Evaluación económica del impacto de rupturas en la cadena de suministros de Liconsa

Área de investigación: Administración de las operaciones

Juan Gaytán Iniestra
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma del Estado de México.
México.
juangaytan08@gmail.com

María del Pilar Ester Arroyo López
Departamento de Ciencias Administrativas y Mercadotecnia
Escuela de Negocios y Humanidades, Tecnológico de Monterrey campus Toluca.
México
pilar.arroyo@itesm.mx

Sandra Guadalupe López Pacheco
Tec de Monterrey campus Toluca
Interjet México
México.
snady135@gmail.com

XVI Congreso Internacional de Contaduría Administración e Informática

Octubre 5, 6 y 7 de 2011
Ciudad Universitaria
México, D.F.

Evaluación económica del impacto de rupturas en la cadena de suministros de Liconsa

Resumen

Las rupturas en la cadena de suministros ocasionan escasez de productos que no solo representan ventas perdidas sino también deterioro en el servicio al cliente y pérdidas en la participación en el mercado. Las rupturas en la cadena pueden ser generadas por inconvenientes operativos (fallas de equipo o interrupciones en el flujo de materiales) pero también por eventos sociales, políticos y naturales. En particular, México enfrenta fenómenos hidrometeorológicos que afectan el abastecimiento regular de materiales y alimentos, entre estos la leche que distribuye la empresa LICONSA. El desabasto de este producto afecta a familias de bajos recursos, por lo cual es relevante planear por posibles rupturas en su cadena. Dos tipos de escenarios fueron analizados: 1) interrupción en el suministro del insumo básico, leche en polvo, por cierre en los puertos mexicanos receptores y 2) reasignación de las cantidades a producir por incremento adicional en la demanda del producto debido a un fenómeno hidrometeorológico. El análisis de los escenarios se realizó construyendo modelos de flujo en redes que se resolvieron con el programa GAMS. La medida de desempeño utilizada es el costo total adicional incurrido al atender la contingencia; se presentan resultados numéricos y se discuten sus implicaciones.

Palabras clave: Cadena de suministros, rupturas, modelos de flujo en redes, escenarios.

XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE CONTADURÍA ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

Octubre 5, 6 y 7 de 2011
Ciudad Universitaria
México, D.F.

http://congreso.investiga.fca.unam.mx
informacongreso@fca.unam.mx
Teléfonos
52 (55) 5622.84.90
52 (55) 5622.84.80
Fax 52 (55) 5616.03.08

ANFECA
Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración

División de Investigación. Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

Evaluación económica del impacto de rupturas en la cadena de suministros de Liconsa

Introducción

La administración de la cadena de suministros es un área de investigación, en la cual surgen temas nuevos de sumo interés. Entre los más recientes están los que refieren a la seguridad, riesgo y vulnerabilidad de la cadena. El estudio de estas temáticas resulta importante, puesto que las cadenas de suministro actuales constituyen estructuras cada vez más sensibles al riesgo debido a su complejidad (Lewis, Erera y White, 2005). Kleindorfer y Saad (2005) mencionan dos fuentes de riesgo relevantes para la cadena de suministro:

1) El riesgo inherente al problema de coordinar la demanda con la oferta ante cambios de magnitud inesperada en la demanda, disponibilidad de insumos o tiempos de entrega.

2) El riesgo asociado a las interrupciones en las actividades normales de la cadena. Estas interrupciones se deben a riesgos operativos como fallas de equipo, suspensiones en los flujos de materiales y de información o falta de mano de obra capacitada; pero también a eventos del ambiente tales como desastres naturales, sucesos políticos y sociales, y actos terroristas (Rao y Goldsby, 2009).

Históricamente, la vulnerabilidad de la cadena se enfocaba en las interrupciones provocadas por sus integrantes debido a imprevistos operativos, pero más recientemente, se ha reconocido la gran vulnerabilidad de la cadena ante eventos ambientales, especialmente después de los actos terroristas del 11 de septiembre y los daños provocados por eventos hidrometeorológicos, como el huracán Katrina y el reciente tsunami de Japón.

Dentro de los desastres naturales, los fenómenos hidrometeorológicos como huracanes, ciclones, fuertes precipitaciones, maremotos y tsunamis provocan grandes inundaciones que afectan la actividad productiva, provocan el desabasto de algunos productos e incrementan la demanda de otros, tales como los alimentos básicos y medicinas que requieren las poblaciones afectadas. Durante el período de 2002 al 2004 se registró un aumento del 33% en el número de personas afectadas por desastres naturales a nivel mundial, en comparación con el período de 1995 a 1999 (Beamon y Balcik, 2008). En México, las inundaciones son un desastre natural muy frecuente. En el año de 2005, nuestro país ocupó el 7º lugar en la lista mundial de países afectados por desastres naturales, en donde los desbordamientos de ríos provocados por distintas causas, constituyen uno de los mayores riesgos de acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres ([CENAPRED], 2011). Según datos del CENAPRED, en el 2008 un total de 307 municipios de 16 entidades federativas fueron declarados “en desastre” por la Secretaría de Gobernación. 212 de estos municipios fueron declarados en desastre a causa de lluvias, 87 por inundaciones y 26 por ciclones, destinándose una ayuda de 15 mil 893 millones de pesos para atender a la población damnificada.

