

## **La cadena de suministros para empresas que en su proceso de producción incorporan materias primas procedentes directamente de la naturaleza**

**Anna M<sup>a</sup> Roma Vilanova, José M<sup>a</sup> Castán Farrero<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Economía y Organización de Empresas. Facultad de Economía y Empresa. Universitat de Barcelona. Avda. Diagonal, 690; 08034 Barcelona. jmcasta@ub.edu ; annam.roma@uvic.cat

**Palabras Clave:** Equilibrio input-output; inventarios “push”; ventas impulsadas; expansión horizontal de la Cadena de Suministros.

### **1. Introducción y revisión de la literatura**

Las empresas que en su proceso productivo parten de materiales obtenidos directamente de la naturaleza, como industrias del curtido de la piel, madereras, marmoleras, productoras de áridos, joyería tanto en derivados de perlas como tallado de diamantes etc., en definitiva, que en su proceso productivo no pueden realizar cambios estructurales como mezclas, fusiones u otras transformaciones, y si se ven obligadas, a clasificar el material input para llevar a cabo el proceso productivo. Este tipo de empresas, mantiene una interrelación inevitable con problemas de origen biológico, que a su vez tienen repercusiones en lo económico. A este tipo de empresas, las denominamos “empresas bioeconómicas”. La Bioeconomía (Mohammandian, 1999, 2005) se pueden considerar como el nuevo paradigma científico del siglo XXI, adopta un enfoque holístico, como consecuencia de integrar las actividades económicas en los sistemas naturales, buscando el equilibrio entre la actividad socioeconómica y la economía de la naturaleza. Las empresas bioeconómicas configuran una nueva realidad empresarial, puesto que las premisas en las que se apoya su gestión, son significativamente distintas a las utilizadas en los modelos de gestión como, el JIT (Just in Time) o el OPT (Optimized Production Technology) Si bien, podemos distinguir diferentes condicionantes que la naturaleza impone a estas empresas, como la heterogeneidad del material, la contaminación, la exhaustividad, entre otras, en el presente trabajo, nos centraremos solo en los efectos que la heterogeneidad del material ocasiona en la gestión de las mismas.

La heterogeneidad de las materias primas (a la que denominamos material input), se presenta en cada compra o adquisición, ya que se obtienen de manera inevitable un conjunto no homogéneo de unidades. Esta particularidad, hace que el conjunto de la compra / adquisición, se clasifique en varios subconjuntos de disponibilidades Homogéneos según el criterio adoptado en la clasificación.

La propuesta de gestión para esta tipología de empresas, es el logro del equilibrio Input-Output. Los primeros autores en trabajar un modelo Input-Output fueron Lovell (1962) y Foster (1963), posteriormente Ramey (1989), desarrolló un modelo de optimización de inventarios en los distintos estadios de fabricación: materiales (input), en proceso de elaboración y en acabados (output) Humpherys, Maccini y Schuh (2001), introducen el concepto de inventarios relacionados “Input-Output”, estos autores, analizan empíricamente la relación entre la compra y uso de los materiales input, en dos grandes grupos: sectores de productos duraderos y sectores de productos perecederos. Pocos estudios, se hallan en la

literatura económica que analicen la gestión e implicaciones que conlleva el operar con inventarios “input” estocásticos. Las investigaciones existentes se centran en el ámbito macroeconómico y tratan de explicar cómo afecta la incertidumbre y la exhaustividad de los materiales, a la determinación del precio y en el ritmo de consumo del propio material.

Si bien, de forma general existen investigaciones sobre los factores que influyen en la variación de los precios de los materiales y su efecto en decisiones de inversión en estos sectores, *no existen estudios sobre como gestionar de forma microeconómica esta heterogeneidad y de sus efectos en el rendimiento de las empresas*. La característica de la heterogeneidad en el material input, imposibilita la aplicación de las técnicas de los modelos que se basan en el estoc de seguridad como factor para reducir la incertidumbre, ya que nos encontramos con inventarios input estocásticos y asimétricos respecto a su composición.

