

Análisis sistémico de los riesgos de servicio y financiero en la cadena de abastecimiento z

Systemic Analysis of service and financial risks in a supply chain

Felipe Romo L.

pipero@hotmai.com

Harold F. Daza

nando_45@hotmail.com

Fernando A. Arenas G.

faarenas@icesi.edu.co

Universidad Icesi, Cali-Colombia

.....
Fecha de recepción: Febrero 26 de 2013

Fecha de aceptación: Abril 1 de 2013

Palabras clave

Cadena de abastecimiento (CA), riesgo de servicio al cliente, riesgo financiero, toma de decisiones.

Keywords

Supply Chain; Service risk management; financial risk management; decisions making.

Resumen

Partiendo de un modelo desarrollado por medio de la dinámica de sistemas, que representa una cadena de abastecimiento, este trabajo tiene como finalidad establecer una aproximación sistémica a la gestión de los riesgos de servicio y financiero, teniendo en cuenta la toma de decisiones desde el área operativa y su influencia sobre el riesgo en otras áreas de la empresa.

Abstract

Based on a model developed through system dynamics, which represents a supply chain, this paper aims to establish a systemic approach to service risk management and financial risk management, taking into account the decisions made from the operational area and its influence on the risk in different areas of the company.

Colciencias **1**
tipo

Este documento se ha construido a partir de la ponencia presentada por los autores en el X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, realizado en Buenos Aires, Argentina, en noviembre de 2012. El documento es inédito.

I. Introducción

A. Contextualización de la problemática

El riesgo en la cadena de abastecimiento se define como cualquier evento que pudiera afectar cualquier movimiento, sea de materiales, información o productos, y perturbar el flujo previsto (Waters, 2007). Un retraso en la entrega de las materias primas podría detener la producción, aumentar los costos –al obligar a la utilización de transporte alternativo–, aumentar las existencias de productos en proceso, afectar los indicadores financieros y hacer que los socios reconsideren sus relaciones comerciales.

Esto demuestra que la concreción de los riesgos en la Cadena de Abastecimiento [CA] puede ser el comienzo de otros eventos que afecten al sistema, con consecuencias mucho más significativas, llegando incluso a impactar la liquidez, el endeudamiento y la rentabilidad, entre otras variables financieras.

Aun cuando la academia ha demostrado alto interés en la medición y prevención de los riesgos en la cadena de abastecimiento, una revisión hecha en esta investigación, no encontró literatura que relacione al riesgo de servicio con el riesgo financiero de una empresa, teniendo en cuenta la complejidad de todo el sistema; la relación entre estos dos tipos de riesgo se ha trabajado, en su mayoría, con modelos econométricos.

Tampoco se encontraron estudios concretos sobre las pérdidas económicas en las que se puede incurrir al desconocer la relación causal que se presenta entre los diferentes tipos de riesgo en la cadena de abastecimiento; si bien existen estudios que hacen análisis del riesgo, con base en modelos cuantitativos (ver detalle en la Tabla 1), ninguno de ellos deja bien definida la relación y la cuantificación entre el riesgo de servicio y el riesgo financiero.

Tabla 1. Modelos cuantitativos de riesgo en la cadena de abastecimiento encontrados en la literatura (Faisal, Banwet, & Shankar, 2007)

Título	Autor
Random yield risk sharing in a two-level supply chain	He & Zhang (2008)
Stochastic model for risk management in global supply chain networks	Goh , Lim & Meng (2007)
Coordination of supply chain after demand disruptions	Xiao, Xiangtong & Yu (2007)
Managing risk in the supply chain using AHP method	Gaudenzi & Borghesi (2006)
Global supply chain network dynamics with multicriteria decision-making under risk and uncertainty	Nagurney & Matsypura (2005)
Risk management processes in supplier networks	Hallikas , Karvonen, Pulkkinen, Virolainen, & Tuominen, (2004)
Risk, information and incentives in telecom supply chains	Agrella, Lindrothb, & Norman (2004)

Para poder ayudar a la comprensión de un tema que implica complejidad dinámica, se plantea en este documento la elaboración de un modelo de una cadena de abastecimiento a través de *Dinámica de sistemas*, que establezca la influencia que ejercen las decisiones de gestión de la cadena de abastecimiento sobre las finanzas de la empresa, específicamente sobre el riesgo de cumplir con las metas u objetivos estratégicos de la empresa.

