

Modelación dinámica para la optimización de inventarios multiproducto con demanda multivariada

Programa: Doctorado en Ingeniería- Industria y organizaciones

Facultad de Minas

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín

Resumen: Los modelos de inventario que incluyen todos los factores fijos no son robustos a las fluctuaciones de variables en la cadena de suministro, en especial, la logística interna de una empresa. Los modelos clásicos no tienen estructuras adecuadas que ayudan a apoyar los cambios drásticos, o incluso predecir sin datos. Los modelos de inventarios dinámicos son necesarios para permitir los cambios que afectan a la planificación de las ventas y la producción. El modelo lineal dinámico, DLM, es un sistema de pronóstico que usa técnicas bayesianas, que puede ser utilizado cuando existen pocos o ningún dato o para afrontar los mencionados cambios drásticos.

En este trabajo, se propone desarrollar un modelo de inventario óptimo con las previsiones de demanda bayesianas, utilizando distribuciones de probabilidad y la dependencia estocástica que facilitaría actualizar variables tan importantes como la predicción de la demanda multivariante y modificar las cantidades en múltiples productos para ser producidos y almacenados de manera óptima. Estos modelos han sido utilizados para pronosticar, en general, en diferentes temas, con una representación dinámica de espacio de estado, para la demanda multivariante.

1. Introducción.

Los procesos dinámicos en los modelos de inventarios implican la existencia de cambios inesperados en el tiempo, que derivan a menudo en incertidumbre de factores como la demanda, tiempos de suministro, precios y costos, entre otros, asociados principalmente a la administración de inventarios.

Las organizaciones actualmente enfrentan muchas dinámicas donde los modelos de inventarios estáticos parecen insuficientes para representar adecuadamente el sistema. Estos modelos que contemplan todos los factores fijos en el tiempo son poco robustos por su incapacidad de incorporar una gran variedad de fluctuaciones en la logística interna empresarial, así como la falta de precisión en los pronósticos (Bes & Sethi, 1988; Gutiérrez & Vidal, 2008; Sarimveis, Patrinos, Tarantilis, & Kiranoudis, 2008; Shoemith & Pinder, 2001). El manejo de inventarios que contempla una demanda fija ya no es lo más adecuado.

En numerosos trabajos sobre modelos de inventarios se afirma que uno de sus aspectos más importantes es el tratamiento dado a la demanda (Bes & Sethi, 1988; Feng, Sethi, Yan, & Zhang, 2006; Gallego & Ryzin, 2013; Gutiérrez & Vidal, 2008; Kumar, Singh, & Kumari, 2012; Samaratunga, Sethi, & Zhou, 1997; Schwartz & Rivera, 2006; Sethi, Yan, & Zhang, 2003). Precisamente, frente a la incertidumbre de la demanda, los pronósticos de ésta se han utilizado como: Insumos o entradas para optimizar los inventarios; o parte del proceso de optimización, dentro del cual se estiman estocásticamente.

En la revisión de Gutiérrez & Vidal (2008) resaltan la importancia de los modelos basados en la variabilidad de la demanda y los tiempos de suministro, y afirman que no son muchos

los trabajos en Colombia que lo hacen. En Sarimveis et al. (2008) presentan una revisión de 187 referencias sobre modelos dinámicos alrededor de cadenas de suministro, señalando en especial, la demanda aleatoria como uno de los factores más importantes en modelos de optimización de inventarios.

En este surgen algunas preguntas a ser respondidas de una revisión preliminar:

- 1.¿Cuáles son las características generales existentes sobre los modelos de optimización de inventarios que usan demandas dinámicas?
- 2.¿Cuáles son las principales técnicas estadísticas para enfrentar la dinámica de la demanda dentro del análisis de los inventarios?
- 3.¿Qué alternativas son útiles y poco exploradas para predecir la incertidumbre de la demanda en dichos modelos?