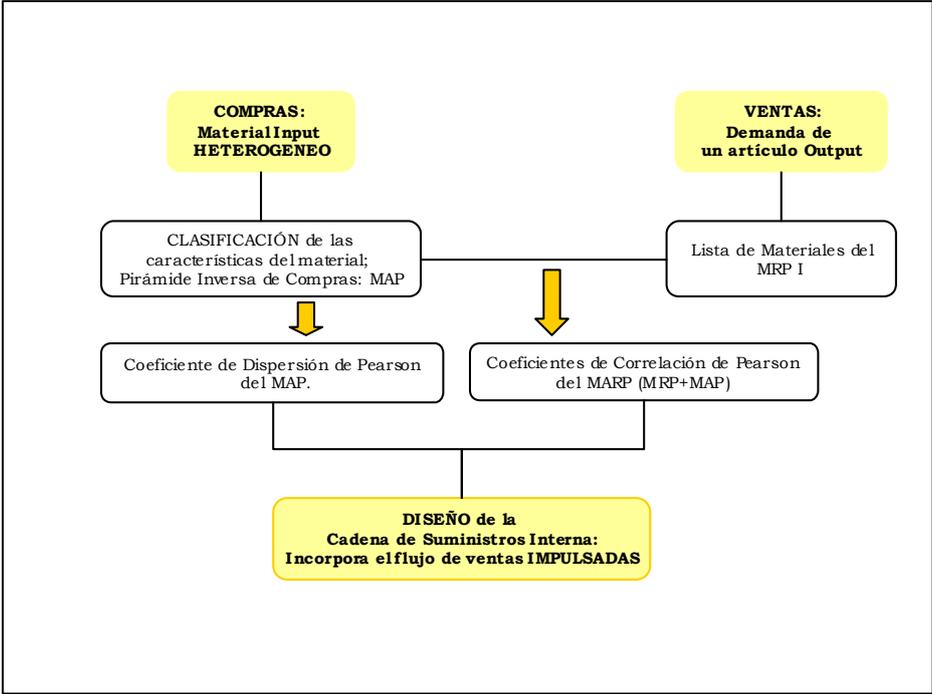
La gestión de estos materiales, exige la configuración de un modelo que relacione el inventario *input* procedente de los materiales comprados / adquiridos, con el inventario *output* necesario para obtener los productos finales demandados por las ventas, y además, establecer reglas para lograr el equilibrio entre ambos, mediante criterio de valoración dinámica.

La incertidumbre debido a la heterogeneidad en la obtención de las distintas clases de disponibilidades del material, combinado con la obtención de inventario no deseado, conduce a una modificación en el diseño de la Cadena de Suministros interna, que se expande de forma horizontal, incorporando en la misma la totalidad del ciclo del producto (Fandel y Stammen, 2004) La extensión horizontal de la Cadena de Suministros es un tema ampliamente desarrollado en la literatura económica. Van Donk, Van der Vaart (2005), afirman que la incertidumbre en cualquier eslabón de la Cadena de Suministros incrementa la necesidad de una mayor integración.

## **2. Definición del modelo y metodología para su aplicación**

El instrumento que permite la gestión de la incertidumbre será el sistema de valoración del inventario input. En los materiales procedentes directamente de la naturaleza, el reparto del coste correspondiente al importe de la compra/adquisición, se efectúa de manera desigual entre las unidades, debido a la distinta valoración que entre ellas se produce como consecuencia de la heterogeneidad del conjunto de la compra. El criterio de distribución del coste será el factor clave que permitirá que la cadena de suministros opere con eficiencia.

En este marco de las empresas bioeconómicas, se ubica la tipología empresarial en que basamos el modelo de gestión propuesto representado en la figura 1:



**Figura 1:** Modelo de Gestión para empresas que operan con materiales procedentes directamente de la naturaleza. MAP: Material Availability Planning. MRP I: Material Requirements Planning; MARP: Material Availability Requirements Planning.

