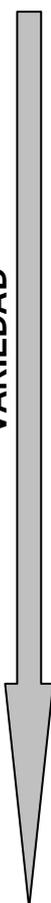
Es necesario indicar que el eje correspondiente a la profundidad está diseñado de forma que permita reflejar los artículos analizados. Por este motivo no se enumeran, estrictamente, las etapas de una cadena de aprovisionamiento, pues no están especificadas etapas como; Logística de recepción (transporte entre el proveedor y la empresa compradora), el Almacén de expedición (de producto acabado) y la Logística de expedición (transporte entre la empresa compradora y el cliente), cuyos factores de entorno y/o costes han sido incluidos en las etapas de "Compras" y "Demanda". De la misma manera, de forma rigurosa, el concepto "Calidad" debería ser transversal a todas las etapas e incluir gran amplitud de factores, mientras que se puede observar como en la Tabla 1 ha sido incorporada como una etapa previa a la de "Producción", esto es así debido a que en los artículos del ámbito de la asignación de pedidos la calidad está vinculada a la bondad técnica (o no) de los productos comprados. Por este mismo motivo los factores y costes que incluye hacen referencia sólo a la calidad del producto adquirido y otros factores, como el plazo de entrega del proveedor, que constituyen un parámetro de la calidad, están incluidos en otras etapas, principalmente Compras. Por último, hay que señalar que la etapa de "Producción" puede constituir en si misma un problema complejo en el que intervienen multitud de factores de entorno y costes, tal como muestra la gran cantidad de bibliografía que trata sobre la organización de la producción. Los artículos analizados, y que incluyen dicha etapa, efectúan una gran

simplificación, tanto en lo referente a factores de entorno como en los costes, por este motivo en la Tabla 1 la etapa de producción sólo refleja aquellos que aparecen descritos en dichos artículos.

PROFUNDIDAD



VARIEDAD



	COMPRAS	ALMACEN RECEPCION	CALIDAD	PRODUCCION	DEMANDA
Costes	<ul style="list-style-type: none"> • Coste de adquisición. • Existencia de descuentos. • Coste de lanzamiento. • Coste de transporte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste de posesión de MP. • Coste de recepción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste de selección 100%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste de transformación de la MP. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste de posesión de PA. • Coste de ruptura. • Precio de venta de piezas correctas. • Precio de venta de piezas defectuosas.
Entorno	<ul style="list-style-type: none"> • N proveedores. • 1 producto vs múltiples productos. • Capacidad de producción del proveedor. • Priorización de los proveedores (pedido mínimo, asignación de peso, número máximo o número mínimo de proveedores). • Presupuesto disponible. • Plazo entrega del proveedor. • Punto de pedido. • Incertidumbre en los proveedores (cantidad y plazo de entrega). 	<ul style="list-style-type: none"> • Espacio de almacenamiento o por artículo. • Capacidad máxima de stock total. • Stock de MP. 	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de piezas correctas (defectuosas) • Calidad mínima total aceptable. • Tasa de selección. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda constante vs demanda aleatoria. • Número de expediciones por ciclo. • Stock de PA.
<ul style="list-style-type: none"> • 1 periodo vs múltiples periodos. • 1 comprador. • Sistema push/pull. • Tipo de modelización escogida. 					

TABLA 1. Descripción de los ejes (profundidad y variedad) y detalle de los factores que determinan la complejidad de los modelos analizados.

Una aproximación para clasificar los modelos analizados consiste en determinar el ámbito que analizan según los dos ejes que se han indicado anteriormente. Es decir, que etapas de la cadena de aprovisionamiento y que grado de variedad incluyen.

Con el fin de que esta clasificación sea objetiva, se define la fórmula siguiente para medir la variedad;

$$\text{Variedad} = \text{Costes} * 0.5 + \text{Entorno} * 0.5$$

De esta forma la variedad es un porcentaje determinado en un 50% por los costes y en otro 50% por el entorno que refleja.