B. Manejo de riesgo en la cadena de abastecimiento (MRCA)

Los gerentes logísticos –quienes desempeñan un rol fundamental en el manejo del riesgo en la CA– requieren de metodologías o herramientas que los ayuden a gestionar de una mejor manera un sistema complejo, dado que la vulnerabilidad al riesgo es inherente a las cadenas de abastecimiento y los niveles de riesgo parecen estar incrementándose debido a la incertidumbre que a diario se presenta en el entorno (Waters, 2007).

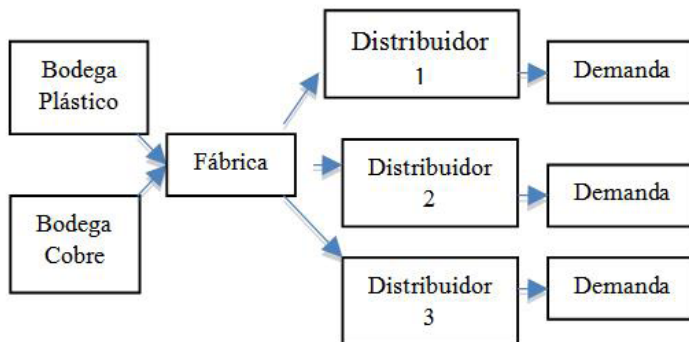
Los gerentes deben estar atentos a los riesgos en una CA; reconocer el riesgo les puede traer beneficios que incluyen: mejor flujo de materiales e información, disminución de los costos e incremento del valor agregado; estos beneficios pueden potenciar las ventajas competitivas de la empresa, lo que, a su vez, tiene el potencial de aumentar la probabilidad de alcanzar los objetivos estratégicos y mejorar su posicionamiento en el mercado.

II. Estructura

Este trabajo da continuidad a los estudios y el modelo propuestos por Arenas (2004), al cual se le incluirá un submodelo que permita estudiar la relación, desde un punto de vista sistémico, de la gestión de los riesgos de servicio y financiero.

El modelo base consiste en una cadena de abastecimiento de tres escalones de una empresa manufacturera en el sector energético (cables eléctricos), en la cual, por el alcance del proyecto, se tiene en cuenta solo dos tipos de materias primas (cobre y plástico). Esta CA se compone de dos bodegas de materias primas (una para cada proveedor), una bodega de producto terminado (fábrica) y tres bodegas de distribución (mayoristas). La bodega 1 representa un cliente preferencial y por lo tanto es el primero al que se le despacha producto terminado.

Figura 1. Estructura de la cadena de abastecimiento



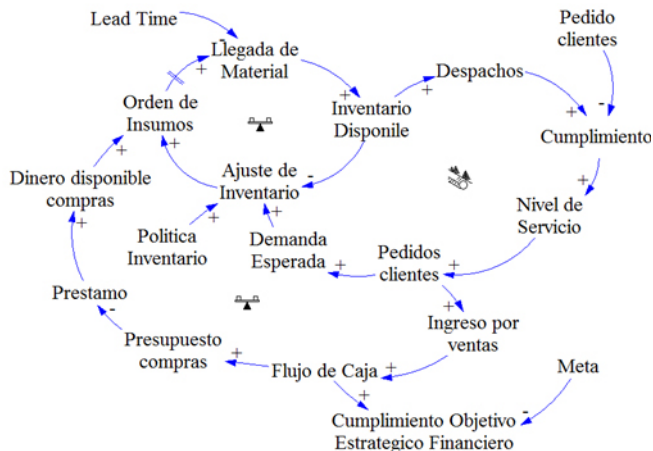


Figura 2. Estructura Bodega materia prima 1 (cobre)

En la Figura 2 se muestra el diagrama causal que representa la dinámica general de las bodegas y su influencia en los indicadores financieros y de servicios.

A. Definición de riesgo

En este documento, se define el riesgo como la probabilidad de no poder cumplir o no poder lograr un objetivo estratégico específico de la empresa estudiada (IRM, 2002); el riesgo de servicio, como la probabilidad de no alcanzar el objetivo de cumplir con el 80% de nivel de servicio, periodo a periodo; y el riesgo financiero como la probabilidad de no tener un flujo de caja positivo durante cada periodo de simulación.