**2.1. Heterogeneidad, generación del MAP, incertidumbre y dispersión**

La heterogeneidad se da principalmente en los materiales de origen natural (Cairns, 1994). En un material procedente directamente de la naturaleza, en cada adquisición se obtienen unidades con distintas características (calidades) sin posibilidad de poder discriminar ninguna de ellas. Esta particularidad, origina sistemáticamente en cada compra, un inventario “no deseado”. Además, existe siempre incertidumbre, sobre la cantidad obtenida de cada una de las distintas características del material.

La clasificación, en grupos de unidades más o menos homogéneos conforme a criterios previamente establecidos, es uno de los primeros pasos que se debe llevarse a cabo en la gestión de este tipo de empresas. Esta clasificación, genera una “lista de disponibilidades” que conceptualmente, es equiparable a la “lista de necesidades” utilizada por el MRP I, y por analogía, la denominaremos “Material Availability Planning” o MAP.

Dada una compra de un conjunto de unidades  $[C_n]$  (por ejemplo número de perlas obtenidas en un vivero) y, unos resultados de clasificación expresados en una matriz de probabilidades  $[\rho_i]$  para cada característica o combinación de ellas representada en el MAP; una necesidad de venta que requiera la característica del material  $[\delta_1]$  (una perla blanca y brillante), dependerá de la probabilidad  $[\rho_1]$  de obtener la clase de característica identificada por  $[\delta_1]$  en el proceso de clasificación del material (probabilidad de obtener la combinación de las características “blanca y brillante” entre todas unidades obtenidas del vivero del material  $[n]$  (perlas).

La suma de la cantidad obtenida de cada una de las características (o combinación de ellas, según los criterios adoptados de clasificación) clasificadas de un lote de compra del material

"n" será el MAP absoluto de una compra:  $C_n \Rightarrow MAP_n = \sum_{i=1}^m \delta_i$

El MAP relativo es la obtención de los porcentajes que representa cada característica (o combinación de ellas según criterios de clasificación) en un material input, para uno o varios lotes de clasificación.

$$C_n \Rightarrow MAP_n = \sum_{i=1}^m (C_n * \rho_i) \text{ donde } 0 \leq \rho \leq 1 \text{ y } \sum_{i=1}^m \rho_i = 1$$

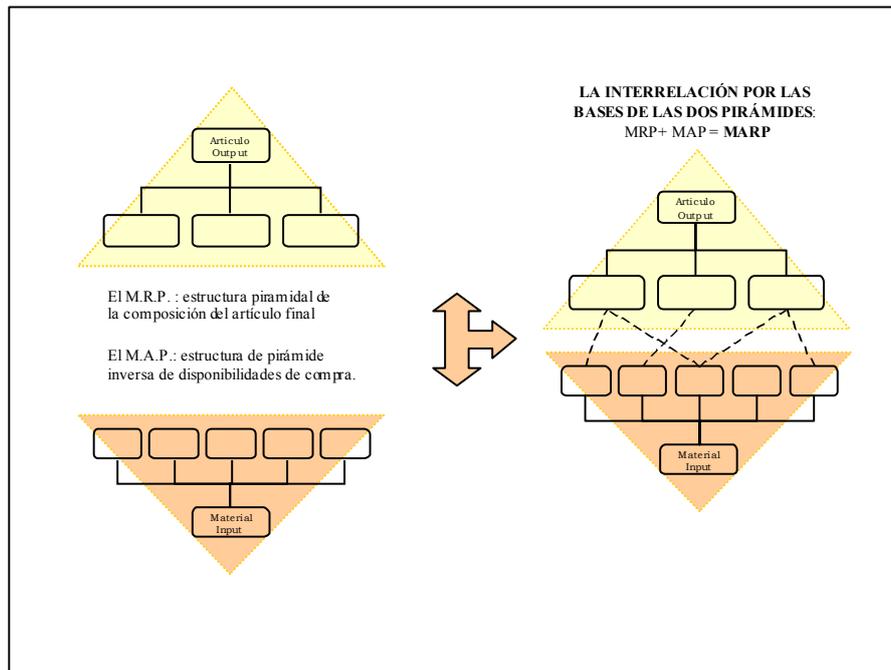
La incertidumbre respecto las cantidades de las distintas disponibilidades de una compra, es la causa de la generación de un *inventario input estocástico*, que tiene como consecuencia la *generación de disponibilidades no deseadas*. Para Morck, Schwartz y Stangeland (1989), un inventario estocástico conduce a un *inventario asimétrico* respecto su composición. La asimetría genera inventarios de difícil rotación y requiere un ajuste sistemático del desequilibrio.