2. Revisión de literatura.

La cadena de suministro es un proceso que permite integrar y coordinar actividades internas de la empresa (Correa & Gómez, 2009), pero también externas. La logística interna, es el proceso interno de la empresa para transformar la materia prima (Correa & Gómez, 2009) sin salir de esta, a diferencia de la gestión de la cadena de suministros. En este sentido, los inventarios pueden ser administrados en una cadena productiva interna a la empresa, o al salir de esta, lo que en general se ha visualizado a lo largo de esta revisión. En general, son múltiples esquemas que pueden ser considerados en el campo univariado o multivariado, para modelos de inventarios con demanda dinámica. A continuación se mostrarán las principales características de estos modelos, como las funciones objetivo, tipos de solución y de modelos que pueden existir,

entre otros aspectos.

Funciones objetivo

- El costo total es una función muy común en estos procesos de optimización de inventarios, durante todo el horizonte de programación, y ha sido considerada en trabajos como: (Bes & Sethi, 1988; Buffett & Scott, 2004; Dunbar & Desa, 2005; Feng et al., 2006; Hausman & Peterson, 1972; Jeyanthi & Radhakrishnan, 2010; Samaratunga et al., 1997; Sani & Kingsman, 1997; Sethi et al., 2003; Taleizadeh, Niaki, & Nikousokhan, 2011; Urrea & Torres, 2006; Wang, Lin, & Yu, 2011). En otros casos se consideran costos variables; en Ventura, Valdebenito, & Golany, (2013) buscan implementar un modelo de reducción de costos variables y determinar una política óptima de inventario que coordina la transferencia de materiales entre las etapas consecutivas de la cadena de un periodo a otro.

- El nivel de inventario es otra posible función objetivo en estos modelos (Arrow, Karlin, & Scarf, 1958; Arslan, Graves, & Roemer, 2007; Sarimveis et al., 2008; Wang, Rivera, & Kempf, 2005; Yokoyama, 2002). En Yokoyama (2002) se optimiza el inventario objetivo y la cantidad de producto transportada, para un sistema de distribución de mercancía que cuenta con varios centros de distribución y puntos de consumo.

También son posibles funciones objetivo: Maximización de la ganancia esperada (Choi, Li, & Yan, 2003; Chou, Sim, & Yuan, 2013; Jun-jun & Ting, 2009); Maximización del cumplimiento de pedidos a sus clientes (Dawande, Gavirneni, & Tayur, 2006); Máximo nivel de inventarios permitido (Song, 1998).

Soluciones con Metaheurísticas

- Las heurísticas son “procedimientos simples, a menudo basados en el sentido común, que se supone ofrecerán una buena solución (aunque no necesariamente la óptima) a problemas difíciles, de un modo fácil y rápido” (Zanakis & Evans, 1981). Por lo tanto, es posible que se logren adaptar de manera eficiente a las condiciones de la empresa, agilizando el proceso de toma de decisiones referentes a los niveles de inventarios óptimos. También, se cree que pueden permitir una menor necesidad de imponer restricciones, facilitando soluciones a modelos más representativos de la realidad (Silver, 2004).
- Estas técnicas han sido exploradas por numerosos autores en relación a la optimización de inventarios (Arslan et al., 2007; Fouskakis & Draper, 2002; Hausman & Peterson, 1972; Jeyanthi & Radhakrishnan, 2010; Taleizadeh et al., 2011; Urrea & Torres, 2006; Zanakis & Evans, 1981), así como en la revisión de (Silver, 2004), sobre el uso de heurísticas, ventajas, desventajas y aplicaciones.
- En (Taleizadeh et al., 2011) realizan un algoritmo híbrido meta-heurístico, indicando las ventajas de trabajar con una demanda estocástica, en especial, cuando se considera de dos formas: estimación del valor esperado robusto y fuzzy. En Urrea & Torres (2006) aplican un algoritmo de búsqueda tabú para encontrar el nivel óptimo de pedidos, Jeyanthi & Radhakrishnan, (2010) usan algoritmos genéticos. Por su parte, Buffett & Scott (2004) optimizan los costos totales de inventarios usando algoritmos genéticos, con base en predicciones de demanda y precios. En Wu, Zhang, & Zhu (2012) usan un algoritmo de Colonia de Hormigas para realizar una programación de producción.