Cualquier cadena de suministros es vulnerable a eventos naturales, por ello es importante administrar este riesgo ambiental mediante la previsión de posibles rupturas y la búsqueda de alternativas para hacer frente a ellas. Este trabajo eligió como unidad de análisis una cadena de suministros, cuya operación no solamente tiene un propósito económico, sino también social, la de la empresa paraestatal Liconsa S.A. de C.V. Esta empresa distribuye leche subsidiada a

familias de bajos recursos económicos y mediante su enlace con Diconsa surte la leche que forma parte de los paquetes de ayuda distribuidos por el gobierno mexicano a la población afectada por desastres naturales. Las interrupciones en esta cadena tienen por tanto un fuerte impacto social puesto que la población beneficiaria deja de tener acceso a un producto esencial para su alimentación. Por ello, en este trabajo se formuló la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo aprovechar la holgura en los recursos disponibles (capacidad de abasto, producción y almacenaje) y los acuerdos flexibles con proveedores y transportistas para responder rápidamente a las rupturas en la cadena de Liconsa originadas por desastres naturales?

En la siguiente sección se presenta la revisión de la literatura sobre el tema de riesgo y rupturas en la cadena de suministros, en la cual se establecen los objetivos de investigación. En el apartado destinado a describir la metodología se explica el proceso de obtención de datos y mapeo de la cadena de Liconsa, así como los escenarios de ruptura. La cuarta sección muestra los modelos de flujo en redes sobre los cuales se analizaron alternativas para satisfacer la demanda en caso de rupturas. En esta misma sección, también se proporciona solución a estos modelos y se evalúan las alternativas de prevención que se identificaron. En la última sección, se establecen conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis de los escenarios propuestos.

Marco teórico

Para administrar el riesgo en la cadena de suministros, Kleindorfer y Saad (2005) indican que es necesario *identificar* su naturaleza y orígenes (¿qué procesos, entidades, vínculos o regiones son más riesgosas y por qué?); *evaluar* su efecto (impacto económico, duración de la interrupción, pérdida en eficiencia, imagen o participación de mercado); y finalmente elaborar planes de contingencia para *atenuar* su efecto, para los cuales hay que trabajar en colaboración con socios críticos y considerar la estructura de la cadena y su ambiente de negocios. Por su parte, Christopher y Peck (2004) discuten cualitativamente cómo diseñar una cadena robusta o resistente al riesgo. Para estos autores, la identificación de las fuentes de riesgo y la mejora en visibilidad son los elementos fundamentales para mitigar el riesgo.

Kleindorfer y Saad (2005) identifican una serie de principios en que se fundamentan las tres actividades de administración del riesgo -identificación, evaluación y atenuación- entre ellos destacan los siguientes:

a) Diversificación en instalaciones, productos, servicios, fuentes de abasto, modos de operación y proceso.

b) Prevenir más que corregir. Invertir en la identificación y evaluación de vulnerabilidades y construir escenarios que permitan responder efectivamente ante el peor escenario.

c) Crear respaldos ya sea en términos de sistemas de soporte, planes de contingencia, capacidad o inventario de seguridad, ya que una cadena demasiado “plana” (*lean chain* en inglés) o con un enfoque excesivo en la eficiencia puede ser más vulnerable.

d) Colaboración con socios críticos para aumentar la visibilidad de riesgos potenciales. Este principio enfatiza la necesidad de prepararse para responder a posibles interrupciones no desde la perspectiva de la empresa aislada, sino como cadena o sistema, ofreciendo incentivos para aquellos integrantes que participan en el incremento de la seguridad.

e) Aplicación de los principios de calidad total para desarrollar medidas y procedimientos estandarizados para evaluar y auditar la seguridad.

f) Mayor uso de tecnologías como identificación por radiofrecuencia (RFID) y sistemas de rastreo para la carga, así como tecnologías de información y comunicación (celulares, *handheld scanners*, *tablet PCs*) que coadyuven a que la transferencia de información sea más rápida, efectiva y segura.

Tomando como referencia los principios anteriores, las estrategias disponibles para contar con una cadena más robusta o resistente al riesgo, se resumen en:

1) el re-diseño del producto, que incluye desde el uso de materiales y procesos más seguros hasta la modularidad (producir los bienes en módulos para lograr flexibilidad) aparte de un control de calidad más estricto tanto de insumos, como productos terminados.

2) el re-diseño de la cadena ya sea al re-ubicar instalaciones en zonas más seguras o al crear respaldos en inventarios, capacidad, proveedores e instalaciones; aparte de la identificación y apertura de canales alternos para re-direccionar flujos de producto o información.