Para medir el grado de incertidumbre de un material o de las distintas características clasificadas, utilizaremos técnicas de dispersión estadística como el Coeficiente de Variación de Pearson. El grado de dispersión, será una medida que nos indicará la fiabilidad de la previsión de disponibilidades de la compra, y con ello, la posibilidad de establecer a priori una mejor adaptación a las necesidades de la demanda, y así alcanzar equilibrio input-output.

## 2.2. El equilibrio "input-output" frente al estoc de seguridad.

Los modelos de gestión como el JIT (Just In Time), contemplan una tipología de empresas que pueden seleccionar las características específicas requeridas en los materiales input, por lo que basan la gestión de materiales *en las necesidades* que generan las previsiones de venta (lista de materiales utilizada como base del MRP I). Contrariamente, las empresas objeto de este trabajo, basan la gestión *en las disponibilidades* que generan las compras (MAP de la compra); sabiendo, que no serán válidas la totalidad de las unidades compradas, sino solo una parte de ellas, esto limita la aplicación la formula simple de gestión de inventarios: "Inventario final = Inventario inicial + Compras – Ventas".

La interrelación entre el MAP y MRP, la denominamos MARP o Material Availability Requirement Planning. Gráficamente, se representa en forma de dos pirámides unidas o interrelacionadas por sus bases, en la que una, refleja la disponibilidad que se derivan de las compras, y la otra, los requerimientos del MRP que son necesarios para obtener el producto (output) destinado a las ventas. La figura 2, nos muestra esta interrelación, así como el logro del equilibrio input-output, base de la gestión de materiales heterogéneos estocásticos, y que permite la reducción del inventario push (inventario no deseado), que se pueda producir de forma acumulativa en sucesivas compras / adquisiciones.



**Figura 2:** Representación de la interrelación entre disponibilidades y necesidades

El indicador que representa el grado de equilibrio MARP es el Coeficiente de Correlación entre las necesidades netas de las ventas (características del material input requeridas para la elaboración del output) y las disponibilidades de compras (características del material input obtenidas en la compra). En las empresas que utilizan los modelos convencionales, la correlación entre una compra y una venta es siempre la unidad (sin tener en cuenta políticas de inventario). En las empresas que nosotros evidenciamos en este trabajo, el coeficiente de correlación debido a la incertidumbre, es habitualmente distinto a la unidad, lo que representa un desequilibrio entre disponibilidades y necesidades y en consecuencia la generación de inventario push (no deseado)

### 2.3. La valoración desigual del MAP y cálculo de coeficientes dinámicos

La propia necesidad de clasificar el material, es un claro indicador que “*no todas las unidades son iguales*”. Si existen diferencias entre las unidades, es lógico admitir, que el valor del material, de cada subconjunto de unidades que se han formado como resultado de esa clasificación, es también distinto, por lo que el coste atribuido, debe corresponder a la expectativa de cada una de ellas.

La alternativa, será, distribuir mediante *coeficientes de valoración*  $[\gamma_i]$ , el importe total de la compra entre las disponibilidades del MAP, de manera, que se ajusten el coste imputado, al valor atribuido a cada tipo de disponibilidad resultante de la clasificación.