Algoritmo de Variables acotadas

- Para problemas de programación entera mixta estocástica, la solución del problema se puede proponer usando un algoritmo de variables acotadas, como lo muestra (Bitran, Haas, & Matsuo, 1986); con este la producción adecuadamente dando prioridad a los productos que obtuvieron pronósticos de ventas más altos y menores errores.

Teoría bayesiana

- En esquemas de optimización de inventarios, según el conocimiento de los autores, la teoría bayesiana no se ha utilizado ampliamente. Estas técnicas son usadas en Choi et al., (2003) para actualizar el valor de la demanda en un trabajo que define una política de dos estados: antes/después para cuantificar las órdenes apropiadas que generan mayores ganancias.

Modelos de inventarios en multi-instalaciones.

- Dentro de los múltiples tipos de inventarios que tiene internamente una empresa, el que más es sujeto de control es el de producto terminado. Sin embargo, existen casos en que se controlan varios eslabones de estos. En Wang et al. (2005) se controlan los tipos de inventarios: de fabricación, de ensamble y el final de producto terminado; y realizan una optimización del nivel de inventarios.
- Otros esquema multi-instalaciones son el antes y después de ocurrir la venta. Este es el caso de Choi et al. (2003), que proponen un modelo dinámico en dos estados, con incertidumbre en la demanda y costos en el segundo estado; se actualiza la demanda para el segundo, con estadística bayesiana y formula una política de inventarios óptima.

Técnicas estadísticas para enfrentar la dinámica de la demanda dentro del análisis de los inventarios

Además del uso de distribuciones de probabilidad para la demanda, también existen modelos de inventarios que se basan en las salidas de modelos de pronósticos de demanda, como: (Bes & Sethi, 1988; Choi et al., 2003; Cohen & Dunford, 1986; Gutiérrez & Vidal, 2008; Sarimveis et al., 2008; Vidal, Londoño, & Contreras, 2004). A continuación se presenta una revisión de esquemas utilizados en pronósticos de demanda dentro de procesos de optimización de inventarios.

- Distribuciones de probabilidad, propuestas en (Bitran et al., 1986; Chou et al., 2013; Cohen & Dunford, 1986; Dawande et al., 2006; Hausman & Peterson, 1972; Sethi et al., 2003; Song, 1998; Zhu, Mukhopadhyay, & Yue, 2011).
- Los modelos ARIMA (Integrados Autorregresivos de Medias Móviles) y de regresión, usualmente tienen requerimientos de normalidad, varianza e incorrelación (Bowerman & Oconnell, 2007; Caridad y Ocerin, 1998; Montgomery, Peck, & Vining, 2006) que no se cumplen en muchos casos.
- Sani & Kingsman (1997) usan Media móvil y revisan otros métodos de pronóstico evaluando el costo mínimo y el indicador de nivel de servicio, encontrando un modelo de pronóstico de la demanda con media móvil que genera buenos indicadores en los niveles de costo y servicio en los inventarios. Rosas (2006) propone el manejo de inventarios usando pronósticos de demanda basados en modelos de suavización exponencial y de medias móviles. En (Watson, 1987) integra pronósticos de demanda fluctuante con modelos de media móvil, para posteriormente realizar una optimización de inventarios, comparando los costos de inventarios obtenidos a raíz de esta demanda, mediante simulación.

- Al considerar modelos univariados, quedan preguntas acerca de la creencia del comportamiento independiente de la demanda, por ello algunos autores comparan la eficiencia entre dos esquemas: univariado/multivariado (Chou et al., 2013; Song, 1998; Toktay & Wein, 2001)
- Crowston, Hausman, & Kampe (1973) muestran una aproximación bayesiana para pronosticar ventas y probar, con varias heurísticas, la optimización de costos de producción en una programación multi-estados, donde se asume que la capacidad de producción es muy grande, así que ésta puede llegar a incorporar todas las demandas de un lapso de tiempo con N periodos. Como éste, existen pocos trabajos (Choi et al., 2003; Nechval et al., 2011), que contemplan modelos bayesianos relacionados con programación de operaciones y en especial, con inventarios.