3) un buen control operativo que permita una rápida respuesta ante la interrupción. Un ejemplo de este último tipo de estrategia es el uso de tecnologías de información y comunicación que permitan una oportuna detección (mayor visibilidad) del incremento notable en la demanda y la colocación inmediata de un pedido extra a proveedores o almacenes para cubrir la demanda excedente (ej. *point of sale* software)

Las rupturas en la cadena, ya sean resultado de riesgos operativos o bien de eventos sociales, políticos y del ambiente de negocios, tienen consecuencias tanto a nivel táctico (ej. pérdida en ventas) como estratégico (ej. deterioro en la imagen empresarial). Chopra, Reinhardt y Mohan (2005) comparan la incertidumbre que el riesgo introduce en la cadena y reconocen que los eventos que afectan la variabilidad en actividades rutinarias - como el que un proveedor no surta la cantidad completa de un producto a tiempo - producen un efecto diferente en la cadena respecto de interrupciones catastróficas como el daño permanente a una planta fabricante que requieren otro tipo de esquemas de prevención. A partir del contraste entre las consecuencias tácticas y operativas, Visnawanadham y Gaonkar (2008) clasifican más detalladamente las interrupciones en la cadena en términos de la magnitud en la incertidumbre que cada una implica. La clasificación que sugieren estos autores reconoce que en la cadena pueden ocurrir desviaciones, rupturas y desastres; la Tabla 1 describe cada categoría indicando sus principales consecuencias y orígenes.

Tabla 1. Categorías de rupturas en la cadena según su nivel de incertidumbre

Tipo de ruptura	Descripción	Orígenes
	Discrepancia en uno o más parámetros (tiempo de entrega, demanda o costos) respecto de los estimados/pronosticados Resulta en retrasos, ajustes y escasez temporales más deterioro transitorio en el servicio al cliente (consecuencias desde	Paros temporales de línea por parte de los trabajadores o debido a fallas en el equipo Falta de capacidad de los proveedores para abastecer volúmenes extra de material Incremento transitorio en la

XVI Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática
Octubre 5, 6 y 7 de 2011
Ciudad Universitaria, México
http://congreso.investiga.fca.unam.mx
informacongreso@fca.unam.mx
Teléfonos 52 (55) 5622.84.90
52 (55) 5622.84.80
Fax 52 (55) 5616.03.08
División de Investigación, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

Desviaciones	operativas a tácticas según magnitud)	demanda de bienes básicos destinados a apoyo humanitario Bloqueo esporádico de sistemas de información y/o de rutas de transporte Mal pronóstico de demanda
Interrupciones	Modificaciones o rupturas en la estructura de la cadena por indisponibilidad de algún recurso. Hay interrupciones en producción, en las vías de transporte o en las fuentes de proveeduría Provoca escasez en productos, ventas pérdidas y deterioro en servicio al cliente (consecuencias tácticas)	Variaciones en la calidad del producto Ausencia de trabajadores debido a pandemias o reclutamiento pobre Reducción de la capacidad de distribución Bancarrota de alguna de las entidades de la cadena Escasez del producto por contaminación, daño o robo Variaciones en las regulaciones para el traslado de carga Cierre de puertos o vías de transporte por eventos naturales
Desastres	Alteración irrecuperable de la cadena debido a catástrofes imprevistas Conlleva escasez de largo plazo en productos, cambios en la estructura de la cadena, pérdida de imagen y de la participación en el mercado (consecuencias estratégicas)	Ataques terroristas Inestabilidad política Eventos naturales desastrosos (terremotos, tsunamis, tornados) Disturbios civiles, políticos y sociales Guerras Crisis económica del país

Varios autores han hecho propuestas para abatir el efecto de los diversos tipos de rupturas. Por ejemplo Tomlin (2006) consideró el caso de una cadena con dos proveedores directos: uno confiable y flexible pero con capacidad limitada y el otro no-confiable e inflexible pero con precios bajos y capacidad ilimitada. Bajo estas condiciones, el autor analizó la estrategia de protección más adecuada ante posibles desviaciones en los tiempos de entrega y encontró que lo más conveniente es aplicar una estrategia única: ya sea surtirse de un único proveedor (el más flexible) o mantener inventario de seguridad. Tomlin y Snyder (2006) extendieron esta propuesta considerando que las desviaciones pueden ser estocásticas; en este caso lo más conveniente fue ajustar el nivel de inventario dependiendo del valor esperado de la desviación, lo cual requiere contar con un sistema de información que permita estimar cuál será su duración.