B. Modelo de simulación

La Figura 3 muestra la estructura de uno de los agentes en la cadena de abastecimiento estudiada y representa la dinámica del proveedor de la materia prima 1 (cobre); se compone principalmente de un acumulador de inventario (variable de nivel “Inv MP1”) que calcula los niveles de inventario a partir de los despachos realizados al cliente

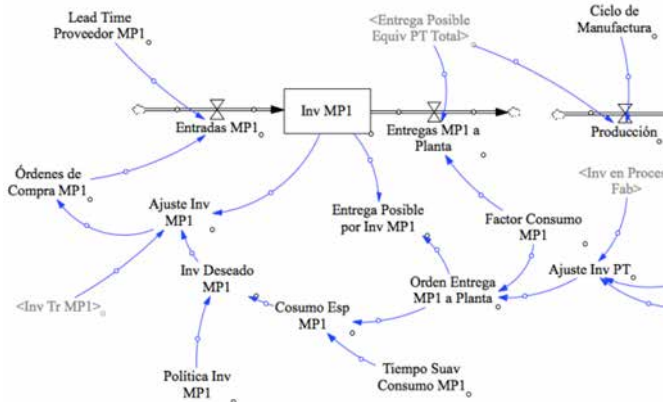


Figura 3. Estructura Bodega materia prima 1 (cobre)

(planta producción de cables) y la recepción de materia prima. Para esto, el proveedor de cobre toma, como punto de partida, las órdenes de la planta productiva y con ellas realiza un pronóstico de la demanda, el que junto con la política de inventario servirán de insumos para determinar cuánto inventario se debería tener (cuánto se debería comprar) para satisfacer la demanda de cobre.

Bajo una dinámica similar funcionan tanto el fabricante de cables (ver Figura 4) y el proveedor de plástico, como cada uno de los tres distribuidores de producto terminado (ver la estructura del distribuidor 1 en la Figura 5); sin embargo, los distribuidores se diferencian en que el primero se atiende con prioridad mientras que a los dos siguientes se les provee con el remanente.

Adicionalmente, se dejó abierta la posibilidad de utilizar un switch POS (*Point of Sale*), que al ser activado por el fabricante, le permitirá contar con los recursos tecnológicos y logísticos para realizar sus pronósticos, con base en la demanda del cliente final y no con las órdenes de las bodegas de distribución. Con esto se espera disminuir el denominado efecto látigo, y disminuir el ruido que genera la variabilidad de la demanda.

El análisis sistémico de la gestión del riesgo en la CA teniendo en cuenta los objetivos estratégicos de la empresa, se inició determinando las variables en las que los agentes tomadores de decisión pueden tener influencia. Las variables de decisión dentro del

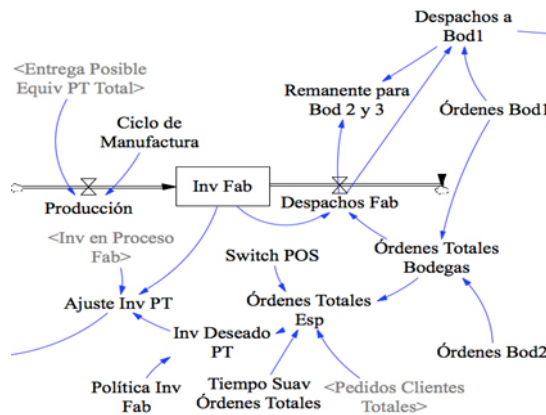


Figura 4. Estructura - fábrica de cables eléctricos

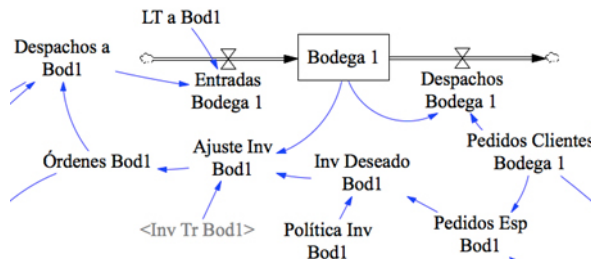


Figura 5. Estructura - bodega de distribuidor 1

área operativa corresponden principalmente a las políticas de inventario; es decir, el número de semanas de demanda esperada que se desea tener en inventario.

El submodelo descrito en la Figura 6 permite analizar el riesgo de servicio de la empresa considerando las decisiones tomadas sobre las variables mencionadas, definiendo el riesgo de servicio como la probabilidad de incumplir la meta de nivel de servicio que previamente se ha establecido como objetivo estratégico de la CA.

Asimismo, después de haber tomado decisiones de tipo operativo, con el fin de cumplir la meta de nivel de servicio, es de gran importancia analizar cómo se puede afectar al riesgo financiero, es decir, al riesgo de tener flujos de caja negativos (ver Figura 7).