*La regla básica* que deben cumplir los coeficientes, es atribuir un coste que proporcione un elevado precio de venta a la clase de disponibilidades con gran demanda, *pero* que son difíciles de obtener y, facilite la venta, mediante la asignación de un coste bajo, a la clase de disponibilidades o características que tienen poca demanda, *pero*, una probabilidad de obtención elevada

El coste  $[\varphi(i)]$  de una característica de un material del MAP para este tipo de empresas, se obtiene a partir del precio de adquisición  $[P_n]$  y el coeficiente de valoración  $[\gamma_i]$  asignado a

ésta característica; en consecuencia:  $\varphi(i) = [P_n * \gamma_i]$ , donde la incógnita es el coeficiente de valoración. En este modelo, buscamos un coeficiente  $[\gamma_i]$  *dinámico*, que refleje y se adapte constantemente a los cambios en el entorno de ventas y de compras.

El reflejo de los cambios en el entorno de compras se realiza a partir del MAP. El coeficiente dinámico que se aplica a los materiales adquiridos, se calcula, como la inversa  $\left[ \frac{1}{\rho_i} \right]$  de la probabilidad de obtención de cada clase de disponibilidad del MAP

Cuanto más elevada, sea la probabilidad de obtener un tipo de característica del material input (por ejemplo perlas blancas), más bajo será el coste atribuido al output, en consecuencia podremos fijar un precio de venta bajo, y así, incentivamos las ventas de este producto. Y, viceversa, para cuando la probabilidad de obtención de un tipo de característica se baja

El reflejo de los cambios en el entorno de ventas se manifiestan a partir de valorar más las características muy demandadas y valorar poco aquellas que el mercado se muestra poco interesado en su adquisición. Se incorpora, también una ponderación de la demanda  $[\eta_i]$  a la inversa de la probabilidad del MAP  $[1/\rho_i]$ .

$[\eta_i]$ , representa dentro de la totalidad de la demanda, el peso relativo que tiene cada característica o combinación de varias de ellas. Si nuestra demanda se compone de “n” collares de perlas blancas, “m” de pelus blancas y negras al 50 por ciento y “p” de collares de perlas blancas y negras a proporción de una a cuatro,  $[\eta_i]$  supone que porcentaje del total de la demanda que representan cada una de las características, las perlas blancas y las perlas negras en este caso.

Por consiguiente el coeficiente de valoración  $[\gamma_i]$  para cada tipo de disponibilidad será:

$$\gamma_i = \left( [1/\rho_i] * \eta_i \right)$$

El coste por cada clase de disponibilidad (característica o combinación de características clasificadas) del MAP se representa mediante:  $\varphi(i) = P_n * ([1/\rho_i] * \eta_i)$ , donde “i” es cada característica o combinación de ellas que componen el MAP de la compra.

El coste para un artículo output será el sumatorio de las proporciones de los distintos costes de cada característica de su lista de componentes.

$$\Phi(G_k) = \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N \alpha_n * \left[ P_c * ([1/\rho_i] * \eta_i) \right]$$

Los diferenciales entre los costes de las distintas disponibilidades del MAP, deben permitir lograr el equilibrio input-output a medio plazo, puesto que de forma dinámica se refleja en los costes los cambios del entorno, así como la relación entre la demanda y la obtención de las distintas características de un material input.