Con el fin de medir los porcentajes (de costes y entorno) obtenidos, se define, a continuación la tabla 2;

Cadena aprovisionamiento	Costes	Entorno
Compras	Coste de adquisición MP	Capacidad del proveedor
	Coste de lanzamiento	Priorización de proveedores
	Coste de transporte	Existencia de descuentos
		Plazo de entrega
Almacén recepción	Coste de posesión MP	Capacidad de almacén
		Stock MP
Calidad	Coste selección 100%	Porcentaje de piezas correctas
		Tasa de selección
Producción	Coste producción	Tasa de producción
Almacén expedición	Coste posesión PA	Stock de PA
Cliente final	Coste de rotura	Demanda cliente final
		Precio de venta
		Un periodo vs múltiples
		Un producto vs múltiples.
Variedad		

Tabla 2. Formato para el cálculo del porcentaje de la variedad que incluye un modelo.

Para cada etapa de la cadena de aprovisionamiento se han detallado los costes y los factores que determinan el entorno, en el caso de estar incluidos en el modelo se valora con 1, en caso contrario el valor será 0. Referente a los factores que son transversales a todas las etapas, la multiperiodicidad también se valora con 1 mientras que si el modelo es monoperiodo se valorará con 0,3, se sigue el mismo criterio respecto el aprovisionamiento de múltiples productos o de sólo uno.

Nota importante: los resultados obtenidos permiten disponer de una aproximación de la existencia de la dispersión de modelos. El valor máximo de la variedad (100%) no es exhaustivo, pues, los factores utilizados para los costes y el entorno de las etapas corresponden a los más comunes en los artículos analizados. Hay más factores que los incluidos en la tabla 2 y, en la

lectura de futuros artículos, esta podría modificarse con la introducción de nuevos factores. Tampoco, en ningún momento, los resultados juzgan la bondad y/o idoneidad del modelo, estas vendrán determinadas por si reflejan y satisfacen las necesidades de la empresa compradora.

En el anexo I se incluye el cálculo de la Variedad correspondiente a cada uno de los artículos analizados, cuya representación gráfica junto con la Profundidad correspondiente da lugar a la Figura 1;

