

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS ENFOQUES TEORÍA DE JUEGOS Y VENDOR MANAGED INVENTORY (VMI) PARA EL ESTUDIO DE CADENAS DE SUMINISTROS

M. Villa Marulanda, J. F. Torres Delgado, F. A. Ballestero, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., Colombia

Recibido junio 23,2010 - Aceptado marzo 12,2011

<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v5n1.a02>

Resumen— El análisis integrado de la cadena de suministro ha sido un tema ampliamente discutido en la última década con diferentes enfoques, entre los cuales se encuentra VMI y teoría de juegos. Considerando lo anterior, se realizó una revisión bibliográfica de artículos que tratan estos tópicos de forma individual y conjuntamente. Se encontró que hay una oportunidad para discutir la combinación de las cadenas de suministro de VMI y teoría de juegos, extendiendo los modelos que actualmente se tratan y el uso de las tasas de producción.

Palabras clave— Vendor Managed Inventory VMI, Teoría de Juegos, Integración de la Cadena de Suministros.

Abstract— The integrated analysis of the supply chain has been a topic widely discussed in the last decade with different approaches, in which VMI and game theory are found. Considering this, a literature review of articles was performed dealing with these issues individually and jointly. It was found that there is an opportunity to discuss the combination of the VMI supply chains and game theory, extending the models currently being treated and the use of production rates.

Keywords — VMI-Vendor Managed Inventory, Game Theory, Integration of Supply Chain.

I. INTRODUCCIÓN

La administración de una cadena de suministros comprende, dentro de su concepto, la coordinación de los agentes o actores involucrados en ella para planear y controlar el flujo de producto e información, con el fin de lograr eficiencias en costos y ganar competitividad en un mundo cada vez más globalizado. Esto implica que los agentes compartan información y/o tomen decisiones en conjunto, lo que hace necesario la implementación de tecnologías de la información para que soporten esta práctica. Por lo anterior, se han desarrollado modelos o estrategias de integración-coordinación a lo largo de la última década, los cuales han demostrado que resultan efectivos en la maximización de los beneficios del sistema Choi *et al* (2008) [8].

Una de estas estrategias de integración-coordinación es la que se denomina como

Vendor Managed Inventory (VMI). Según Yao *et al* (2010) [59] VMI se define como una relación entre los vendedores y los compradores mediante la cual los compradores acuerdan permitirle al vendedor administrar sus decisiones de inventario y reabastecimiento. El sistema VMI ha crecido en las industrias durante todo el tiempo. Las evidencias de estudios anteriores han demostrado que puede mejorar el desempeño de la cadena al permitir disminuir los niveles de inventario [5], [11], [14], [40], [42], [66], [66]. Los investigadores han mostrado que VMI funciona mejor comparado con los sistemas tradicionales de la cadena de suministros y la respuesta Justo a Tiempo [3], sin embargo, para lograr la efectividad de esta herramienta y sus consecuentes beneficios, es necesario que exista una completa integración de los agentes que la conforman tal como lo comprobó Dong & Xu [11].

La confianza es una condición que subyace al ideal de integración-coordinación. Acorde con lo que afirma Kuk [20], la dificultad para generar confianza entre los actores constituye una de las mayores barreras para el éxito de VMI. Inclusive, si la información necesaria está disponible, los actores de la cadena pueden ser reticentes de revelar información debido a la falta de confianza y el temor de que la información sea revelada a los competidores. Adicionalmente, cada agente conserva sus restricciones e intereses que podrían generar un conflicto e impedir la implementación de una estrategia de integración-coordinación. Esto configuraría la posibilidad de la no-cooperación entre los agentes de una cadena de suministros, en donde cada uno puede asumir el rol de líder o seguidor. En casos como estos, la teoría de juegos se ha usado extensamente en la literatura para analizar la interacción de las firmas que integran una cadena de suministros Hennet & Arda [17].

Dado lo anterior, la presente revisión bibliográfica procura encontrar si existen estudios de cadenas de suministros que trabajan con la estrategia VMI, bajo posibles ambientes de cooperación y de no-cooperación, con el fin de hallar cómo se podrían obtener beneficios y de qué manera estos se distribuyen entre los agentes de una cadena de suministros de dos niveles

(vendedor-comprador) y con diferentes configuraciones (uno o varios vendedores versus uno o varios compradores), donde el vendedor es un productor que tiene como parámetro la tasa de producción y el comprador se comporta con una demanda determinística. En la sección 2 se relacionan las características generales de la revisión bibliográfica tales como año de publicación de los artículos, revistas científicas consultadas que contienen dichos artículos y los enfoques que han trabajado. La sección 3 relaciona con detalle las investigaciones realizadas en categorizadas en los tres enfoques: VMI, Teoría de Juegos y VMI combinado con Teoría de Juegos. En la sección 4 se muestran los hallazgos generales de la revisión, a través de estadísticas descriptivas, referentes a los tipos de modelos y análisis para abordar cada enfoque, la naturaleza de la demanda, si utilizan tasa de producción y cuál es la estructura de las cadenas analizadas.

1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Los artículos revisados corresponden a publicaciones disponibles durante los últimos 10 años (tabla I), es decir, desde el año 2000 hasta la fecha. Se categoriza la revisión en tres principales temas del análisis integrado de la cadena de suministros: Vendor Managed Inventory (VMI), teoría de juegos y teoría de juegos combinado con VMI (tabla III).

Como se puede observar en la tabla I, el 64,8% son artículos publicados en revistas científicas durante los últimos tres años (2008-2010) y el restante 35,2% del 2000 al 2007, lo que indica la actualidad del tema en esta revisión bibliográfica.

TABLA I.
ARTÍCULOS REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA POR AÑO

<i>Año</i>	<i>Total</i>	<i>Porcentaje</i>
2000	2	2,8%
2001	1	1,4%
2002	3	4,2%
2003	3	4,2%
2004	5	7,0%
2005	2	2,8%
2006	4	5,6%
2007	5	7,0%
2008	12	16,9%
2009	15	21,1%
2010	19	26,8%
Total general	71	100,0%

Las revistas científicas de donde se extrajeron los artículos a través de bases de datos tales como ScienceDirect, EBSCO, ProQuest, INFORMS y SpringerLink, se relacionan en la tabla II. Se puede observar que el 7% de las publicaciones concentra el 66,2% de los artículos, que

corresponden a las cinco primeras revistas de la lista.

En lo que respecta al tema de integración de la cadena de suministros que aplican modelos de VMI y Teoría de Juegos, el 40,8 % de los artículos encontrados trabajan el primer modelo y el 43,7% del segundo. Sólo el 12,7% combinan los dos temas. El 2,8% abarcan temas de integración de la cadena de suministros con modelos distintos de los anteriores (tabla III).