3. Discusión de la propuesta.

Las distribuciones probabilísticas o modelos de pronósticos, requieren muchos datos históricos para dar más acierto en los pronósticos. Este requisito y el requerimiento del cumplimiento adecuado de premisas sobre la estructura de los modelos, en muchos casos no se cumple y en otros no es fácil conseguir la suficiente información que permita modelar dicha aleatoriedad y predecir. Adicionalmente, otra alternativa como una distribución de probabilidad para la demanda, no contempla otras fuentes de variación, ni siquiera, el propio pasado de la serie. Además de lo anterior, para la industria puede ser muy necesario encontrar modelos de inventarios donde no se requieran demasiados datos históricos de demanda para poder realizar pronósticos. Este vacío podría estar quizá en el uso de técnicas bayesianas, exploradas desde hace algún tiempo, para elaborar pronósticos en numerosas investigaciones (Alba & Mendoza, 2007; Azad, Mirzaie, & Nayeri, 2011; Barrera & Correa, 2008; Carriero, Kapetanios, & Marcellino, 2009; Duncan, Gorr, & Szczypula, 1993; Fei, Lu, & Liu, 2011; Gill, 2002; Harrison & Stevens, 1976; Jeyanthi &

Radhakrishnan, 2010; Mol, Giannone, & Reichlin, 2008; Neelamegham & Chintagunta, 1999; Pedroza, 2006; West & Harrison, 1989; Yelland, 2010). Estos se basan en información a priori para los parámetros, para los datos y, quizá, información de expertos.

Una pregunta fundamental de esta investigación es determinar si la estimación de demanda multivariada desde el punto de vista bayesiano aporta a la optimización dinámica de los inventarios multiproducto para empresas manufactureras.

El manejo de inventarios requiere un adecuado conocimiento del comportamiento de la demanda, cuando esta tiene una naturaleza aleatoria. Los pronósticos de dicha demanda realizados con modelos estadísticos clásicos, pueden presentar dificultades tales como la exigencia de muchos datos históricos y el desconocimiento de la estructura del modelo, lo cual impide su uso en algunos casos. Así mismo, muchas veces no se considera la posible dependencia entre las demandas de diferentes productos o su asociación con otras variables. Aunque no son muchas las investigaciones que integran pronósticos de múltiples productos con la optimización de inventarios usando modelos dinámicos, sí han resaltado la importancia de su uso, incluso, son pocos los que usan técnicas bayesianas que no requieren un gran número de datos para realizar predicciones.

Se presentan entonces vacíos de modelación dinámica multiproducto, que podrían ser impedimentos para empresas que buscan técnicas apropiadas, que soporten cambios drásticos o incluso, la ausencia de datos para la planeación futura.

4. Metodología.

Se resumen los pasos para el cumplimiento de los objetivos propuestos, en aras de verificar la hipótesis de investigación de este trabajo.

1. Realizar una revisión profunda de los sistemas dinámicos relacionados con optimización de inventario multiproducto, identificando las principales variables involucradas con productos terminados de la cadena de suministro en una empresa de manufactura, que llevará a la selección de las más importantes.
2. Analizar estructuras de modelos dinámicos para reconstruir la evolución temporal de los sistemas de inventarios.
3. Hacer una caracterización de las condiciones, parámetros y variables de un tipo de empresa manufacturera para definir la clase de modelos que serán propuestos.
4. Realizar una profunda revisión de modelos de espacio-estado para seleccionar los más apropiados que sean adaptables al problema, usando estadística bayesiana.
5. Definir los criterios para la evaluación de la predicción de demanda multiproducto realizados con la técnica bayesiana.
6. Proponer una metodología de modelos dinámicos para el análisis de la evolución temporal del sistema de inventarios, que permita ser representado a través de un modelo en espacio de estados.
7. Establecer una estrategia de optimización de inventario acorde con las condiciones, variables y parámetros establecidos previamente.
8. Diseñar una simulación del modelo de optimización dinámica propuesto integrando adecuadamente las técnicas bayesianas.
9. Seleccionar un caso de estudio en una empresa manufacturera bajo las condiciones del modelo propuesto.
10. Aplicar el modelo desarrollado al caso seleccionado usando un paquete de software.
11. Validar el modelo propuesto de optimización dinámica de inventarios.