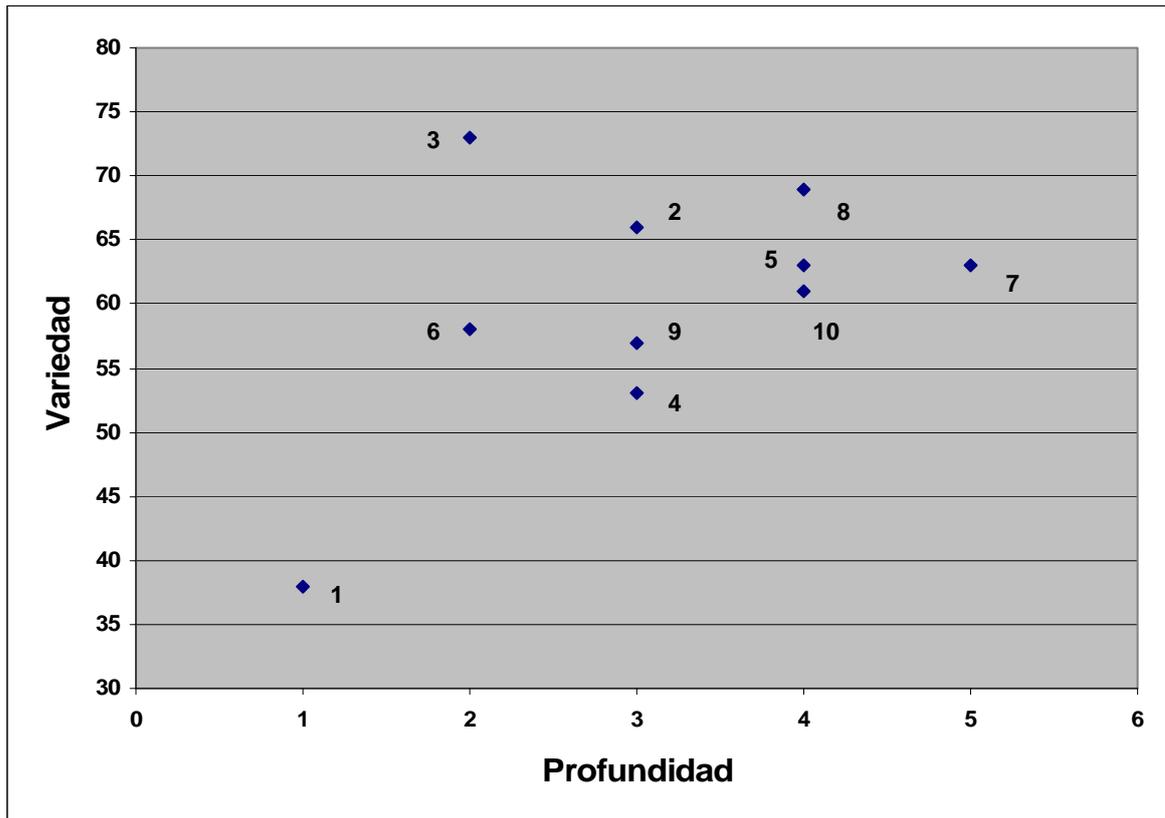


Figura 1. Representación gráfica Profundidad vs Variedad de los artículos analizados.

Donde la Profundidad indica el número de etapas que abarca el modelo, a pesar que los modelos 5, 8 y 10 parece que puedan estar analizando la misma casuística, en la tabla 3 se puede observar como 5 y 8, efectivamente, abarcan las mismas etapas, mientras que 10 incluye el cliente final (demanda) y no contempla la calidad. Asimismo el análisis detallado (ver Anexo I) de los factores del entorno de 5 y 8 permite observar que no analizan el mismo problema, ya que 8 se diferencia de 5 en que la demanda es aleatoria, hay un solo proveedor, un solo producto y que existen descuentos. De la misma manera, los artículos 4, 9 y 2 abarcan tres etapas, donde Compras y Almacén de recepción son comunes mientras que la tercera son; Calidad, Cliente final y Producción respectivamente. Por tanto, la totalidad de los diez modelos (100%) analizan casos diferentes, bien sea por la profundidad abarcada o bien por el entorno que incorporan.

	Artículo	Etapas
1	Burke et al 2008	Compras
2	Kokangul y Susuz 2009	Compras / Almacén recepción / Producción
3	Kirytopoulos et al 2010	Compras / Almacén recepción
4	Mendoza y Ventura 2010	Compras / Almacén recepción / Calidad
5	Rezaei y Davoodi 2007	Compras / Almacén recepción / Calidad / Cliente final
6	Coves y Cervera 2009	Compras / Calidad
7	Hajji et al 2010	Compras/Alm. recepción/Producción/Alm. expedición/Cliente
8	Lin 2010	Compras / Almacén recepción / Calidad / Cliente final
9	Abginehchi y Zanjirani 2010	Compras / Almacén recepción / Cliente final
10	Burke et al 2009	Compras / Producción / Alm. Expedición / Cliente final

Tabla 3. Descripción de las etapas que incluye cada modelo.

4.- Conclusiones.-

La presente revisión del estado del arte (desde el 2007) permite extraer diversas conclusiones;

- La más destacable es la inexistencia de un modelo global que analice la asignación de pedidos en un entorno de multiprovedores, existen diferentes soluciones parciales. Cada una de ellas está en función de la profundidad que se abarque en la cadena de aprovisionamiento, así como de los costes y los condicionantes del entorno que se consideren que, también incluyen aspectos particulares de la empresa y/o del sector al que pertenece. Todo ello hace que exista una gran variedad de planteamientos de forma que cada modelo responde a unas características concretas, que tratan de aproximar la realidad de la empresa estudiada o bien, en otros casos, modelizan concretos supuestos académicos.
- Utilización de diferentes modelos matemáticos, en los 10 artículos analizados se utiliza un total de 7 modelos matemáticos diferentes (70%), tan sólo dos artículos coinciden en la utilización de algoritmos heurísticos basados en una programación no lineal entera y tres en la utilización de algoritmos heurísticos basados en la programación no lineal entera. Todos los artículos (100%) utilizan diferentes procedimientos de resolución.
- En general, la función objetivo consiste en la minimización de los costes de compra. Aunque también hay otras como; la maximización del beneficio, la maximización del valor total de compra o funciones multiobjetivo.
- Las variables, resultados del modelo, son los pedidos que recibirá cada proveedor de forma que, entre todos ellos, suministren el total de la demanda requerida por la empresa compradora. En el caso de los modelos multiperiodos también se especificará la cantidad asignada en cada periodo. De la misma forma, en el caso de aprovisionamiento de múltiples productos se indicará la cantidad a suministrar de cada producto por cada proveedor y, si es necesario, en cada periodo. En función del modelo pueden definirse otras variables, como; tiempo entre pedidos, ciclo de pedidos, punto de pedido, volumen de negocio con proveedor "i",...
- Algunos de los artículos analizados complementan el planteamiento y resolución de un modelo con la realización de un análisis de sensibilidad. Los resultados obtenidos sirven para "teorizar"/generalizar diversas casuísticas. Algunos de los casos son; estudio del efecto de la variación de