TABLA II.
REVISTAS CIENTÍFICAS CONSULTADAS

<i>Revista</i>	<i>Total</i>	<i>Porcentaje</i>
European Journal of Operational Research	22	31,0%
International Journal of Production Economics	13	18,3%
Transportation Research Part E	5	7,0%
Computers & Industrial Engineering	4	5,6%
Omega	3	4,2%
Decision Support Systems	2	2,8%
Expert Systems with Applications	2	2,8%
Journal of Business Logistics	2	2,8%
Operations Research	2	2,8%
European Management Journal	1	1,4%
Journal of Manufacturing Technology Management	1	1,4%
Journal of Purchasing & Supply Management	1	1,4%
Management Science	1	1,4%
Manufacturing & Service Operations Management	1	1,4%
Production Planning & Control	1	1,4%
Systems Engineering - Theory & Practice	1	1,4%
Chemical Market Reporter	1	1,4%
Engineering Applications of Artificial Intelligence	1	1,4%
Tsinghua Science And Technology	1	1,4%
Fuzzy Sets and Systems	1	1,4%
IIE Transactions	1	1,4%
Information & Management	1	1,4%
Otras publicaciones	3	4,2%
Total general	71	100,0%

TABLA III.
ARTÍCULOS REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA POR ENFOQUE

<i>Enfoque</i>	<i>Total</i>	<i>Porcentaje</i>
Integración de la cadena	2	2,8%
Teoría de juegos	31	43,7%
VMI	29	40,8%
VMI - Teoría de juegos	9	12,7%
Total general	71	100,0%

2 ENFOQUES UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO DE CADENAS DE SUMINISTROS

2.1 VENDOR MANAGED INVENTORY (VMI)

Según lo enunciado anteriormente, VMI es una relación mediante la cual los vendedores acuerdan con los compradores monitorear el comportamiento de la demanda para facilitar la administración de las decisiones de inventario y reabastecimiento de éste. Los artículos relacionados a continuación evidencian, bajo múltiples escenarios, las ventajas que puede tener la implementación de VMI.

Torres & Ballesteros [44] analizan el esquema de coordinación en una cadena de suministros conformada por un productor y un comprador, para lo cual tienen en cuenta la tasa de producción dentro de los parámetros del modelo, que a su vez se basa en el modelo propuesto por Yao *et al* [60] quienes realizan un análisis con respecto al efecto que tienen los parámetros importantes de una cadena de suministros sobre los ahorros en costos si se implementan iniciativas de colaboración tales como VMI. Los resultados del modelo muestran que los beneficios de la integración, en términos de reducción de costos de inventario, son posibles dependiendo de la razón entre los costos de ordenar del proveedor al comprador y la tasa de los costos de manejo de inventario del proveedor al comprador. Yang *et al* [57] evalúan los efectos de un centro de distribución en un sistema VMI que comprende un productor, un distribuidor y n minoristas. Proponen un modelo para evaluar el desempeño del sistema considerando la escala de la red de distribución, los factores influyentes en los costos, la distribución de la demanda, el horizonte de planeación y la localización de instalaciones. Arora *et al* [3] trabajaron un modelo con demanda aleatoria y una cadena de tres niveles: un productor, 4 distribuidores y n minoristas. Utilizan dos medidas de comparación: el nivel de servicio al cliente final y el costo total de la cadena para comparar las ventajas de incorporar una estrategia VMI en una cadena con respecto a una cadena tradicional que carezca de dicha estrategia. Darwish & Odah [9] desarrollan un modelo para la cadena con un vendedor y múltiples compradores, con restricciones de capacidad. Además, crean un algoritmo para encontrar la solución óptima global y asumen que en un sistema VMI los compradores están exentos del costo de ordenar, la demanda es determinista y el costo del transporte está implícito en el costo de ordenar. Yao *et al* [59] hacen un análisis con rigor estadístico e indican cómo un vendedor (socio 'aguas arriba' de la cadena), puede ofrecer un incentivo para implementar VMI con su comprador (socio 'aguas abajo' de la cadena) a fin de reducir las ventas perdidas por agotamiento de inventario y beneficiarse ambas partes. Kwak *et*

al [21] proponen un modelo VMI adaptativo que controla la cantidad de reabastecimiento que se ajusta según el cambio en la demanda del cliente en cada período de reabastecimiento de una cadena de dos niveles con demandas finales inestables, considerando un vendedor y un comprador. Vlist *et al* [47] toman los modelos de Yao *et al* (2007) [60], le incluyen los costos de transporte y modifican los supuestos del flujo de inventario. Zhang *et al* [67] modelan un sistema integrado VMI con un vendedor y múltiples compradores. Consideran un costo conjunto con una producción constante y tasas de demanda bajo el supuesto de que los ciclos de orden del comprador pueden ser diferentes y cada comprador puede reabastecer más de una vez en un ciclo de producción, en la cual la decisión de inversión es también considerada. Presentan tres ejemplos numéricos con una función de costo de ordenar exponencial. Lee & Chu [22] analizan si en un ambiente de inventarios con demanda incierta y único periodo (que se modela como el vendedor de periódicos) resulta atractivo implementar estrategia VMI, para lo cual comparan los valores esperados de los agentes con la implementación y sin ella. Choi, Dai, & Song [7] combinan el nivel de servicio y el valor esperado de 'backorders' en una función lineal para medir el desempeño de la cadena de suministros bajo esquema VMI. Dong & Xu, [11] evalúan cómo VMI afecta un eslabón de la cadena y afirman que esta estrategia siempre conduce a un mayor beneficio para el comprador pero para el vendedor esto puede variar. Modelan una cadena de un comprador y un vendedor y los resultados demuestran que VMI genera beneficios si hay una completa integración. Lee *et al* [23] analizan modelos matemáticos para una cadena de un proveedor y un comprador con demanda aleatoria y de los resultados obtenidos comparan los beneficios de implementar estrategias de intercambio de información, una de las cuales es VMI.