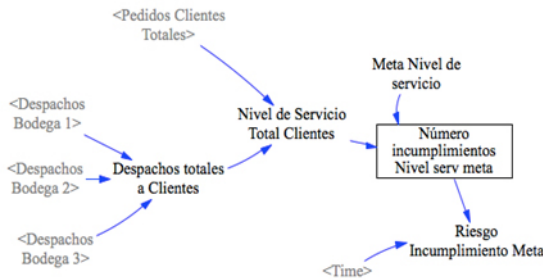


Figura 6. Submodelo de riesgo de servicio

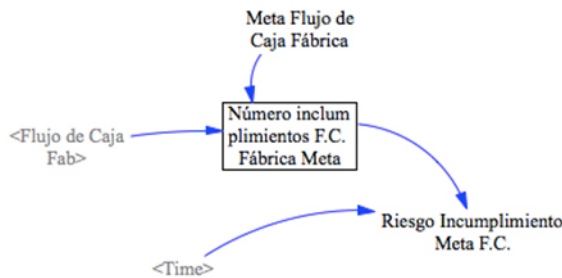


Figura 7. Submodelo de riesgo financiero

III. Resultados

Teniendo definido los submodelos que permiten evaluar el riesgo en servicios y financiero, se procedió a correr una simulación base con los parámetros originales de la cadena de abastecimiento estudiada. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

A partir de esto, se planteó evaluar el efecto de aumentar la política de inventario de cada agente decisor (individualmente) en dos semanas de inventario adicional; la elección del número de semanas fue arbitraria, con el fin de evaluar el correcto comportamiento del modelo con posibles resultados similares a los que se esperarían.

Los cambios fueron simulados y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3, donde se jerarquizaron las políticas de inventario para poder identificar cuáles generaban las reducciones de riesgo más significativas.

Tabla 2. Riesgo en la CA con políticas de inventario base

Agente decisor	Política inventarios	Riesgo servicio	Riesgo financiero
Bodega distribuidor 1	3		
Bodega distribuidor 2	2		
Bodega distribuidor 3	2		
Bodega fabrica	2	62%	14%
Bodega cobre	1		
Bodega plástico	2		

Tabla 3. Variación del riesgo en puntos porcentuales

Agente Decisor	Política de inventarios	Variación riesgo servicio	Variación riesgo financiero
Bodega distribuidor 1	4	-10%	+38%
Bodega distribuidor 2	5	-6%	+34%
Bodega distribuidor 3	4	0%	+26%
Bodega fabrica	4	0%	+38%
Bodega plástico	4	0%	+38%
Bodega cobre	3	+4%	+4%

Los resultados de dicha tabla permiten observar cómo al aumentar en dos semanas la política de inventario de la bodega de distribución 2, se obtiene una disminución de 10% en el riesgo de no cumplir con el nivel de servicio al cliente, pero también cómo esta decisión afecta el riesgo financiero, aumentándolo en un 38%.

Tal como se esperaba, aumentar las políticas de inventario con el objetivo de reducir el riesgo de servicio, aumentan significativamente el riesgo de no tener flujo de caja positivo (riesgo financiero).

Para evaluar el impacto que tienen diferentes decisiones a lo largo de la cadena de abastecimiento, se corrió una simulación aumentando dos semanas de política de inventario de las bodegas de distribución 1 y 2. Los resultados obtenidos de la simulación de los dos primeros se muestran en la Tabla 4, en la cual se puede observar cómo tomar decisiones desde el área operativa (niveles de inventario) para disminuir el riesgo de servicios, puede llegar a aumentar, hasta en 42%, el riesgo financiero de la empresa manufacturera.

Tabla 4. Riesgo en la CA con políticas de inventario análisis sensibilidad

Agente Decisor	Política de inventarios	Variación riesgo servicio	Variación riesgo financiero
Bodega distribuidor 2	4		
Bodega distribuidor 1	5	-16%	+42%

En las Figuras 8 y 9 se puede observar cómo se comportan el riesgo operativo y el riesgo financiero a lo largo de las cincuenta semanas en las que se llevó a cabo la simulación. Se ve cómo, al aumentar tanto las políticas de inventario en las bodegas de distribución 1 y 2, se disminuye el riesgo de incumplimiento de la meta de nivel de servicio a lo largo de todas las cincuenta semanas simuladas.