cada uno de los costes (coste de posesión, coste de ruptura, coste de lanzamiento) o bien de la demanda respecto el incremento del número de proveedores, el comportamiento del punto de pedido o el pedido global. También algunos artículos analizan los límites respecto la conveniencia de un aprovisionamiento de un único proveedor o un multiaprovisionamiento, en este ámbito es especialmente interesante leer Burke et al (2009).

- A pesar de no ser del ámbito de este estado del arte, se ha podido constatar que algunos artículos abarcan y tratan las técnicas para la creación del panel de proveedores. Estas consisten en seleccionar, mediante una evaluación de criterios cualitativos y cuantitativos, los proveedores que formarán parte del panel. En otros casos, probablemente debido a un escaso consenso en la terminología, la asignación de pedidos sobre el panel de proveedores existente es asimilado a la realización de una selección de los proveedores, pues unos recibirán pedido y otros no.
- Se ha detectado la existencia de artículos que analizan el caso opuesto, la determinación de prioridades de entrega por parte de un proveedor en el supuesto de ser un proveedor único con múltiples clientes. Estos artículos no han sido analizados.

Las conclusiones obtenidas son sólidas y están argumentadas en los diez artículos analizados, a pesar de ello, un futuro trabajo deberá confirmar que sean, efectivamente, representativas. Para ello es necesario la ampliación del número de artículos revisados que traten la misma temática en el periodo abarcado. De esta forma será posible ratificar las conclusiones del presente artículo o, si corresponde, modificarlas.

ANEXO I.-

Cadena aprovisionamiento	Burke et al (2008)				Kokangul y Susuz 2009		Kirytopoulas et al (2010)		Mendoza y Ventura (2010)		Rezaei y Davoodi (2007)	
	Costes		Variedad		Costes	Variedad	Costes	Variedad	Costes	Variedad	Costes	Variedad
Compras	Coste de adquisición MP	1	Capacidad del proveedor	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Coste de lanzamiento	0	Priorización de proveedores	0	1	1	1	1	1	0	1	0
	Coste de transporte	0	Existencia de descuentos	1	1	1	1	0	0	0	0	0
			Plazo de entrega	0		0		1		1		0
Almacén recepción	Coste de posesión MP		Capacidad de almacén		1	0	1	0	1	0	1	1
			Stock MP			0		0		1		0
Calidad	Coste selección 100%		Porcentaje de piezas correctas						0	1	1	1
			Tasa de selección							0		0
Producción	Coste producción		Tasa de producción		0	1						
Almacén expedición	Coste posesión PA		Stock PA									
Cliente final	Coste de rotura		Demanda cliente final								0	1
			Precio de venta									1
			Un periodo vs múltiples	0,3		0,3		0,3		0,3		1
			Un producto vs múltiples.	0,3		0,3		0,3		0,3		1
		0,333		0,433	0,800	0,511	1,000	0,450	0,600	0,460	0,667	0,583
Variedad				38%		66%		73%		53%		63%