Algunos autores utilizan la herramienta de simulación para sus análisis: Ofuoku [33] usan simulación de eventos discretos para comparar los costos óptimos totales obtenidos para una cadena con VMI y sin VMI. White & Censlive [50] consideran un modelo de sistema de control simple de VMI para administración de inventarios de oleoductos y producciones bajo pedido y compara los resultados de un modelo discreto y uno continuo según el nivel de agregación y programación de la producción. Angulo *et al* [2], a través de un modelo de simulación, probaron la importancia en cuanto a precisión y oportunidad de la información que comparten los integrantes de una cadena de suministros de cuatro niveles. Towill & Disney

[45] miden el impacto en el efecto látigo de las cadenas para lo cual utilizan un modelo de simulación, específicamente para las actividades de orden de producción del productor. Yang *et al* [56] simularon un sistema de distribución con VMI para determinar la influencia de 6 factores (variabilidad de la demanda, intervalo de revisión de inventario, número de minoristas, porcentaje de utilización de la capacidad de almacenamiento y flexibilidad de la producción) en el desempeño, en términos de nivel de inventarios, de la cadena de suministros.

En cuanto a soporte tecnológico para implementar VMI, Southard & Swenseth [42] demuestran empíricamente que si se implementa tecnología habilitada para un sistema VMI, los ahorros serán suficientes como para justificar la inversión requerida para ello. Para lo anterior, comparan los costos de inventario usados en la práctica por una cooperativa de fincas rurales. Los datos fueron utilizados para hallar la distribución de la demanda y utilizarla en modelos de simulación de demanda discreta de un sistema de entrega completamente cooperativo y convencional. Szmerekovsky & Zhang [43] consideran una cadena de suministros con RFID y sin RFID en un sistema VMI con un productor y un comprador. Derivan las políticas óptimas del productor, del comprador y del sistema como un todo. Establecen los lineamientos administrativos que resaltan la importancia de la disponibilidad de espacio y el costo de las etiquetas en determinar la rentabilidad de adoptar RFID. Mientras tanto, Kuk [20] prueba empíricamente cómo algunos de los aclamados beneficios de VMI están sujetos a algunas de las barreras comunes de cualquier implementación de tecnologías de la información e iniciativas de reingeniería, considerando como la mayor de estas barreras la generación de confianza entre los actores de la cadena. Los autores utilizan el método de las encuestas para su análisis con gran rigor estadístico en aras de la validez y la confiabilidad de las medidas usadas en las pruebas de hipótesis.

Estudios que han aplicado VMI en organizaciones se encuentran Hemmelmayr *et al* [16], en una red de suministros de sangre de un hospital; Tyan & Wee, [46], en una industria alimentaria en Taiwan y Challener [5] argumenta los beneficios económicos obtenidos por la implementación de VMI en una industria química, en virtud al soporte que prestan las tecnologías de la información.

Zavanella & Zaroni [66] trabajan una política particular de VMI conocida como 'Inventario en

Consignación' (Consignment Stock -CS-), que consiste en que el vendedor es propietario del inventario inclusive cuando permanece en las bodegas del comprador. Aplican el análisis a un caso industrial de un vendedor y múltiples compradores y muestran con los resultados cómo la política CS funciona mejor que una optimización sin coordinación. Gümü *et al* [14] analizan que bajo ciertas condiciones los inventarios en consignación (CI por sus siglas en inglés), generan beneficios para uno o más actores de la cadena. Demostraron que esta política puede beneficiar tanto al vendedor como al comprador dependiendo de los costos de embarque y de quién asuma el costo de transporte. Cuando un acuerdo CI es ineficiente, resulta mejor combinarlo con estrategia VMI para lograr ahorros en ambos agentes del sistema. Existen trabajos que afirman que hay estrategias mejores que VMI bajo ciertas condiciones: Song & Dinwoodie [41] comparan la política de administración óptima de inventarios integrada, desarrollada por teoría de programación dinámica, con políticas de inventario VMI y con una política tradicional de administración minorista de inventarios. Demuestran que en cadenas de suministros estocásticas, la política de administración óptima de inventarios integrada es mejor que las demás; Sari [38] comparan las iniciativas CPFR, VMI con una cadena de suministros tradicional mediante simulación Montecarlo y concluyen que se logran mayores ahorros en costos con CPFR.

Finalmente, Holweg *et al* [18] estudian las experiencias, a lo largo de varias industrias y en diversos países, de las implementaciones de VMI, para demostrar que hasta la fecha los lentos progresos en esta materia pueden obedecer a la falta de sentido común de los conceptos de integración de la cadena, por cuanto no es fácil integrar la colaboración externa con el control interno de la producción y los inventarios. Para explicar la dinámica de este comportamiento y sus características, utilizan la analogía del 'tanque del agua' y concluyen que la efectividad de la colaboración en una cadena de suministro reposa en dos factores: el nivel por el cual se integran interna y externamente las operaciones y el nivel por el cual los esfuerzos son alineados a la configuración de la cadena en términos de la dispersión geográfica, el patrón de la demanda y las características del producto.

2.2 TEORÍA DE JUEGOS EN CADENAS DE SUMINISTROS

La teoría de juegos se define como el estudio de situaciones de conflicto y cooperación, en la que interactúan individuos racionales (personas u

organizaciones), permitiendo analizar los comportamientos y resultados esperados, ya sea mediante decisiones individuales (juegos no cooperativos) o mediante acuerdos entre los participantes (juegos cooperativos) (Perez Navarro *et al* [72]). Por lo anterior, la teoría de juegos resulta útil para analizar la administración de una cadena de suministros, pues los comportamientos de los agentes de la cadena, dado su nivel de autonomía, pueden llegar a acuerdos de cooperación, para maximizar la utilidad o minimizar costos del sistema, o continuar con posturas individualistas para a fin de mejorar su beneficio propio.

Diversas estructuras de cadenas se han estudiado, mediante teoría de juegos, con gran variedad de parámetros, variables y funciones, los cuales se relacionan en orden cronológico:

Anderson & Bao [1] consideran la competencia de precios con una función lineal de demanda y compara dos casos: en el primero, cada canal de distribución está verticalmente integrado, mientras que en el segundo, el caso descentralizado, los productores y los minoristas actúan independientemente. Exploran el efecto de variar el nivel de la competencia de precios sobre las ganancias de los participantes de la industria y demuestra el importante rol que juegan mediante la difusión de las cuotas de mercado subyacentes. Leng & Parlar [25] consideran una cadena de suministros con múltiples proveedores y un productor (ensamblador). En un período único y con demanda aleatoria en función del precio, los proveedores determinan sus cantidades de producción y el productor escoge el precio de venta. Determinan los equilibrios de Nash y Stackelberg para maximizar el beneficio esperado de todo el sistema bajo un acuerdo mediante el cual cada proveedor compra los componentes no vendidos y absorbe una porción de los costos por ventas perdidas. Li *et al* [28] investigan la estrategia de fuente de suministros de un minorista y las estrategias de precios de dos proveedores en una cadena de suministros bajo un ambiente de interrupción del suministro. Basados en el supuesto de una distribución de demanda uniforme, obtienen una forma explícita de soluciones cuando los proveedores son competitivos. Por último, idean un mecanismo de coordinación para maximizar los beneficios de ambos proveedores. Ren *et al* [34] estudian la práctica de compartir pronósticos y la coordinación de la cadena de suministros con un modelo de teoría de juegos e identifican una estrategia de revisión multiperiodo que soporta el equilibrio de compartir verdaderamente la información concerniente a los pronósticos. Yuh-Wena *et al* [65] asumen que los participantes tienen múltiples objetivos y la cadena de