5. Hallazgos esperados

- Elaborar una propuesta metodológica que permita describir un modelo dinámico de inventarios multiproducto considerando pronósticos de demanda con técnicas bayesianas, evaluando las condiciones, variables y parámetros establecidos.
- Estructurar un sistema óptimo de inventarios de la cadena de abastecimiento empresarial, basado en técnicas de modelación y tecnologías informáticas adecuadas, que generen competitividad, rentabilidad y permanencia en el mercado para la industria.
- Estructurar un modelo dinámico de inventarios con predicción bayesiana dinámica, con el fin de hacer un control que permita a su vez, optimizar los niveles de inventario multiproducto deseados.

6. Discusión y conclusiones.

En general se encuentra un amplio uso de modelos y técnicas que buscan pronosticar la demanda aleatoria en esquemas de optimización de inventario, pero no muchas en el ámbito multivariado de manera que incorporen procesos estocásticos o de dependencia con el pasado, y que a su vez, involucren la optimización de inventarios.

Para la modelación dinámica de inventarios podría utilizarse una gran variedad de técnicas como la teoría de control, el control predictivo, o algoritmos meta-heurísticos. El estimador de Kalman para la incertidumbre de la demanda en estos modelos se encuentra en un sólo trabajo, aplicado a la optimización del nivel, en un horizonte de predicción.

El uso de estadística bayesiana aplicada para el pronóstico de demanda univariada dentro de un modelo de inventarios ha sido más explorado que en el campo multivariado. Estas técnicas han cobrado gran importancia por tener ventajas frente a estimación, por ejemplo, en ausencia de datos, usando procesos basados en distribuciones de probabilidad y, en muchos casos, simulación basada en Monte Carlo por Cadenas de Markov.

No se encuentran investigaciones con modelos dinámicos bayesianos incorporando predicciones de demanda multivariada para la optimización de inventarios.

Frente a las tendencias que proponen compartir información en la cadena de suministro entre productor y clientes, los sistemas de información administrada por el vendedor (VMI) pueden también usar técnicas bayesianas para la planeación y optimización.

Referencias bibliográficas.

Alba, E. De, & Mendoza, M. (2007). Bayesian forecasting methods for short time series. *Journal of Applied Forecasting*, 1–10. Retrieved from <http://allman.rhon.itam.mx/~mendoza/Foresight.pdf>

Arrow, K., Karlin, S., & Scarf, H. (1958). *Studies in the mathematical theory of inventory and production*. (S. U. Press, Ed.). Stanford, CA: Stanford University Press.

Arslan, H., Graves, S. C., & Roemer, T. a. (2007). A Single-Product Inventory Model for Multiple Demand Classes. *Management Science*, 53(9), 1486–1500. doi:10.1287/mnsc.1070.0701

Azad, N., Mirzaie, A., & Nayeri, M. (2011). Information Sharing in Designing a Supply Chain Model Considering Demand Forecasting Using Markov Process. *Journal of American ...*, 7(6), 762–766. Retrieved from

http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/am0706/124_5874am0706_762_766.pdf