Por el contrario, en la Figura 9 se puede ver cómo la decisión tomada en un área ajena a Finanzas puede afectar significativamente el cumplimiento de la meta de flujo de caja, riesgo que aumenta hasta en 42% (línea superior en el período 50 de la Figura 9).

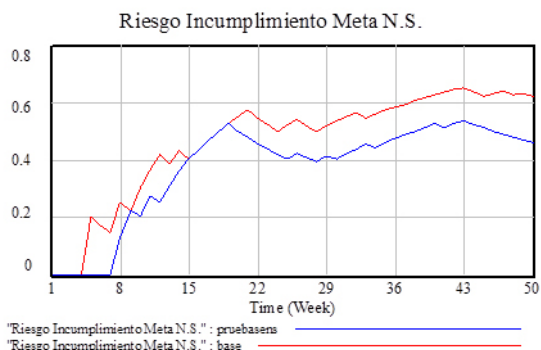


Figura 8. Riesgo incumplimiento Nivel Servicio

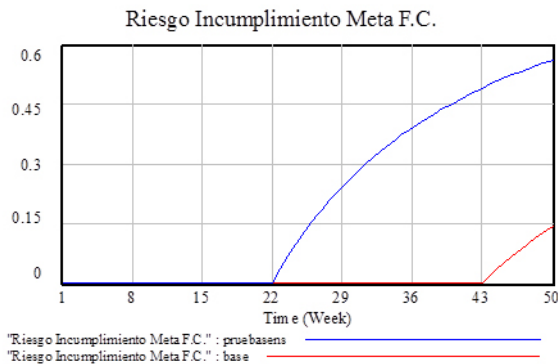


Figura 9. Riesgo incumplimiento Flujo de Caja.

Los resultados obtenidos permiten apreciar la gran importancia de la administración del riesgo a lo largo de la cadena de abastecimiento; esto se aprecia al observar cómo un riesgo del 62% de no cumplir con las entregas a los clientes (Tabla 2, nivel de servicio) puede llegar a ser disminuido hasta en 16 puntos porcentuales (46%) por medio de la toma de decisiones conjuntas.

También se puede identificar claramente un efecto *trade-off*, entre mejorar la atención al cliente y obtener mayores utilidades, al observar cómo al implementar cambios en las bodegas de distribución 1 y 2, es posible obtener disminuciones en el riesgo de nivel de servicio, pero un aumento muy significativo en el riesgo financiero (ver Tabla 4).

A) Diseño de experimentos

En el diseño de experimentos se calcula el efecto que tiene cada una de las variables (políticas de inventario) sobre los riesgos de incumplimiento de flujo de caja y de nivel de servicio, por separado. También se calcularon todos los posibles efectos combinados (iteraciones) que pudieran estar ocasionando una variación en el nivel de cada uno de los riesgos.

Para poder hacer las combinaciones del diseño experimental se definieron dos niveles en las políticas de inventario, un nivel alto y un nivel bajo del inventario en semanas; a partir de ahí se hicieron todas las combinaciones posibles con las seis variables y el número de niveles de todas ellas. Lo anterior es un experimento factorial ($2^6=64$), donde 64 es el número de combinaciones que se realizaron en el experimento. Los datos arrojados en este punto se utilizan para la cuantificación del riesgo por medio de modelos de regresiones lineal. En la Tabla 5 se muestran los niveles bajos y altos que se utilizaron para crear las 64 simulaciones en el modelo de dinámica de sistemas.

Tabla 5. Variables independientes

Variable Independiente	Nivel bajo (semanas)	Nivel alto (semanas)
Política distribuidora No. 3	1	3
Política distribuidora No. 2	1	3
Política distribuidora No. 1	2	4
Política de fabrica	1	3
Política de bodega de plástico	1	3
Política de bodega de cobre	0.5	2

B. Cuantificación del riesgo

Para realizar el análisis de correlación se deben de definir las variables dependientes e independientes que se quieren estudiar. Como se quiere cuantificar la influencia de las políticas de inventario en el riesgo de incumplimiento de las metas, financiera y de servicios, las variables son las que presenta la Tabla 6.

Tabla 6. Variables independientes

Variabes Independientes	Variabes dependientes
Política bodega distribuidor 2	1. Porcentaje de Incumplimiento de Meta financiera.
Política bodega distribuidor 1	
Política bodega distribuidor 3	
Política bodega fabrica	2. Porcentaje de Incumplimiento de meta operativa.
Política bodega cobre	
Política bodega plástico	

En primera instancia, se quiere encontrar una cuantificación de las variables independientes con la primera dependiente, y después encontrar la misma cuantificación con la otra variable independiente y poder sacar conclusiones a partir de los diferentes coeficientes encontrados.