suministros es multiproducto y multimateria. Para validar el modelo, simularon los desempeños macro y micro de la cadena de suministros mediante el nivel de logro bajo varias alianzas de los participantes. Zhao *et al* (2010) [69] analizan la coordinación de la cadena de suministros para un productor y un minorista usando contratos de opción, tal como se maneja en los mercados financieros, y lo contrastan con los mecanismos convencionales de precio de venta mayorista. Exploran analíticamente los asuntos concernientes a la implementación de la forma de opciones de contratos coordinados, teniendo en cuenta las preferencias de riesgo de los participantes y los poderes de negociación. Zhang & Huang, [68] derivan los rangos de solución óptima para un juego dinámico de dos-movimientos de acuerdo a un modelo de negociación de Nash de una cadena de suministros constituida por un productor y múltiples minoristas cooperativos.

Esmaeili *et al* [12] proponen varios modelos usando teoría de juegos tanto cooperativos como no-cooperativos (Stackelberg) para analizar la relación de un vendedor y un comprador sujeto al impacto de los esfuerzos en mercadeo. Asumen que la tasa de producción del vendedor es una función lineal de la demanda, la cual es sensible al precio de venta y a los gastos en mercadeo. Entonces, si el comprador gasta en mercadeo, el vendedor necesita coordinar su precio y cantidad para afrontar la nueva demanda del producto. Leng & Parlar [24] analizan el problema de asignación de ahorros de costos de compartir la información de la demanda en una cadena de suministros de tres niveles con un productor, un distribuidor y un minorista, para lo cual usan conceptos de teoría de juegos cooperativos. Presentan análisis numérico para investigar los impactos del coeficiente de correlación de la demanda y el costo unitario de mantener y de faltante en un esquema de asignación. Leng & Parlar [26] consideran modelos de teoría de juegos de reducción del tiempo de entrega en una cadena de suministros de dos niveles que involucra un productor y un minorista. Trabajan dos problemas según quién decida el tiempo del transporte y por cada uno de los problemas en la configuración no-cooperativa, obtienen un óptimo de Pareto del equilibrio de Nash y de Stackelberg. Leng & Zhu [27] investigan la coordinación de una cadena de suministros con contratos 'side-payment'. Proporcionan un procedimiento de cinco pasos para el desarrollo de un contrato 'side-payment' y lo aplican a cuatro juegos de la cadena de suministros: juegos de Cournot y Bertrand, un juego de cadena de suministros de dos minoristas con productos sustituibles y un juego de cadena de suministros con un proveedor y un minorista. Rivera &

Torres [35] hicieron una revisión bibliográfica sobre la teoría de juegos aplicada al análisis de la administración de la cadena de suministros. Desarrollaron modelos exactos cooperativos y no-cooperativos para diferentes configuraciones de cadenas de suministro basados en la maximización de la ganancia y sujeto a restricciones presupuestales de inventario para el comprador, para lo cual definen como variables de decisión el precio de venta al comprador y la cantidad a ordenar al vendedor. Wang *et al* (2009) [49] caracterizan la demanda como una variable difusa y proponen contratos de un período y de largo plazo para coordinar los dos miembros, comprador y vendedor, en la cadena de suministros. Wu *et al* ([52]) investigan el comportamiento de equilibrio de dos cadenas de suministros que compiten en presencia de una demanda aleatoria. Consideran conjuntamente las decisiones de precio y cantidad bajo tres posibles estrategias: integración vertical (VI), vendedor Stackelberg (MS) y negociación (bargaining) en el precio de mayorista (BW) sobre uno o muchos períodos. Xie & Neyret [55] analizan la publicidad cooperativa y estrategias de precios en los canales de distribución conformados por un productor y un minorista. Presentan cuatro modelos basados en tres juegos no-cooperativos (Nash, productor y minorista Stackelberg) y un juego cooperativo.

Hennet & Arda [17] evalúan la eficiencia de diferentes tipos de contratos entre los socios industriales de una cadena de suministros, basados en la relación entre un productor que afronta una demanda aleatoria y un proveedor con tiempo de entrega aleatorio. El modelo combina teoría de colas en lo que respecta a la evaluación y teoría de juegos para los propósitos de toma de decisiones. Nagarajan & Susic [30] estudian algunas aplicaciones de la teoría de juegos cooperativos para la administración de una cadena de suministros que incluye proveedores que venden a minoristas que compiten y ensambladores que negocian con fabricantes de componentes que venden componentes complementarios. Rosenthal [36] considera organizaciones verticalmente integradas que en general han aumentado algunos ahorros en costos transaccionales y tecnológicos mediante su integración. Construyeron un juego de cadena de suministros cooperativo por el cual el valor de Shapley ubica a las diferentes divisiones es una función implícita de la transferencia de precios. Xiao & [53] estudian la coordinación de una cadena de suministros con un productor y dos competidores minoristas. Consideran dos mecanismos de coordinación: descuentos por cantidad en todas las unidades y un descuento por cantidad incremental.

Desarrollan las condiciones bajo las cuales la cadena de suministros es coordinada y discuten cómo la interrupción de los costos puede afectar los mecanismos de coordinación. Zhou *et al* [70] examinan una cadena de suministros compuesta por un productor y un minorista que operan en un ambiente difuso. La difusión se asocia con la demanda de los clientes y el costo de producción. Dos diferentes estructuras de juegos se tienen en cuenta: el productor y el minorista cooperan entre sí y se comportan como una firma integrada; el productor se comporta como un líder 'Stackelberg' que domina la cadena de suministros. El modelo del valor esperado así como el modelo de programación de oportunidades restringidas es desarrollado para determinar las estrategias de precio para el minorista y el productor.

Geng & Mallik [13] estudian una cadena de suministros que involucra un productor y un minorista independiente y cada uno de los dos canales afronta una demanda estocástica. Utilizan teoría de juegos con restricción de capacidad y con capacidad infinita. Zhu & Dou [71] se basan en el estudio de un modelo de juego evolutivo para una cadena de suministros 'ecológica' entre gobiernos y empresas. Los resultados muestran cómo los subsidios y penalizaciones de los gobiernos a las empresas determinan la implementación de programas ecológicos según los costos y beneficios de éstas.