- Barrera, C. J., & Correa, J. C. (2008). Distribución predictiva bayesiana para modelos de pruebas de vida vía MCMC The Bayesian Predictive Distribution in Life Testing Models via. *Revista Colombiana de Estadística*, 31(2), 145–155.
- Bes, C., & Sethi, S. (1988). Concepts of forecast and decision horizons: Applications to dynamic stochastic optimization problems. *Mathematics of Operations Research*, 13(2), 295–310. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:CONCEPTS+OF+FORECAST+AND+DECISION+HORIZONS+:+APPLICATIONS+TO+DYNAMIC+STOCHASTIC+OPTIMIZATION+PROBLEMS#0>
- Bitran, G., Haas, E., & Matsuo, H. (1986). Production planning of style goods with high setup costs and forecast revisions. *Operations Research*, 34(2), 226–236. Retrieved from <http://or.journal.informs.org/content/34/2/226.short>
- Bowerman, B. L., & Oconnell, R. T. (2007). *Pronósticos, series de tiempo y regresión: un enfoque aplicado*. (C. L. Editores., Ed.) (p. 693). México.
- Buffett, S., & Scott, N. (2004). An algorithm for procurement in supply chain management. *Workshop on Trading Agent Design and Analysis (TADA'04); In conjunction with the 3rd International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems (AAMAS'04)*, July. Retrieved from <http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl?action=rt doc&an=5765022>
- Caridad y Ocerin, J. M. (1998). *Econometria: Modelos Económicos y series temporales*. (R. S.A., Ed.).
- Carriero, a., Kapetanios, G., & Marcellino, M. (2009). Forecasting exchange rates with a large Bayesian VAR. *International Journal of Forecasting*, 25(2), 400–417. doi:10.1016/j.ijforecast.2009.01.007
- Choi, T.-M., Li, D., & Yan, H. (2003). Optimal two-stage ordering policy with Bayesian information updating. *Journal of the Operational Research Society*, 54(8), 846–859. doi:10.1057/palgrave.jors.2601584
- Chou, M., Sim, C.-K., & Yuan, X.-M. (2013). Optimal policies for inventory systems with two types of product sharing common hardware platforms: Single period and finite horizon. *European Journal of Operational Research*, 224(2), 283–292. doi:10.1016/j.ejor.2012.07.038
- Cohen, R., & Dunford, F. (1986). Forecasting for Inventory Control: An Example of When “Simple” Means “Better”. *Interfaces*, 16(6), 95–99.
- Correa, A., & Gómez, R. (2009). Tecnologías de la Información en la Cadena de Suministro. *DYNA*, 76(157), 37–48. Retrieved from http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=5gbDeVqJPB8C&oi=fnd&pg=PA437&dq=INFORMATION+TECHNOLOGIES+IN+SUPPLY+CHAIN+MANAGEMENT&ots=SI1eiB3rVP&sig=27QLdpkYqUHVOIJTWEL527kqc_4

- Crowston, W., Hausman, W., & Kampe, W. (1973). Multistage production for stochastic seasonal demand. *Management ...*, 19(8), 924–935. Retrieved from <http://mansci.journal.informs.org/content/19/8/924.short>
- Dawande, M., Gavirneni, S., & Tayur, S. (2006). Effective heuristics for multiproduct partial shipment models. *Operations Research*, 54(2), 337–352. Retrieved from <http://or.journal.informs.org/content/54/2/337.short>
- Dunbar, W., & Desa, S. (2005). *Distributed model predictive control for dynamic supply chain management. Proceedings of the international workshop on assessment and future directions of NMPC*. Germany.
- Duncan, G., Gorr, W., & Szczypula, J. (1993). Bayesian Unrelated Time Forecasting Series: for Seemingly to Local Forecasting Application Government Revenue. *Management Science*, 39(3), 275–293.
- Fei, X., Lu, C.-C., & Liu, K. (2011). A bayesian dynamic linear model approach for real-time short-term freeway travel time prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(6), 1306–1318. doi:10.1016/j.trc.2010.10.005
- Feng, Q., Sethi, S., Yan, H., & Zhang, H. (2006). Are base-stock policies optimal in inventory problems with multiple delivery modes? *Operations Research*, 54(4), 801–807. Retrieved from <http://or.journal.informs.org/content/54/4/801.short>
- Fouskakis, D., & Draper, D. (2002). Stochastic optimization: a review. *International Statistical Review*, 70(3), 315–349. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1751-5823.2002.tb00174.x/abstract>
- Gallego, G., & Ryzin, G. Van. (2013). Optimal Dynamic Demand Pricing over of Inventories Finite Horizons with Stochastic. *Management Science*, 40(8), 999–1020.
- Gill, J. (2002). *Bayesian Methods-A social and Behavioral Sciences Approach* (p. 459).
- Gutiérrez, V., & Vidal, C. (2008). Modelos de Gestión de Inventarios en Cadenas de Abastecimiento: Revisión de la Literatura. *Revista Facultad de Ingeniería de La Universidad ...*, 134–149.
- Harrison, J., & Stevens, C. (1976). Bayesian Forecasting. *Journal of the Royal Statistical Society.*, 38(3), 205–247.
- Hausman, W., & Peterson, R. (1972). Multiproduct production scheduling for style goods with limited capacity, forecast revisions and terminal delivery. *Management Science*, 18(7), 370–383. Retrieved from <http://mansci.journal.informs.org/content/18/7/370.short>
- Jeyanthi, N., & Radhakrishnan, P. (2010). Optimizing Multi product Inventory using Genetic Algorithm for efficient Supply Chain Management involving Lead Time. *International Journal of Computer ...*, 10(5), 231–239. Retrieved from http://paper.ijcsns.org/07_book/201005/20100534.pdf
- Jun-jun, G., & Ting, K. (2009). A Joint Decision Model of Inventory Control and Promotion Optimization based on Demand Forecasting *, *201800*(August), 119–123.