Para administrar el riesgo de interrupciones, Menezes, Berman y Krass (2003) consideraron que los clientes afectados podrían viajar a otras instalaciones para recibir el servicio que ya no está disponible en su agencia más cercana. Snyder y Daskin (2005) extendieron esta idea y propusieron asignar a los clientes a una jerarquía de instalaciones; usando modelos de localización de la mediana-p y cargo fijo, seleccionaron instalaciones a donde los clientes son reasignados a un costo mínimo. Dávila-Payan y Swann (2009) analizaron el efecto de las interrupciones en una cadena de suministros de alimentos debido a una epidemia de influenza que imposibilite a la fuerza laboral. El problema se modeló como uno de flujo en redes, los nodos fueron las entidades en la cadena y los arcos sus conexiones. Cuando la capacidad de un nodo se reduce hasta suspender el flujo del producto, el flujo se descarta hacia un nodo virtual con un

XV Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática
Octubre 5 al 7 de 2011
Ciudad Universitaria
México, D.F.
http://congresos.fca.unam.mx
informacongresos@fca.unam.mx
Teléfonos 52 (55) 5622.84.90
52 (55) 5622.84.80
Fax 52 (55) 5616.03.08
División de Investigación, Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

costo muy alto, lo que torna preferible utilizar los arcos regulares hasta agotar la capacidad disponible o bien mantener el producto en inventario hasta el siguiente período, siempre que esto sea viable puesto que el producto es perecedero. A través de simulaciones en las que se varió el porcentaje de la fuerza laboral ausente y la duración de la pandemia, se estimó el monto de la demanda insatisfecha y se propuso el diseño de políticas combinadas "cantidad de inventario /capacidad adicional" para reducir el volumen de demanda no cubierta.

Todos los integrantes y actividades en la cadena están sujetos a riesgo, pero el transporte de bienes siempre conlleva un riesgo inherente bien reconocido. Las rupturas en la cadena asociadas al riesgo en el transporte incluyen el robo de productos, daños que puede sufrir el material durante su traslado, bloqueo de las vías de transporte y congestión de sitios de trasbordo (ej. cruces fronterizos). Entre los autores que han abordado la problemática de interrupciones asociadas al transporte están Lewis et al. (2005) quienes propusieron un modelo para determinar el impacto del cierre temporal de un puerto marítimo asumiendo que el proveedor surte la orden de manera inmediata, pero que ésta llega al puerto luego de L períodos. A través de un proceso Markoviano, los autores evaluaron los costos de mantener inventario de seguridad para diferentes duraciones del cierre, así como los costos potenciales en que incurrirían las empresas debido a la interrupción en el flujo de producto.

Para el caso de rupturas en la cadena calificadas como desastres, autores como Motter y Lai (2004) utilizaron la propiedad de re-distribución del flujo en redes para mostrar que un ataque intencional desencadena una serie de fallas que pueden llevar al colapso de una parte o incluso de todo el sistema que representa la cadena de suministros. Para mitigar estos efectos en cascada, Latora y Marchiori (2005) desarrollaron un modelo para identificar los componentes críticos de la red y concluyeron que lo más importante es introducir seguridad adicional en nodos y conexiones. Siguiendo esta idea, Costa (2004) argumenta que la creación de redundancias hace más robusta la red inicial; lo que en el contexto de la cadena de suministros implicaría tener capacidad de respaldo o aumentar el inventario de seguridad en ciertos puntos. Liu (2009) desarrolló un modelo analítico para balancear los costos de inventario y capacidad de protección, con el costo de ventas perdidas ante desastres derivados de fallas catastróficas en la red de proveeduría. La solución del modelo propuesto indicó que cuando solamente hay protección por inventario, la mejor política es mantener inventario en no más de uno de los nodos de conexión entre productor y cliente. Mientras que si hay respaldo en la red de proveedores, la política óptima es usar la capacidad de respaldo de máximo un nodo de proveeduría. Otros autores, como Wagner y Bode (2008) proponen cambiar a los proveedores inestables para reducir el riesgo de ruptura por falla en el abasto, así como reubicar las instalaciones manufactureras en regiones más seguras.

Los mecanismos de amortiguación del riesgo – capacidad e inventario de respaldo - son los que este trabajo consideró como estrategias viables para administrar posibles interrupciones en el abasto de insumos o desviaciones en la demanda del producto final en el caso de una cadena como la de Liconsa, la cual cuenta con: 1) abasto de holgura en términos de la cantidad de leche en polvo que pueden surtir sus proveedores internacionales; 2) capacidad adicional de almacenaje y 3) capacidad de producción extra. El objetivo del trabajo fue mostrar como esta capacidad de holgura en varios de los nodos puede ser utilizada efectivamente para administrar las interrupciones en la cadena, sin incrementar en forma notable los costos. Para llevar a cabo el análisis de rupturas potenciales, la cadena de Liconsa se representó como una red a través de la

cual fluye la leche en polvo requerida para producir la leche hidratada, fortificada y debidamente envasada que se traslada de las plantas a los expendios de Liconsa en donde la población la adquiere directamente. Una vez construida la red, se buscó identificar las mejores alternativas para nuevas conexiones que mantuvieran el flujo en la red mediante la formulación de modelos de optimización que se resolvieron con técnicas de flujo en redes.

Metodología

La primera fase de la metodología se enfocó al mapeo de la cadena de suministros de Liconsa S. A. de C.V. Para elaborar tal mapa, se recopiló la siguiente información: monto de insumo básico (leche en polvo) que ingresa al país y cantidad de leche que se distribuye a través de las tiendas Liconsa por región (Centro, Golfo y Pacífico); entidades que participan en esta cadena directa, esto es localización y número de proveedores, fábricas y centros de distribución; capacidades de plantas productoras y centros de distribución y almacenaje; costos de producción, venta y costos del transporte marítimo y terrestre para el producto. La mayor parte de la información fue proporcionada directamente por Liconsa a través de sus diferentes oficinas y del IFAI (Instituto Federal de Acceso a la Información y Protección de Datos), y a petición de los autores de este trabajo.