Gupta & Weerawat [15] comparan tres diferentes mecanismos en las que un productor, cuyos ingresos dependen de los retrasos de las órdenes, puede usar para afectar su componente de decisiones de inventarios del proveedor. Estos mecanismos son componentes que especifican el nivel de inventario, ofreciendo una parte de las ganancias obtenidas al proveedor y un esquema de distribución de ganancias de dos participantes. El primero no conduce a una coordinación de la cadena de suministros, mientras que la segunda sí. Sarmah *et al* [39] revisan la literatura que trata modelos de coordinación vendedor-comprador que han usado descuentos por cantidad como mecanismo de coordinación bajo un ambiente determinístico.

Dong *et al* [10] desarrollan un modelo de red de cadena de suministros que consiste en productores y compradores en los cuales las demandas asociadas con los puntos de venta son aleatorias. Modelan el comportamiento óptimo de varios decisores, derivan las condiciones de equilibrio y establecen formulaciones de desigualdad de variación finita. Wang *et al* [48] analizan el comportamiento no-cooperativo de

una cadena de suministros descentralizada de dos niveles. Analizan el sistema bajo dos condiciones: suministros suficientes e insuficientes de un proveedor. Para garantizar la cooperación óptima en el sistema, varios contratos con equilibrio de Nash son diseñados en juegos de inventario grupal y local.

Li *et al* [29] desarrollan tres modelos estratégicos de comercialización para determinar el equilibrio y los niveles de inversión para un productor y un minorista en una cadena de dos niveles. Se enfocan en el impacto de las inversiones en marca, publicidad local y políticas de intercambio en programas de publicidad cooperativa. Nagurney *et al* [32] definen un modelo de equilibrio para una red de cadena de suministros competitiva. El modelo es suficientemente general para manejar muchos decisores y sus comportamientos independientes. Analizan una red con múltiples vendedores y múltiples compradores. Huang & Li [19] intentan explorar el rol de la eficiencia de la publicidad con cooperación vertical con respecto a las transacciones entre el productor y el minorista mediante inversiones en marcas, gastos en publicidad y reglas de intercambio de los gastos de publicidad. Tres modelos son discutidos los cuales son basados en dos no-cooperativos y uno cooperativo.

2.3 TEORÍA DE JUEGOS COMBINADO CON VMI EN ANÁLISIS DE CADENAS DE SUMINISTROS

En el análisis de teoría de juegos es importante el número de jugadores o agentes que toman decisiones interactivas, por tal razón, los artículos referidos se agrupan según la estructura de las cadenas de suministros bajo esquema VMI. La estructura de una cadena de suministros se define por los niveles a lo largo de ésta y los escalones en cada nivel. El primero alude a la cantidad de agentes que conforman toda la cadena de abastecimiento. El segundo indica la cantidad de agentes que hay en cada nivel y cumplen prácticamente la misma función dentro de la cadena de abastecimiento. Para ilustrar lo anterior, en la figura 1 se ilustran ejemplos de cadenas sencillas o de un solo escalón y cadenas multiescalonadas, cada una de diferentes niveles.

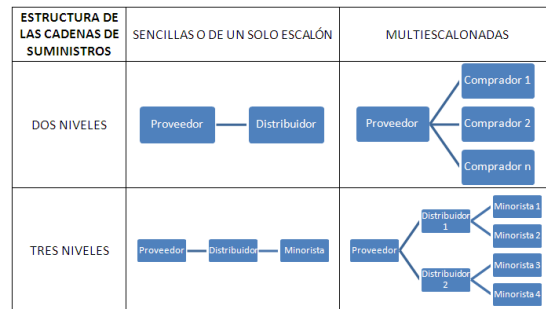


Fig.1 Ejemplos de cadenas de suministros según su estructura

2.3.1 Cadenas sencillas de dos niveles (1 vendedor - 1 comprador)

Ru & Wang (2010) [37] trabajan modelos bajo el esquema 'inventario en consignación', y comparan dos acuerdos: inventario en consignación manejado por el comprador (RMCI) y el inventario en consignación manejado por el vendedor (VMCI). Construyeron un modelo de teoría de juegos para capturar las interacciones entre un vendedor y un comprador cuando diferentes grupos tienen el control del inventario en la cadena de suministros. Savasanelil & Erikp (2010) [40] modelaron un productor (con restricción de capacidad) y un minorista basados en la teoría de juegos, asumiendo que la información de la demanda del minorista está completamente disponible para el productor, por lo tanto, estudiaron los beneficios más allá del intercambio de información, tanto en un sistema de consignación como el de no consignación bajo el esquema VMI. Bylka (2009) [4] asume que la división de los costos de transporte es centralmente coordinado o inicialmente negociado en un modelo determinístico discreto en el cual el vendedor produce un producto y lo supe al comprador. Esto conduce a una clase de juego no-cooperativo restringido, indexado por dos parámetros conectados con partes de los costos de transporte. Yu *et al* (2009) [63] discuten cómo el vendedor puede aprovechar la información que captura del comprador para incrementar su propio beneficio mediante un juego Stackelberg en un sistema VMI. El vendedor es un productor que consigue materias primas para producir productos terminados y suministrarlos al mismo precio mayorista para múltiples compradores. Los compradores venden a precios de mercado independientes.

2.3.2 Cadenas multiescalonadas de dos niveles (1 vendedor – N compradores)

Chen *et al* (2010) [6] se ocupan del problema de coordinación de un sistema verticalmente separado bajo acuerdos VMI y en consignación. Formulan un problema de maximización de la ganancia y desarrollan el análisis de equilibrio bajo esquemas cooperativos y no-cooperativos, de un vendedor y múltiples compradores, bajo esquemas: precio único del vendedor, VMI y VMI en consignación. Wong *et al* (2009) [51] modelan una cadena de dos niveles con un vendedor y múltiples compradores bajo un esquema VMI. Analizan dos escenarios para los compradores: independientes con una función de demanda sensible sólo a su propio precio y competitivos con una función de demanda que depende de los precios de todos los compradores. Consideran una demanda aleatoria sensible al precio de venta, bajo el esquema del vendedor de periódicos y VMI, donde el vendedor estimula al comprador con un reembolso para que éste incremente las ventas. Yu *et al* (2009) [61] muestran cómo analizar el mecanismo evolutivo intrínseco del VMI en cadenas de suministro aplicando teoría de juegos evolutivo. Yu *et al* (2009) [64] analizan la interacción del productor con los minoristas donde cada cual optimiza individualmente sus beneficios, ajustando sus estrategias de publicidad y precio y sus políticas de inventario en un ambiente VMI. Modelan con un solo producto para varios minoristas. Consideran la tasa de la demanda para cada minorista como una función creciente y cóncava en términos de las inversiones en publicidad, pero decreciente y convexa en términos de los precios minoristas. El problema es modelado como un juego Stackelberg donde el productor es el líder y los minoristas son los seguidores. Proponen un algoritmo para buscar el equilibrio de Stackelberg.