Por lo anterior se plantearan los dos siguientes modelos de regresión lineal:

$$RINS_i = \beta_0 + \beta_1 MPC_i + \beta_2 MPp_i + \beta_3 PF_i + \beta_4 PD1_i + \beta_5 PD2_i + \beta_6 PD3_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

$$RIFC_i = \beta_0 + \beta_1 MPC_i + \beta_2 MPp_i + \beta_3 PF_i + \beta_4 PD1_i + \beta_5 PD2_i + \beta_6 PD3_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

$i = 1, 2, 3 \dots 64$

donde

- $RINS_i$ = Riesgo de incumplimiento de nivel de servicio en la combinación i
- $RIFC_i$ = Riesgo de incumplimiento de flujo de caja en la combinación i
- MPC_i = Política de inventario de cobre en la combinación i
- MPp_i = Política de inventario de plástico en la combinación i
- PF_i = Política de inventario de la fábrica en la combinación i
- $PD1_i$ = Política de inventario de bodega de distribución 1 en la combinación i
- $PD2_i$ = Política de inventario de bodega de distribución 2 en la combinación i
- $PD3_i$ = Política de inventario de bodega de distribución 3 en la combinación i

Utilizando el paquete estadístico *EasyReg* se corroboraron todas las pruebas necesarias para la aplicación de la regresión lineal. Como datos de entrada se utilizaron los resultados de la elaboración de un diseño experimental. La Tabla 7 presenta los resultados obtenidos.

A continuación se analiza cada una de las políticas para poder establecer una serie de parámetros que ayuden a mejorar (disminuir) la simulación de los riesgos

.....
Tabla 7. Coeficientes estimados en los dos modelos

Variable Independiente	Modelo riesgo de incumplimiento...	Nivel alto (semanas)
	... flujo de caja	... nivel de servicio
Política distribuidora 3	0.0403	No significativo
Política distribuidora 2	0.0528	-0.0450
Política distribuidora 1	0.0997	-0.0950
Política de fabrica	0.1509	-0.0488
Política bodega de Plástico	No significativo	No significativo
Política bodega de cobre	0.1238	-0.0658

de incumplimiento. Con los anteriores coeficientes se pueden llegar a los siguientes resultados.

Política de inventario de la distribuidora 3. Se debe disminuir, si se quiere reducir el riesgo de incumplimiento de flujo de caja, pero para el riesgo de incumplimiento del nivel de servicio no es significativo; por ello se decide dejar esa política en su nivel bajo de una semana de inventario, para cuidar así con el riesgo de flujo de caja.

Política de inventario de la distribuidora 2. Se debe disminuir, si se quiere reducir el riesgo de incumplimiento de flujo de caja, pero para el riesgo de incumplimiento del nivel de servicio, se debe a aumentar. En este caso una disminución en una semana de esta política provocará una disminución de 15.2 puntos porcentuales al riesgo de incumplimiento de flujo de caja y aumentará 4.5 puntos porcentuales el riesgo de incumplimiento del nivel de servicio. Se decide dejar la política en el modelo base y, dependiendo de los resultados que se obtengan con la decisión de esta corrida, se definirá en qué valor dejar la política.

Política de inventario de la distribuidora 1. Se debe disminuir, si se quiere reducir el riesgo de incumplimiento de flujo de caja, pero para disminuir el riesgo de incumplimiento del nivel de servicio, se debe a aumentar. En este caso un aumento en una semana de esta política provocará un aumento de 9.9 puntos porcentuales al riesgo de incumplimiento de flujo de caja y disminuirá 9.5 puntos porcentuales el riesgo de incumplimiento del nivel de servicio. Se decide dejar la política en el modelo base y, dependiendo de los resultados que se obtengan con la nueva decisión, se definirá en qué valor dejar la política.

Política de inventario de la fábrica. Se debe disminuir, si se quiere reducir el riesgo de incumplimiento de flujo de caja, pero para disminuir el riesgo de incumplimiento del nivel de servicio, se debe a aumentar. En este caso una disminución en una semana de esta política provocará una disminución de 15.1 puntos porcentuales al riesgo de incumplimiento de flujo de caja y aumentará 4.8 puntos porcentuales el riesgo de incumplimiento del nivel de servicio. En este caso la disminución de una semana de la política provoca una mejoría porcentual más grande en el riesgo de incumplimiento del flujo de caja que lo que perjudica el incumplimiento del nivel de servicio, por lo que se decide dejar esta política en su nivel mínimo de una semana.