- Kumar, N., Singh, S., & Kumari, R. (2012). An Inventory Model with Time-Dependent Demand and Limited Storage Facility under Inflation. *Advances in Operations Research*, 2012, 1–17. doi:10.1155/2012/321471
- Mol, C. De, Giannone, D., & Reichlin, L. (2008). Forecasting using a large number of predictors: Is Bayesian shrinkage a valid alternative to principal components? *Journal of Econometrics*, 146(2), 318–328. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304407608001103>
- Montgomery, D., Peck, E., & Vining, G. (2006). Introducción al análisis de regresión lineal. *Compañía Editorial Continental*, 3, 612. Retrieved from <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=HAG.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=018924>
- Nechval, N. a., Nechval, K. N., Purgailis, M., Berzins, G., Rozevskis, U., & Korsunsky, A. M. (2011). *Improvement of Statistical Decisions under Parametric Uncertainty* (Vol. 57, pp. 47–57). doi:10.1063/1.3649935
- Neelamegham, R., & Chintagunta, P. (1999). A Bayesian model to forecast new product performance in domestic and international markets. *Marketing Science*, 18(2), 115–136. Retrieved from <http://bear.warrington.ufl.edu/centers/mks/articles/684541.pdf>
- Pedroza, C. (2006). A Bayesian forecasting model: predicting U.S. male mortality. *Biostatistics (Oxford, England)*, 7(4), 530–550. doi:10.1093/biostatistics/kxj024
- Rosas, J. P. (2006). Propuesta de un programa de inventarios para la empresa Serviadero Planos SA de CV. *Universidad de Las Américas Puebla. Tesis Para Licenciatura En Ingeniería Industrial .*, 1–5.
- Samaratunga, C., Sethi, S., & Zhou, X. (1997). Computational evaluation of hierarchical production control policies for stochastic manufacturing systems. *Operations Research*, 45(2), 258–274. Retrieved from <http://or.journal.informs.org/content/45/2/258.short>
- Sani, B., & Kingsman, B. (1997). Selecting the best periodic inventory control and demand forecasting methods for low demand items. *Journal of the Operational Research ...*, 48(7), 700–713. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/pal/01605682/1997/00000048/00000007/2600418>
- Sarimveis, H., Patrinos, P., Tarantilis, C. D., & Kiranoudis, C. T. (2008). Dynamic modeling and control of supply chain systems: A review. *Computers & Operations Research*, 35(11), 3530–3561. doi:10.1016/j.cor.2007.01.017
- Schwartz, J. D., & Rivera, D. E. (2006). Simulation-based optimal tuning of model predictive control policies for supply chain management using simultaneous perturbation stochastic approximation. *2006 American Control Conference*, 6 pp. doi:10.1109/ACC.2006.1655415
- Sethi, S., Yan, H., & Zhang, H. (2003). Inventory models with fixed costs, forecast updates, and two delivery modes. *Operations Research*, 51(2), 321–328. Retrieved from <http://or.journal.informs.org/content/51/2/321.short>