2.3.3 Cadenas de suministros multiescalonadas de tres niveles (1 proveedor - m vendedores – n compradores)

Yu & Huang [62] proponen un modelo dual de juego de Nash entre minoristas y entre un productor y múltiples minoristas. Desarrollaron un algoritmo para encontrar equilibrio dual de Nash eficientemente. Consideran múltiples productos, publicidad y precios, configuración del producto y la selección del productor.

3 HALLAZGOS GENERALES DE LA REVISIÓN

De los artículos revisados se consideran los que por lo menos contienen VMI en sus análisis o

integración de la cadena. Como se puede observar en la tabla IV, la mayoría de los autores plantean modelos exactos para el análisis (67.5%), seguido por herramientas de simulación (17.5%), análisis estadístico (7.5%) y finalmente análisis cualitativo (5%). Sólo un artículo combina modelos exactos y análisis estadístico es su estudio.

TABLA IV.
TIPOS DE MODELOS Y ANÁLISIS VS ENFOQUE

Tipos de modelos y análisis	Enfoque			Total general
	Integración de la cadena	VMI	VMI - Teoría de juegos	
Análisis cualitativo		2		2
Análisis estadístico		3		3
Modelos exactos	2	16	9	27
Modelos exactos y análisis estadístico		1		1
Simulación		7		7
Total general	2	29	9	40

En relación con la naturaleza de la demanda considerada en los artículos estudiados, en la tabla V se observa que el 52.4% trabajan con demanda aleatoria y el 22,5% la asumen determinística. El 10% de los artículos utilizan la demanda como función de otros parámetros o variables tales como el precio de venta o los presupuestos de inversión en publicidad. El 12.5% no especifican este parámetro (tabla V).

En cuanto a la tasa de producción, el 75% no tiene en cuenta este parámetro en sus modelos, mientras que el 20% si (tabla VI).

TABLA V.
NATURALEZA DE LA DEMANDA VS ENFOQUE

Naturaleza de la demanda	Enfoque			Total general
	Integración de la cadena	VMI	VMI - Teoría de juegos	
Aleatoria	2	15	4	21
Aleatoria y determinística		1		1
Determinística		8	1	9
Función de otras variables o parámetros			4	4
No especifica o no aplica		5		5
Total general	2	29	9	40

En lo referente a la estructura de la cadena (niveles y escalones), el más analizado es el de

dos niveles (70%), dentro del cual consideran más la estructura 1-1 (un vendedor - un comprador), seguido por 1-N (un vendedor - N compradores), tal como se muestra en la tabla VII. La estructura de tres niveles representa el 10% al igual que el de cuatro niveles, pero el primero considera más estructuras multiescalonadas que el segundo. El 7,5% restante no especifican ni los niveles ni los escalones (tabla VII).

TABLA VI.
TASA DE PRODUCCIÓN VS ENFOQUE

Utilizan tasa de producción	Enfoque			Total general
	Integración de la cadena	VMI	VMI - Teoría de juegos	
Si		3	5	8
No	2	24	4	30
No especifica		2		2
Total general	2	29	9	40

4 CONCLUSIÓN

TABLA VII.
ESTRUCTURA DE LA CADENA: NIVEL Y ESCALONES VS ENFOQUE

Niveles de la cadena	Escalones de la cadena	Integración de la cadena	Enfoque		Total general
			VMI	VMI - Teoría de juegos	
Dos Niveles	1-1	2	12	4	18
	1-N		6	4	10
	N-n		1		1
Tres Niveles	1-1-1		1		1
	1-1-n		1		1
	1-N-n		1		1
	N-1-n			1	1
Cuatro Niveles	1-1-1-1		4		4
No especifica	No especifica		3		3
Total general		2	29	9	40

REFERENCIAS

- [1] Anderson, E. J., & Bao, Y. (2010). Price competition with integrated and decentralized supply chains. *European Journal of Operational Research*, 200, 227–234.
- [2] Angulo, A., Nachtmann, H., & Waller, M. A. (2004). Supply chain information sharing in a vendor managed inventory partnership. *Journal of Business Logistics*, 25 (1), 101-120.
- [3] Arora, V., Chan, F., & Tiwari, M. (2010). An integrated approach for logistic and vendor managed inventory in supply chain. *Expert Systems with Applications*, 37, 39–44.
- [4] Bylka, S. (2009). Non-cooperative strategies for production and shipments lot sizing in the vendor-buyer system. *International Journal of Production Economics*, 118, 243–252.
- [5] Challener, C. (2000). Taking the VMI step to collaborative commerce. *Chemical Market Reporter*, 258 (21), 11-12.
- [6] Chen, J.-M., Lin, I.-C., & Cheng, H.-L. (2010). Channel coordination under consignment and vendor-managed inventory in a distribution system. *Transportation Research*, doi:10.1016/j.tre.2010.05.007.
- [7] Choi, K.-S., Dai, J. G., & Song, J.-S. (2004). On measuring supplier performance under vendor-managed inventory programs in capacitated supply chains. *Manufacturing & Service Operations Management*, 6 (1), 53–72.
- [8] Choi, T.-M., Li, D., Yan, H., & Chi, C.-H. (2008). Channel coordination in supply chains with agents having mean-variance objectives. *Omega*, 36, 565 – 576.

Se realizó una revisión bibliográfica de los artículos que analizan la cadena de suministros desde dos enfoques: VMI y Teoría de Juegos. Se encontró que sólo 9 de los 71 artículos consultados combinan estos dos enfoques para analizar el desempeño de cadenas de suministros cuando los actores cooperan bajo acuerdos VMI a fin de lograr beneficios para todo el sistema. En términos generales, estos estudios han demostrado que los beneficios y su distribución entre los agentes se logran dependiendo de la modalidad de integración y de los parámetros del sistema. Por tanto, existe la posibilidad de extender los modelos aplicando tasas de producción, demandas determinísticas y diversificando la estructura de la cadena en aras de especificar las condiciones necesarias para lograr beneficios en una determinada cadena de suministros.