Política de la bodega de plástico. En ambos modelos esta política no arrojó resultados significativos, por lo que se decide mantenerla en los parámetros base.

Política de la bodega de cobre. En esta política, al igual que lo ocurrido con la política de la fábrica, una disminución en una semana provocará la disminución de 12.38 puntos porcentuales al riesgo de incumplimiento de flujo de caja y aumentará 6.4 puntos porcentuales el riesgo de incumplimiento del nivel de servicio. Así como en la política de inventario de la fábrica, la disminución de una semana provoca una mejoría porcentual más grande en el riesgo de incumplimiento del flujo de caja que lo que perjudica el incumplimiento del nivel de servicio, por lo cual se decide dejar esta política en su nivel mínimo de 0.5 semanas de inventario.

Tabla 8. Resumen de decisiones (propuesta 1)

Política	Decisión
Política Distribuidora No. 3	1
Política Distribuidora No. 2	base
Política Distribuidora No. 1	base
Política de Fabrica	1
Política de bodega de Plástico	base
Política de bodega de cobre	0.5

C. Resultados de la simulación

Con las anteriores decisiones (ver Tabla 8) se disminuyó el riesgo de incumplimiento de flujo de caja a cero y el riesgo de incumplimiento del nivel de servicio aumentó de 0.62 a 0.84 (ver Figura 10). Esto ocurre porque algunas políticas que se dejaron en su nivel mínimo, para mejorar el riesgo de flujo de caja, perjudicaban el riesgo de incumplimiento de nivel de servicio.

Con base en la anterior decisión se puede tomar una segunda, que intente disminuir cuanto más se pueda el riesgo de incumplimiento de nivel de servicio –ya que el riesgo de flujo de caja es cero–.

En la decisión anterior se habían dejado unas políticas en el nivel base para después definir las, a esas políticas se les va a asignar su nivel máximo, buscando disminuir el incumplimiento del nivel de servicio. La segunda decisión se muestra en la Tabla 9.

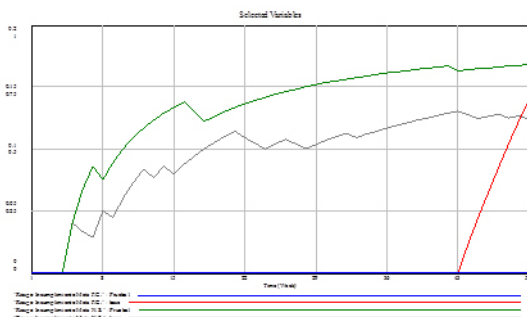


Figura 10. Resultados riesgo incumplimiento nivel de servicio y flujo de caja (propuesta 1)

Tabla 9. Resumen de decisiones (propuesta 2)

Política	Decisión
Política Distribuidora No. 3	1
Política Distribuidora No. 2	base
Política Distribuidora No. 1	base
Política de Fabrica	1
Política de bodega de Plástico	base
Política de bodega de cobre	0.5

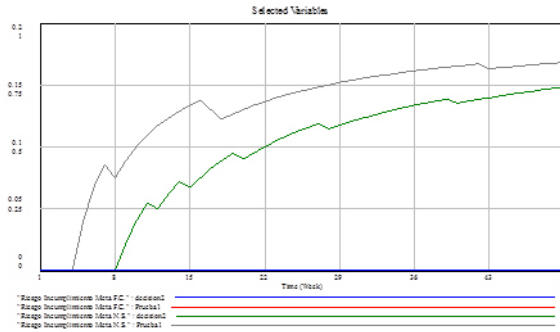


Figura 11. Resultados: riesgo de incumplimiento de nivel de servicio y flujo de caja (propuesta 2)

En la Figura 11 se puede notar una disminución del riesgo de incumplimiento del nivel de servicio en 10 puntos porcentuales, con respecto a la decisión 1 (tomada en el apartado anterior) alcanzando un valor de 0.74%. El riesgo de incumplimiento de flujo de caja permanece igual con respecto a la decisión anterior.