### **3. Conclusiones: El diseño de la cadena de suministros para empresas que operan con materiales procedentes directamente de la naturaleza.**

En un diseño de logística integral, las conexiones externas de la empresa son los clientes y los proveedores. Podemos admitir, que el ciclo empresarial se inicia con una venta pull (de

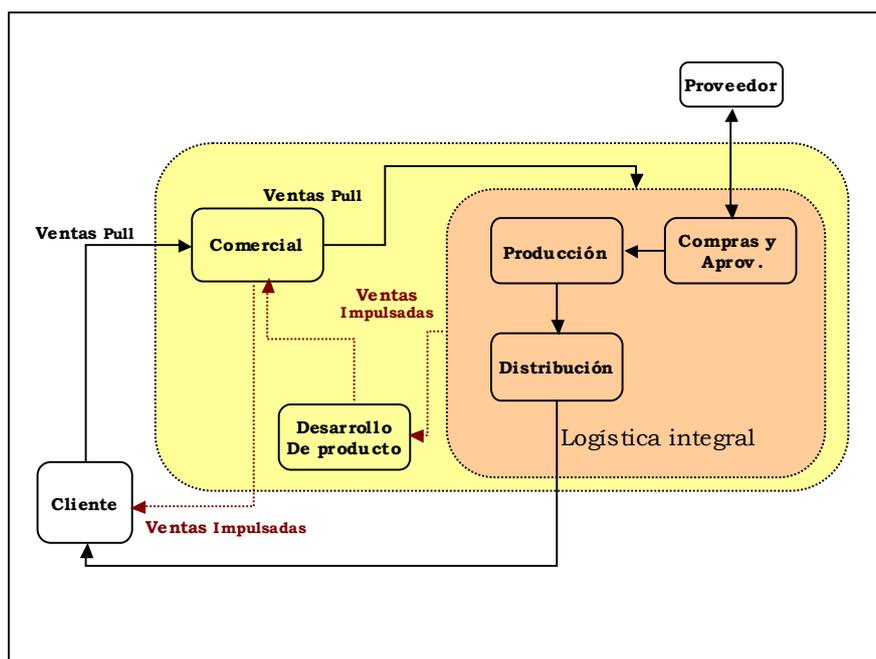
cliente a empresa, denominada de esta manera, porque es el cliente mediante su demanda quien provoca la venta), en estas circunstancias, la logística tiene una función de carácter *reactivo* a las ventas pull y desarrollo de producto, en consecuencia esta dentro del área de marketing y ventas.

En el nuevo diseño de la Cadena de Suministros, las conexiones externas de la empresa son de igual forma los clientes y los proveedores; el ciclo empresarial se inicia con una venta pull (de cliente a la empresa), la logística controla el flujo de materiales e información de forma *proactiva*, con objeto a buscar el equilibrio MARP. Para este fin, requiere incorporar bajo una misma responsabilidad un circuito de ventas impulsadas y el desarrollo de producto.

El diseño propuesto, incorpora dos figuras nuevas: *las ventas impulsadas* (entendiendo que es la empresa quien activa las ventas), y *desarrollo de productos*. Ambos con un mismo fin, reducir o eliminar el inventario push mediante unas valoraciones adecuadas del mismo para favorecer las ventas.

El circuito de ventas impulsadas, son “ventas dirigidas”. Van de la empresa al cliente y no como las ventas pull que van del cliente a la empresa. Las ventas impulsadas, deben ser una constante en la gestión comercial, no una cuestión puntual como es el caso de una promoción. Las ventas impulsadas, son ventas difíciles de realizar, por tanto el incentivo del cliente será vía precios. Cuanto menor sea el coste atribuido al inventario push, más se favorecerá este incentivo para ventas impulsadas. El objetivo de las ventas impulsadas es lograr la rotación de los inventarios push, a diferencia de las ventas pull donde los principales objetivos son: la rentabilidad, la imagen de la empresa, el servicio al cliente, y la entrega de unos productos demandados por los consumidores.

El objetivo habitual de la función de desarrollo de producto, es el diseño de nuevos artículos para asegurar las ventas del mañana. En el tipo de empresas objeto de este trabajo, tiene un objetivo adicional y no menos importante; la rotación del inventario input y el equilibrio del MARP. La función de desarrollo de producto es estratégica, ya que debe buscar a partir de la composición de nuevos artículos output, eliminar el inventario input de forma sistemática y lograr a medio plazo, el equilibrio input-output.