- [9] Darwish, M. A., & Odah, O. M. (2010). Vendor-managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply chains. *European Journal of Operational Research* , 204, 473-484.
- [10] Dong, J., Zhang, D., & Nagurney, A. (2004). A supply chain network equilibrium model with random demands. *European Journal of Operational Research* , 156, 194-212.
- [11] Dong, Y., & Xu, K. (2002). A supply chain model of vendor managed inventory. *Transportation Research , Part E* 38, 75-95.
- [12] Esmaeili, M., Aryanezhad, M.-B., & Zeepongsekul, P. (2009). A game theory approach in seller-buyer supply chain. *European Journal of Operational Research* , 195, 442-448.
- [13] Geng, Q., & Mallik, S. (2007). Inventory competition and allocation in a multi-channel distribution system. *European Journal of Operational Research* , 128, 704-729.
- [14] Gümü, M., Jewkes, E. M., & Bookbin, J. H. (2008). Impact of consignment inventory and vendor-managed inventory for a two-party supply chain. *International Journal of Production Economics* , 113, 502-517.
- [15] Gupta, D., & Weerawat, W. (2006). Supplier-manufacturer coordination in capacitated two-stage supply chains. *European Journal of Operational Research* , 175, 67-89.
- [16] Hemmelmayr, V., Doerner, K. F., Hartl, R. F., & Savelsbergh, M. W. (2010). Vendor managed inventory for environments with stochastic product usage. *European Journal of Operational Research* , 202, 686-695.
- [17] Henet, J.-C., & Arda, Y. (2008). Supply chain coordination: A game-theory approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* , 21, 399-405.
- [18] Holweg, M., Disney, S., Holmström, J., & Smaros, J. (2005). Supply Chain Collaboration: Making Sense of the Strategy Continuum. *European Management Journal* , 23 (2), 170-181.
- [19] Huang, Z., & Li, S. X. (2001). Co-op advertising models in manufacturer-retailer supply chains: a game theory approach. *European Journal of Operational Research* , 135, 527-544.
- [20] Kuk, G. (2004). Effectiveness of vendor-managed inventory in the electronics industry: determinants and outcomes. *Information & Management* , 41, 645-654.
- [21] Kwak, C., Choi, J. S., Kim, C. O., & Kwon, I.-H. (2009). Situation reactive approach to Vendor Managed Inventory problem. *Expert Systems with Applications* , 36, 9039-9045.
- [22] Lee, C. C., & Chu, W. H. (2005). Who should control inventory in a supply chain? *European Journal of Operational Research* , 164, 158-172.
- [23] Lee, H., So, K., & Tang, C. (2000). The value of information sharing in a two-level supply chain. *Management Science* , 46 (5), 626-643.
- [24] Leng, M., & Parlar, M. (2009). Allocation of Cost Savings in a Three-Level Supply Chain with Demand Information Sharing: A Cooperative-Game Approach. *OPERATIONS RESEARCH* , 57 (1), 200-213.
- [25] Leng, M., & Parlar, M. (2010). Game-theoretic analyses of decentralized assembly supply chains: Non-cooperative equilibria vs. coordination with cost-sharing contracts. *European Journal of Operational Research* , 204, 96-104.
- [26] Leng, M., & Parlar, M. (2009). Lead-time reduction in a two-level supply chain: Non-cooperative equilibria vs. Coordination with a profit-sharing contract. *International Journal of Production Economics* , 118, 521-544.
- [27] Leng, M., & Zhu, A. (2009). Side-payment contracts in two-person nonzero-sum supply chain games: Review, discussion and applications. *European Journal of Operational Research* , 196, 600-618.
- [28] Li, J., Wang, S., & Cheng, T. (2010). Competition and cooperation in a single-retailertwo-supplier supply chain with supply disruption. *International Journal of Production Economics* , 124, 137-150.
- [29] Li, S. X., Huang, Z., Zhu, J., & Chau, P. Y. (2002). Cooperative advertising, game theory and manufacturer-retailer supply chains. *Omega* , 30, 347-357.
- [30] Nagarajan, M., & Sobic, G. (2008). Game-theoretic analysis of cooperation among supply chain agents: Review and extensions. *European Journal of Operational Research* , 187, 719-745.
- [31] Nagurney, A. (2010). Supply chain network design under profit maximization and oligopolistic competition. *Transportation Research , Part E* 46, 281-294.
- [32] Nagurney, A., Dong, J., & Zhang, D. (2002). A supply chain network equilibrium model. *Transportation Research , Part E* 38, 281-303.
- [33] Ofuoku, M. (2009). Stochastic vendor managed inventory: impact on non-identical retailers. PhD. Thesis. New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico.
- [34] Ren, Z. J., Cohen, M. A., Ho, T. k., & Terwiesch, C. (2010). Information Sharing in a Long-Term Supply Chain Relationship: The Role of Customer Review Strategy. *OPERATIONS RESEARCH* , 58 (1), 81-93.
- [35] Rivera, D. F., & Torres, J. F. (2009). Aplicación de Teoría de Juegos a Cadenas de Suministro, Múltiples Vendedores - Múltiples Compradores. Tesis de maestría. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
- [36] Rosenthal, E. C. (2008). A game-theoretic approach to transfer pricing in a vertically integrated supply chain. *International Journal of Production Economics* , 115, 542-552.
- [37] Ru, J., & Wang, Y. (2010). Consignment contracting: Who should control inventory in the supply chain? *European Journal of Operational Research* , 201, 760-769.
- [38] Sari, K. (2008). On the benefits of CPFR and VMI: a comparative simulation study. *International Journal of Production Economics* , 113 (2), 575-586.
- [39] Sarmah, S. P., Acharya, D., & Goyal, S. K. (2006). Buyer vendor coordination models in supply chain management. *European Journal of Operational Research* , 175, 1-15.
- [40] Savasaneril, S., & Erikp, N. (2010). An analysis of manufacturer benefits under vendor-managed systems. *IIE Transactions* , 42, 455-477.
- [41] Song, D.-P., & Dinwoodie, J. (2008). Quantifying the effectiveness of VMI and integrated inventory management in a supply chain with uncertain lead-times and uncertain demands. *Production Planning & Control* , 19 (6), 590-600.