Conclusiones

Los resultados obtenidos evidencian la importancia de la administración del riesgo a lo largo de la cadena de abastecimiento; esto se aprecia al observar cómo un riesgo del 62%, de no cumplir con las entregas a los clientes (Tabla 2, nivel de servicio) puede llegar a ser disminuido hasta en 16 puntos porcentuales (a 46%), por medio de la toma de decisiones conjuntas.

También es posible identificar con claridad un efecto trade-off, entre mejorar la atención al cliente y obtener mayores utilidades, al ver cómo al implementar cambios en las bodegas de distribución 1 y 2, se pueden obtener disminuciones en el riesgo de nivel de servicio, pero un aumento muy significativo en el riesgo financiero (ver Tabla 4). A esta misma conclusión se puede llegar observando los signos opuestos que tienen los coeficientes estimados para cada uno de los modelos. ^{S&T}

Referencias bibliográficas

- Agrella, P., Lindroth, R. & Norman, A. (2004). Risk, information and incentives in telecom supply chains. *International Journal of Production Economics*, 90(1), 1-16
- Arenas, F. (2004). Una aproximación a los indicadores de gestión a través de la dinámica de sistemas. *Sistemas y Telemática*, 2(3), 69-81
- Faisal, M.N., Banwet, D.K., Shankar, R. (2007). Management of Risk in Supply Chains: SCOR Approach and Analytic Network Process. *Supply Chain Forum*, 8(2), 66-79
- Gaudenzi, B. & Borghesi, A. (2006). Managing risk in the supply chain using

- AHP method. *International Journal of Logistics Management*, 17(1), 114-136
- Goh, M., Lim, J., & Meng, F. (2007). A stochastic model for risk management in global supply chain networks. *European Journal of Operational Research*, 182, 164-173
- Hallikas, J., Karvonen, I., Pulkkinen, U., Virolainen, V-M., & Tuominen, M. (2004). Risk management processes in supplier networks. *International Journal of Production Economics*, 90(1), 47-58
- He, Y. & Zhang, J. (2008). Random yield risk sharing in a two-level supply chain. *International Journal of Production Economics*, 112(2), 769-781
- Institute of Risk Management [IRM]
- (2002). A risk management standard. Londres, UK: IRM, Alarm, Airmic
- Nagurney, A. & Matsypura, D. (2005). Global supply chain network dynamics with multicriteria decision-making under risk and uncertainty. *Transportation Research*, 41, 585-612
- Waters, D. (2007). Supply chain risk management: vulnerability and resilience in logistics. Londres, UK: Kogan Page
- Xiao, T., Xiangtong, Q., & Yu, G. (2007). Coordination of supply chain after demand disruptions when retailers compete. *International Journal of Production Economics*, 109(1-2), 162-179

Currículum vitae

Felipe Romo

Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi (Cali). Actualmente se encuentra realizando su práctica empresarial en la multinacional inglesa Reckitt Benckiser en el área *Logistics and Distribution*. Recibirá su título como ingeniero en 2013.

Harold Daza

Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi (Cali). Actualmente se encuentra realizando su práctica empresarial en la multinacional inglesa Reckitt Benckiser en el área *Marketing OTC*. Recibirá su título como ingeniero en 2013.

Fernando Antonio Arenas Guerrero

Ph.D(c) en Dirección de Empresas y Estrategia, Universidad de Valencia (España); Ingeniero Químico y Máster en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia (Bogotá D.C.). Cuenta con veinte años de experiencia empresarial en compañías como Croydon S.A., Productos Petroquímicos S.A., Cabot Colombiana S. A. y Rubbermix S.A., desempeñando las gerencias de Investigación y Desarrollo, Producción, Operaciones y Técnica. Docente de postgrado en la Universidad Icesi y la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, y capacitador y asesor empresarial en los campos de: Mapas Estratégicos y Balanced Scorecard, Indicadores de Gestión, Aprendizaje Organizacional, Pensamiento Sistémico, Pensamiento Estratégico, Gestión del Riesgo, Dinámica de Sistemas y Simulación Financiera. Es miembro de la *System Dynamics Society* [SDS] y la *Performance Measurement Association*. Fue conferencista de la SDS en las conferencias internacionales de New York (NY, 2003), Oxford (UK, 2004), Boston (MA, 2005), Washington D.C., (2011) y St. Gallen (Suiza, 2012). Fue asesor de la *Dirección de Crédito Público* y *Tesorería* del Ministerio de Hacienda y del Banco de la República, en el desarrollo e implementación de modelos macroeconómicos y financieros de simulación.