**Figura 3:** Nuevo diseño de la Cadena de Suministros Con Extensión Horizontal.

La figura 3, nos muestra el diseño de la cadena de suministros para empresas que su proceso productivo se inicia mediante la incorporación de materias primas procedentes directamente de la naturaleza (no han experimentado transformaciones previas), en la que se observa, una ampliación horizontal de la cadena de suministros convencional, al incorporar a la misma, los flujos: de las ventas impulsadas, y las procedentes del desarrollo de productos, ambos flujos, resultantes del aprovechamiento del inventario push. Con ello, se hará efectiva la rotación total de las disponibilidades procedentes de las compras/adquisiciones, que es el objetivo esencial en la gestión de este tipo de empresas, ya que en ello, se basa la rentabilidad global del negocio.

### **Referencias.**

*Cairns, R. D. (1994); "On Gray's Rule And The Stylized Facts Of Non-Renewable Resources"; Journal Of Economic Issues, Vol XXVIII, 3.*

*Cairns, R. D., Lasserre P. (1991): Investment In A Multi-Deposit Non-Renewable Resource Industry; Journal Of Environmental Economics And Management, 21, 52-66.*

*Davis T. (1993); "Effective supply chain management", Sloan Management Review 34, 65-73.*

*Dejonckheere J, Disney SM, Lambrecht MR, Towill DR, (2002); "Transfer function analysis of forecasting induced bullwhip in supply chains" , International Journal of Production Economics, vol. 78, 2, 133 - 144*

*Fandel, G., Stammen, M., (2004); "A General Model For Extended Strategic Supply Chain Management With Emphasis On Product Life Cycles Including Development And Recycling"; Internacional Journal Of Productions Economics, 89, 293-308.*

*Foster, E. (1963), "Sales forecast and the inventory cycle", Econometrica, 31, 400-421.*

*Gunasekaran, A., Walter W.C. Chung (2004); "Special Issue On Supply Chain Management For The 21 St. Centuy Organizational Competitiveness"; Internacional Journal Of Productions Economics, 87, 209-212. Humphreys, B.R., Maccini L.J., Schuh S. (2001); "Input And Output Inventories"; Internacional Journal Of Productions Economics, 47, 347-375.*

*Humphreys, B.R., Maccini L.J., Schuh S. (2001); "Input And Output Inventories"; Internacional Journal Of Productions Economics, 47, 347-375.*

*Lovell, M. E. (1962); "Buffer Stocks, Sales Expectations And Stability: A Multi-Sector Analysis Of The Inventory Cycle"; Econometrica, 30, 267-296.*

*Mohammandian M. (1999); "Bioeconomics: An Innovative Paradigm for Economics"; Intenational Minds, 9, 1, 41.45.*

*Mohammandian M. (2005); "Bioeconomics. Biological Economic. Interdisciplinary Study of Biology, Economics and Education" Entrelíneas Editores, Madrid*

*Morck R., Schwartz E., and Stangeland D. (1989); "The Valuation Of Forestry Resources Under Stochastic Prices And Inventories"; Journa Of Financial And Quantitative Analysis, Vol. 24, 4.*

*Ramey, V., (1989); "Inventories As Factors Of Productions And Economic Fluctuations"; American Economic Review, 79, 338-354.*

*Roma, A.M. (2007); "Modelo de gestión de la cadena de suministros para empresas con pirámide inversa de compras"; Tesis Doctoral, Universidad de Barcelona.*

*Takeshi Itoh; Hiroaki Ishii, Teruaki Nanseki (2003); “A Model Of Crop Planning Under Uncertainty In Agricultural Management”; International Journal Of Production Economics, 81-82, 555-558.*

*Van Donk, D.P. Van Der Vaart, T (2005); “A case of shared resources, uncertainty and supply chain integration in the process industry”; International Journal of Production Economics, Vol 96, 1, 97-108*