- [42] Southard, P. B., & Swenseth, S. R. (2008). Evaluating vendor-managed inventory (VMI) in non-traditional environments using simulation. *International Journal of Production Economics* , 116, 275-287.
- [43] Szmerekovsky, J. G., & Zhang, J. (2008). Coordination and adoption of item-level RFID with vendor managed inventory. *International Journal of Production Economics* , 114, 388– 398.
- [44] Torres, F., & Ballesteros, F. (2010). Modelo de un sistema coordinado productor-comprador a través de una estrategia basada en VMI. 5th Americas International Conference on Production Research. Bogotá: Universidad de los Andes.
- [45] Towill, D., & Disney, S. (2003). The effect of vendor-managed inventory (VMI) dynamics on the bullwhip effect in supply chains. *International Journal of Production Economics* , 85 (2), 199-215.
- [46] Tyan, J., & Wee, H.-M. (2003). Vendor managed inventory: a survey of the Taiwanese grocery industry. *Journal of Purchasing & Supply Management* , 9, 11–18.
- [47] Vlist, P. v., Kuik, R., & Verheijen, B. (2007). Note on supply chain integration in vendor-managed inventory. *Decision Support Systems* , 44, 360–365.
- [48] Wang, H., Guo, M., & Efstathiou, J. (2004). A game-theoretical cooperative mechanism design for a two-echelon decentralized supply chain. *European Journal of Operational Research* , 157, 372–388.
- [49] Wang, J., Zhao, R., & Tang, W. (2009). Supply Chain Coordination by Single-Period and Long-Term Contracts with Fuzzy Market Demand. *TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY* , 14 (2).
- [50] White, A., & Censlive, M. (2006). Observations on modeling strategies for vendor-managed inventory. *Journal of Manufacturing Technology Management* , 17 (4), 496-512.
- [51] Wong, W., Qi, J., & Leung, S. (2009). Coordinating supply chains with sales rebate contracts and vendor-managed inventory. *International Journal of Production Economics* , 120, 151–161.
- [52] Wu, D., Baron, O., & Berman, O. (2009). Bargaining in competing supply chains with uncertainty. *European Journal of Operational Research* , 197, 548–556.
- [53] Xiao, T., & Qi, X. (2008). Price competition, cost and demand disruptions and coordination of a supply chain with one manufacturer and two competing retailers. *Omega* , 36, 741 – 753.
- [54] Xiao, T., & Yu, G. (2006). Supply chain disruption management and evolutionarily stable strategies of retailers in the quantity-setting duopoly situation with homogeneous goods. *European Journal of Operational Research* , 173, 648–668.
- [55] Xie, J., & Neyret, A. (2009). Co-op advertising and pricing models in manufacturer–retailer supply chains. *Computers & Industrial Engineering* , 56, 1375–1385.
- [56] Yang, K.-K., Ruben, R. A., & Webster, S. (2003). Managing vendor inventory in a dual level distribution system. *Journal of Business Logistics* , 24 (2), 91-108.
- [57] Yang, L., Ng, C., & Cheng, T. (2010). Evaluating the effects of distribution centers on the performance of vendor-managed inventory systems. *European Journal of Operational Research* , 201, 112-122.
- [58] Yao, Y., & Dresner, M. (2008). The inventory value of information sharing, continuous replenishment and vendor-managed inventory. *Transportation Research* , 361–378.
- [59] Yao, Y., Dong, Y., & Dresner, M. (2010). Managing supply chain backorders under vendor managed inventory: An incentive approach and empirical analysis. *European Journal of Operational Research* , 203, 350-359.
- [60] Yao, Y., Evers, P. T., & Dresner, M. E. (2007). Supply chain integration in vendor-managed inventory. *Decision Support Systems* , 43, 663– 674.
- [61] Yu, H., Zeng, A. Z., & Zhao, L. (2009). Analyzing the evolutionary stability of the vendor-managed inventory supply chains. *Computers & Industrial Engineering* , 56, 274–282.
- [62] Yu, Y., & Huang, G. Q. (2010). Nash game model for optimizing market strategies, configuration of platform products in a Vendor Managed Inventory (VMI) supply chain for a product family. *European Journal of Operational Research* , 206, 361-373.
- [63] Yu, Y., Chu, F., & Chen, H. (2009). A Stackelberg game and its improvement in a VMI system with a manufacturing vendor. *European Journal of Operational Research* , 192, 929–948.
- [64] Yu, Y., Huang, G. Q., & Liang, L. (2009). Stackelberg game-theoretic model for optimizing advertising, pricing and inventory policies in vendor managed inventory (VMI) production supply chains. *Computers & Industrial Engineering* , 57, 368–382.
- [65] Yuh-Wena, C., Larbani, M., & Chen-Hao, L. (2010). Simulation of a supply chain game with multiple fuzzy goals. *Fuzzy Sets and Systems* , 161, 1489–1510.
- [66] Zavarella, L., & Zanoni, S. (2009). A one-vendor multi-buyer integrated production-inventory model: The ‘ConsignmentStock’ case. *International Journal of Production Economics* , 118, 225–232.
- [67] Zhang, T., Liang, L., Yu, Y., & Yu, Y. (2007). An integrated vendor-managed inventory model for a two-echelon system with order cost reduction. *International Journal of Production Economics* , 109, 241–253.
- [68] Zhang, X., & Huang, G. Q. (2010). Game-theoretic approach to simultaneous configuration of platform products and supply chains with one manufacturing firm and multiple cooperative suppliers. *International Journal of Production Economics* , 124, 121–136.
- [69] Zhao, Y., Wang, S., Cheng, T., Yang, X., & Huang, Z. (2010). Coordination of Supply Chains by Option Contracts: A Cooperative Game Theory Approach. *European Journal of Operational Research* , doi: 10.1016/j.ejor.2010.05.017.
- [70] Zhou, C., Zhao, R., & Tang, W. (2008). Two-echelon supply chain games in a fuzzy environment. *Computers & Industrial Engineering* , 55, 390–405.
- [71] Zhu, Q.-h., & Dou, Y.-j. (2007). Evolutionary Game Model between Governments and Core Enterprises in Greening Supply Chains. *Systems Engineering - Theory & Practice* , 27 (12), 85–89.
- [72] Perez Navarro, J. Jimeno Pastor, J. L.Cerdá Tena, E. *Teoría de Juegos*. Pearson Education. Madrid 2004.

BIOGRAFÍA

Marcela Villa Marulanda, Ingeniera Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga y Profesora Auxiliar de la misma institución. Candidata a Magíster en Ciencias área Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes.



José Fidel Torres Delgado, Ingeniero Eléctrico y Matemático de la Universidad de Los Andes. Tiene un postgrado de Logística en la misma universidad y es doctor de la Universidad Paul Sabatier de Toulouse, Francia. Profesor Asociado de la Universidad, director del Grupo de Investigación



PYLO (Producción y Logística).

Frank Alexander Ballesteros, Ingeniero Industrial de la Universidad de los Andes. Magíster en Ingeniería Logística de la Université de Picardie Jules Verne, Amiens, Francia.