La información sobre costos de transporte se obtuvo de fuentes secundarias, específicamente de empresas transportistas y navieras, quienes proporcionaron los datos de costo de transporte por contenedor estándar ya sea por kilómetro o milla náutica. Una vez que se tuvo la lista de puertos o cruces fronterizos por los que ingresa la leche en polvo importada así como la ubicación de los centros de distribución y plantas productoras, se calcularon las distancias entre entidades para así estimar los costos totales de transporte. Los costos de inventario y almacenaje se estimaron en 25% del costo del producto, porcentaje generalmente aplicado para formular políticas de inventario. Se asumió que la producción actual de leche cubre totalmente una demanda mensual objetivo (los datos proporcionados avalan este supuesto) por lo que si se incrementa la producción es para responder a una desviación en la demanda y no para atender demanda regular insatisfecha.

La siguiente etapa de la metodología fue la construcción de escenarios que resultan en interrupciones en la cadena debido a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos, en particular ciclones, huracanes e inundaciones que de acuerdo con las estadísticas son los eventos naturales que con mayor frecuencia provocan desastres en México (World Bank, 2011). Los escenarios planteados fueron:

I. *Interrupciones* en el flujo del insumo básico de la cadena debido al cierre temporal de los puertos de acceso o cruces fronterizos por los cuales ingresa la leche en polvo que abastecen productores extranjeros ubicados en Nueva Zelanda, Sudamérica y Estados Unidos de América. Para abatir estas interrupciones se propuso como alternativa re-direccionar el flujo de leche en polvo a puertos o cruces fronterizos cercanos, se procuró que la opción elegida represente el menor costo adicional para la empresa.

II. *Desviaciones* en la demanda debido a la necesidad de producir un volumen adicional de leche destinada a distribuirse entre la población afectada por ciclones, inundaciones o huracanes como parte de la ayuda que el gobierno ofrece a las comunidades que sufrieron el efecto de tales desastres naturales. Para cubrir la desviación en demanda, la propuesta fue utilizar la capacidad

excedente de las plantas productoras más cercanas a la zona afectada y se asignó la producción adicional a las plantas disponibles al menor costo posible.

En el análisis de los escenarios anteriores, se aplicaron los siguientes supuestos, los cuales son viables dada la estructura actual de la cadena de Liconsa:

1) La administración de las interrupciones y desviaciones se realiza a nivel cadena, es decir que las decisiones en cuanto a cuáles son las vías de comunicación más convenientes para recibir el insumo o remitirlo a los centros de distribución, así como cuáles plantas producirán la leche requerida para cubrir una demanda extraordinaria están centralizadas.

2) Los acuerdos actuales con transportistas son flexibles, por lo cual si durante el tránsito del producto es necesario re-direccionarlo a otro destino, no se aplica un cargo adicional, el costo extra corresponde a la distancia suplementaria hacia el nuevo destino. Se asume además, que los costos de carga/descarga son iguales en el nuevo destino.

3) La empresa responsable de la distribución de embarques de Liconsa, Intrans Intermodal S.A. de C.V. ha establecido convenios que le permiten ingresar producto a través de cualquier puerto mexicano, con un tiempo suficiente para efectuar un cambio rápido en la ruta hacia el nuevo destino.

4) Los proveedores tienen una capacidad de producción ilimitada por lo que pueden surtir cantidades extra de leche en polvo de manera inmediata; el tiempo que tardan estos pedidos extraordinarios para llegar al puerto es el mismo que para las órdenes regulares.

En la tercera fase de la metodología se construyeron modelos de flujo en redes a costo mínimo. En tales modelos, los escenarios tipo I evalúan el costo de mover el producto a través de nodos de conexión nuevos que van del proveedor a puertos alternos. En el caso del producto importado de Nueva Zelanda, si Lázaro Cárdenas está cerrado, los puertos alternativos fueron Manzanillo, Col. y Salina Cruz, Oax. Para cierre en Veracruz, los puertos alternativos fueron Altamira y Tampico en Tamaulipas. Finalmente para cierre del cruce fronterizo de Nuevo Laredo, las opciones evaluadas de re-direccionamiento fueron los cruces de Colombia, N. L., Nuevo Progreso o Reynosa, Tamps. y Piedras Negras, Coah. Dados los contratos actuales de Liconsa con su transportista, no hay un costo de penalización por cambio del lugar destino, por lo cual el incremento en precio del transporte depende únicamente de la nueva distancia. Estos escenarios está en línea con lo sugerido por Matas (1991) quien argumenta que para prevenir el riesgo del transporte lo más conveniente es evaluar diferentes alternativas y tenerlas disponibles como respaldo.