- Shoosmith, G., & Pinder, J. (2001). Potential Inventory Cost Reductions Using Advanced Time Series Forecasting Techniques. *Journal of the Operational Research Society*, 52(11), 1267–1275.
- Silver, E. a. (2004). An overview of heuristic solution methods. *Journal of the Operational Research Society*, 55(9), 936–956. doi:10.1057/palgrave.jors.2601758
- Song, J. (1998). On the order fill rate in a multi-item, base-stock inventory system. *Operations Research*, 46(6), 831–845.
- Taleizadeh, A., Niaki, S., & Nikousokhan, R. (2011). Constraint multiproduct joint replenishment inventory control problem using uncertain programming. *Applied Soft Computing*, 11(8), 5143–5154. doi:10.1016/j.asoc.2011.05.045
- Toktay, L., & Wein, L. (2001). Analysis of a forecasting-production-inventory system with stationary demand. *Management Science*, 47(9), 1268–1281. Retrieved from <http://mansci.journal.informs.org/content/47/9/1268.short>
- Urrea, A., & Torres, F. (2006). Optimización de una política de inventarios por medio de búsqueda tabú. In *III Congreso colombiano y I Conferencia Andina internacional* (p. 8). Retrieved from <http://dspace.uniandes.edu.co:9090/xmlui/handle/1992/822>
- Ventura, J. a., Valdebenito, V. a., & Golany, B. (2013). A dynamic inventory model with supplier selection in a serial supply chain structure. *European Journal of Operational Research*, 230(2), 258–271. doi:10.1016/j.ejor.2013.03.012
- Vidal, C., Londoño, J. C., & Contreras, F. (2004). Aplicación de Modelos de Inventarios en una Cadena de Abastecimiento de Productos de Consumo Masivo con una Bodega y N Puntos de Venta. *Ingeniería Y Competitividad*, 6(1), 35–52.
- Wang, K.-J., Lin, Y. S., & Yu, J. C. P. (2011). Optimizing inventory policy for products with time-sensitive deteriorating rates in a multi-echelon supply chain. *International Journal of Production Economics*, 130(1), 66–76. doi:10.1016/j.ijpe.2010.11.009
- Wang, Rivera, D. E., & Kempf, K. G. (2005). A novel model predictive control algorithm for supply chain management in semiconductor manufacturing. *Proceedings of the 2005, American Control Conference, 2005., Jun 8-10., 208–213.* doi:10.1109/ACC.2005.1469933
- Watson, R. (1987). The effects of demand-forecast fluctuations on customer service and inventory cost when demand is lumpy. *Journal of the Operational Research Society*, 38(1), 75–82.
- West, M., & Harrison, J. (1989). *Bayesian Forecasting and Dynamic Models* (p. 704). Springer Series in Statistics.
- Wu, Z., Zhang, C., & Zhu, X. (2012). An ant colony algorithm for Master production scheduling optimization $x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))$ do $C_k = (d_1(k), d_2(k), \dots, d_q(k))$, 775–779.
- Yelland, P. M. (2010). Bayesian forecasting of parts demand. *International Journal of Forecasting*, 26(2), 374–396. doi:10.1016/j.ijforecast.2009.11.001

- Yokoyama, M. (2002). Integrated optimization of inventory-distribution systems by random local search and a genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 42(2-4), 175–188. doi:10.1016/S0360-8352(02)00023-2
- Zanakis, S. H., & Evans, J. R. (1981). Heuristic “Optimization”: Why, When, and How to Use It. *Interfaces*, 11 (5), 84–91. doi:10.1287/inte.11.5.84
- Zhu, X., Mukhopadhyay, S. K., & Yue, X. (2011). Role of forecast effort on supply chain profitability under various information sharing scenarios. *International Journal of Production Economics*, 129(2), 284–291. doi:10.1016/j.ijpe.2010.10.021