		Coves y Cervera (2009)		Hajji et al (2010)		Lin (2010)		Abginehchi y Zanjirani (2010)		Burke et al (2009)		
Cadena aprovisionamiento	Costes	Variedad	Costes	Variedad	Costes	Variedad	Costes	Variedad	Costes	Variedad	Costes	Variedad
Compras	Coste de adquisición MP	Capacidad del proveedor	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0
	Coste de lanzamiento de	Priorización de proveedores	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
	Coste de transporte	Existencia de descuentos	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
		Plazo de entrega		1		1		1		1		0
Almacén recepción	Coste de posesión MP	Capacidad de almacén			1	1	1	0	1	0		
		Stock MP				1		0		0		
Calidad	Coste selección 100%	Porcentaje de piezas correctas	0	1			1	1				
		Tasa de selección		0				1				
Producción	Coste producción	Tasa de producción			0	1					0	1
Almacén expedición	Coste posesión PA	Stock PA			1	1					1	1
Cliente final	Coste de rotura	Demanda cliente final			1	1	0	1	1	1	1	1
		Precio de venta				0		1		0		1
		Un periodo vs múltiples		0,3		0,3		0,3		0,3		0,3
		Un producto vs múltiples.		1		0,3		0,3		1		0,3
			0,500	0,663	0,714	0,550	0,833	0,550	0,800	0,330	0,667	0,560
Variedad	-	-	-	58%	-	63%	-	69%	-	57%	-	61%

Tabla 4. Cálculo de la variedad (en porcentaje) que incluyen los artículos analizados.

5.-BIBLIOGRAFIA.-

- Abginehchi, S., Farahani, R.Z., 2010. Modeling and Analysis for Determining Optimal Suppliers under Stochastic Lead Times. *Applied Mathematical Modeling* 34 (5), 1311-1328.
- Burke, G.J., Carrillo, J., Vakharia, A.J., 2008. Heuristics for sourcing from multiple suppliers with alternative quantity discounts. *European Journal of Operational Research* 186 (1), 317-329.
- Burke, G.J., Carrillo, J.E., Vakharia, A. J., 2009. Sourcing Decisions with Stochastic Supplier Reliability and Stochastic Demand. *Production and Operations Management* 18 (4), 475-484.
- Coves, A., Cervera, D., 2009. Analyze and Designing of Allocation Models in Multi-supplier Environments, based on MILP. 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management.
- Feique, Federación empresarial de la industria química española, Observatorio industrial del sector químico. Evolución de la industria química española (2003-2007). ([http://www.mityc.es/industria/observatorios/SectorQuimico/Actividades/2008/Federacion Empresarial de la Industria Quimica Espanola/OIQuimico Evolucion Industria Quimica 2003 2007.pdf](http://www.mityc.es/industria/observatorios/SectorQuimico/Actividades/2008/Federacion_Empresarial_de_la_Industria_Quimica_Espanola/OIQuimico_Evolucion_Industria_Quimica_2003_2007.pdf)).
- Gonzalez-Benito, J., 2007. A theory of purchasing's contribution to business performance. *Journal of Operations Management* 25 (2007) 901-917.
- Hajji, A., Gharbi, A., Kenne, J.P., Pellerin, R., 2010. Production Control and Replenishment Strategy with Multiple Suppliers. *European Journal of Operational Research* 208 (1), 67-74.
- ICEX, Instituto español de comercio exterior, 2009, El mercado de automoción y de sus componentes en India (<http://www.oficinascomerciales.es/icex/cma/contentTypes/common/records/viewDocument/0...00.bin?doc=4211543>).
- Kirytopoulos, K., Leopoulos, V., Mavrotas, G., Voulgaridou, D., 2010. Multiple sourcing strategies and order allocation: an ANP-Augmecon meta-model. *Supply Chain Management- an International Journal* 15 (4), 263-276.
- Kokangul, A., Susuz, Z., 2008. Integrated analytical hierarch process and mathematical programming to supplier selection problem with quantity discount. *Applied mathematical modeling* 33 (3), 1417-1429.
- Lin, T.Y., 2010. An Economic Order Quantity with Imperfect Quality and Quantity Discounts. *Applied Mathematical Modeling* 34 (10), 3158-3165.
- Mendoza, A., Ventura, J.A., 2010. A serial inventory system with supplier selection and order quantity allocation. *European Journal of Operational Research* 207 (3), 1304-1315.
- Pallarés, Montserrat, 1997, El sistema de producción flexibles, el just in time y la transformación espacial. La empresa del automóvil en España. *Boletín de la AGE* N° 24, 1997, 53-71.
- Rezaei, J., Davoodi, M., 2008. A Deterministic Multi-item Inventory Model with Supplier Selection and Imperfect Quality. *Applied mathematical modeling* 32 (10), 2106-2116.