En cuanto a los escenarios tipo II, cuyo propósito fue mostrar la ventaja de contar con capacidad excedente en plantas en caso de demanda extraordinaria, se identificaron aquellas plantas por región, que en un momento dado podrían producir la cantidad adicional requerida. Por ejemplo, en caso de un evento hidrometeorológico que requiera distribuir paquetes de ayuda en la zona del Pacífico, las plantas que podrían cubrir la demanda adicional son las de Oaxaca, Guadalajara, Jiquilpan o Colima. Para este tipo de escenario, el modelo de flujo en redes a costo mínimo incluye flujos externos de holgura los cuales permiten modelar la capacidad adicional; bajo estos escenarios, para balancear el flujo extra solicitado por las plantas es necesario que los almacenes mantengan un inventario adicional el cual se concentra en un nodo artificial. La cantidad de leche en polvo que constituye este inventario adicional se puede solicitar a los proveedores

periódicamente durante la temporada de huracanes, la cual está bien definida para México (World Bank, 2011). El análisis se limitó a evaluar hasta donde la capacidad excedente de almacenes y plantas es suficiente para cubrir una demanda extraordinaria sin cargo adicional por mano de obra o arranque de maquinaria. La cantidad adicional demandada se propuso como el mín{capacidad instalada para todas las plantas productoras, doble de la demanda regular}. La demanda extraordinaria se estableció como el doble de la demanda regular debido a que en casos de desastres, la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) solicita de manera preventiva tener un respaldo de producto equivalente a la demanda mensual.

La última fase de la metodología fue resolver los modelos construidos, para ello se empleó el sistema de modelado de alto nivel para optimización y programación matemática GAMS (General Algebraic Modelling System [GAMS], 2011) el cual tiene las cualidades idóneas para resolver problemas de alta complejidad y modelos de gran escala. La solución a los modelos indica en el caso de los escenarios tipo I el nodo alternativo al cual remitir el insumo de importación, así como el almacén a través del cual conviene hacer la distribución hacia plantas tal que se minimice el costo total del transporte. Para los escenarios tipo II, el modelo determina la cantidad adicional de leche que deberán producir cada una de las plantas más cercanas a la zona afectada por un desastre natural, así como el almacén que mantendrá el inventario adicional de leche en polvo que requieren las plantas.

Descripción de la unidad de análisis

Liconsa se define como "una empresa de participación estatal mayoritaria que industrializa y distribuye leche de alta calidad, a un precio accesible, en apoyo de la alimentación y nutrición a los beneficiarios de familias en condiciones de pobreza patrimonial, para contribuir al desarrollo de capital humano" (Liconsa, 2011). En promedio, Liconsa distribuye 1,150 millones de leche al año, que beneficia aproximadamente a seis millones de personas (Liconsa, 2011). La empresa también produce la leche que se integra a los paquetes de ayuda humanitaria que se distribuye en zonas afectadas por desastres naturales.

La cadena de suministros básica de Liconsa tiene como integrantes iniciales a sus proveedores internacionales ubicados en Nueva Zelanda (proveedor mayoritario), Argentina y Uruguay (abasto de Sudamérica) y Estados Unidos (proveedor ubicado en Wisconsin). Estos proveedores remiten su producto hacia los puertos de Lázaro Cárdenas en Michoacán (origen Auckland, Nueva Zelanda) o Veracruz (el origen es Bahía Blanca en Argentina, pero la carga se completa en Montevideo). La leche en polvo importada de Estados Unidos de América (EUA) ingresa vía terrestre por el cruce fronterizo de Nuevo Laredo, Tamps. El segundo eslabón de la cadena son los dos almacenes ubicados en Valle de Chalco y Delegación Azcapotzalco del D.F., Tláhuac y Mercader, éste último es administrado por una tercera parte. El siguiente eslabón de la cadena son las diez plantas Liconsa ubicadas alrededor de la República Mexicana, las cuales distribuyen el producto a los DIF, que lo integran a sus paquetes de desayuno, así como a los expendios Liconsa localizados en su zona de cobertura correspondiente: Pacífico, Centro y Golfo. La estructura actual de la cadena de suministros de Liconsa se muestra en la Figura 1.

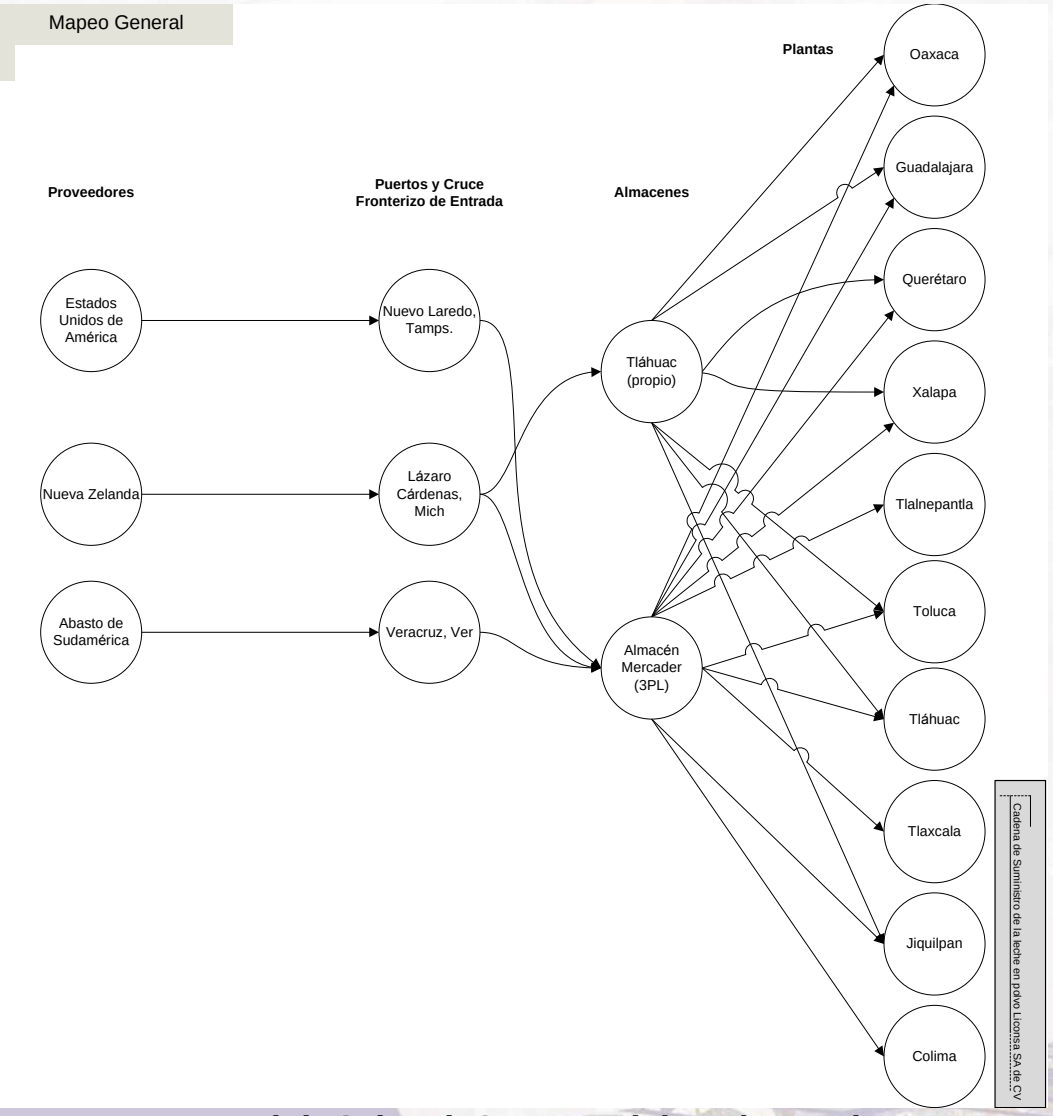

Figura 1. Mapeo de la Cadena de Suministro de la Leche en Polvo Liconsa

Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada por Liconsa S.A. de C.V.

La cadena Liconsa descrita en el diagrama anterior se construyó utilizando los conceptos de teoría de gráficas. Se definió la gráfica $G=(N,A)$ la cual consta de un conjunto finito de nodos $N = N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4$ donde $N_1=\{1,\ldots,m_1\}$, $N_2=\{1,\ldots,m_2\}$, $N_3=\{1,\ldots,m_3\}$, $N_4=\{1,\ldots,m_1\}$, representan a los proveedores, puertos, almacenes y plantas, respectivamente; y de un conjunto de arcos dirigidos $A = A_1 \cup A_2 \cup A_3$ tales que $A_1 = \{(i,j) : i \in N_1, j \in N_2\}$, $A_2 = \{(i,j) : i \in N_2, j \in N_3\}$, $A_3 = \{(i,j) : i \in N_3, j \in N_4\}$ describen respectivamente las ligas entre proveedores y puertos (modo marítimo), puertos y almacenes (modo terrestre, camión), almacenes y plantas (modo terrestre, camión).

Resultados y Discusión

La solución a los modelos de optimización construidos, permitió el análisis de los escenarios propuestos. Tales escenarios implican modificaciones a la red descrita en la Figura 1, ya sea por

suspensión del flujo hacia un nodo (escenario tipo I) o porque las plantas requieren de un flujo adicional de insumo para cubrir la demanda extraordinaria (escenario tipo II). Para cada caso de interrupción ó desviación se construyó el modelo de optimización asociado. Por restricciones de espacio en este documento, a continuación se describe el modelo de un caso particular para los dos tipos de escenarios.

1. Modelo del escenario tipo I: Caso cierre del puerto de Veracruz.

Supuestos: Se cierra Veracruz con la opción de remitir los embarques de leche en polvo a los puertos alternos de Tampico y Altamira en Tamaulipas. Las variables de decisión son x_{ij}, y_{jk}, w_{kl} que indican las cantidades (en miles de toneladas) de producto enviado por los proveedores a los puertos candidatos, desde estos puertos hacia los almacenes y finalmente de éstos a las plantas.

Los parámetros son: los costos de transporte por cada mil toneladas y por kilómetro recorrido de envío de productos entre los diferentes arcos ($C_{1ij}, C_{2jk}, C_{3kl}$); la capacidad de los proveedores (en miles de toneladas) (a_i) y la demanda de cada planta (en miles de toneladas) (D_l). El modelo formulado es el siguiente:

$$Min \sum_{i \in N_1} \sum_{j \in N_2} C_{1ij} d_{1ij} x_{ij} + \sum_{j \in N_2} \sum_{k \in N_3} C_{2jk} d_{2jk} y_{jk} + \sum_{k \in N_3} \sum_{l \in N_4} C_{3kl} d_{3jl} w_{kl} \qquad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in N_2} x_{ij} \leq a_i, i \in N_1 \qquad (2)$$

$$\sum_{k \in N_3} y_{jk} - \sum_{i \in N_1} x_{ij} = 0, \forall j \in N_2 \qquad (3)$$

$$\sum_{l \in N_4} w_{kl} - \sum_{j \in N_2} y_{jk} = 0, \forall k \in N_3 \qquad (4)$$

$$\sum_{k \in N_3} w_{kl} = D_l, \forall l \in N_4 \qquad (5)$$

$$x_{ij}, y_{jk}, w_{kj} \geq 0 \forall i, j, k, l \qquad (6)$$

La expresión (1) representa los costos totales del transporte para los tres grupos de arcos. La capacidad de abasto de leche (miles de toneladas) de cada proveedor está representada en (2), mientras las expresiones (3) y (4) indican la conservación de flujo en los puertos y almacenes, respectivamente. La satisfacción de la demanda está garantizada por (5) y las condiciones (6) aseguran que no existen flujos negativos en la red.

2. Modelo del escenario tipo II: Caso demanda extraordinaria en la zona Pacífico

Supuestos: Debido a un fenómeno hidrometeorológico que ocurre en el Pacífico medio de la República Mexicana, se genera una demanda extraordinaria, la leche producida se distribuirá entre la población afectada. Las plantas más próximas son las opciones para producir este excedente, en este caso son: Jiquilpan, Colima, Guadalajara y Oaxaca. Dado que existe capacidad extra en todas las plantas, los costos de producción se mantienen iguales y únicamente se incurre en costos de almacenamiento.

La modelación de este caso requiere modificar la estructura del modelo anterior agregando variables (I_k) (en miles de toneladas) para representar los inventarios de producto en los almacenes de las cuatro plantas mencionadas; el costo que corresponde al almacenamiento por unidad y por mes está dado por (h_k). Los costos de producción en las plantas (por cada mil toneladas) que atienden la demanda adicional son iguales a C_l, los cuales se multiplican sólo por las cantidades adicionales a producir (DE_l) en cada una de las cuatro plantas. Por facilidad de notación, los costos de producción en las plantas a quienes no se les solicita demanda extraordinaria se asumen como cero. Es necesario también agregar una restricción que garantice no exceder la capacidad (Cap_k) de los almacenes para mantener el inventario adicional de leche en polvo que procesarán las plantas. El modelo queda entonces como sigue:

$$Min \sum_{i \in N_1} \sum_{j \in N_2} C_{1ij} d_{1ij} x_{ij} + \sum_{j \in N_2} \sum_{k \in N_3} C_{2jk} d_{2jk} y_{jk} + \sum_{k \in N_3} \sum_{l \in N_4} C_{3kl} d_{3jl} w_{kl} + \sum_{k \in N_3} h_k I_k + \sum_{l \in N_4} C_l DE_l \qquad (1')$$

Sujeto a: (1), (2)

$$\sum_{l \in N_4} w_{kl} - \sum_{j \in N_2} y_{jk} = I_k, \forall k \in N_3 \qquad (3')$$

$$\sum_{k \in N_3} w_{kl} = D_l + DE_l, \forall l \in N_4 \qquad (4')$$

$$I_k \leq Cap_k, \forall k \in N_3 \qquad (5')$$

$$x_{ij}, y_{jk}, w_{kj}, I_k, DE_l \geq 0 \ \forall i, j, k, l \qquad (6)$$

La función objetivo (1´) incluye, además de los costos de producción debido a la demanda extraordinaria (quinto término), los costos de transporte (primeros tres términos) y de almacenamiento (cuarto término). Las restricciones (3´) aseguran que se contará con producto adicional en los almacenes para cubrir la demanda extraordinaria. Esta demanda adicional es considerada en las restricciones (4´). Las restricciones de capacidad en los almacenes son consideradas en (5´). Finalmente, la no negatividad de las variables es indicada por (6´).

Los modelos fueron resueltos usando el programa GAMS, el cual permite representar convenientemente la estructura de los modelos de optimización y dispone de una serie de "solvers" específicos para cada tipo de modelo. En esta investigación se usó GAMS-Cplex ya que Cplex permite aprovechar la estructura de flujo en redes de los modelos.

La tabla 2 describe las repercusiones económicas de re-direccionar los embarques de leche en polvo al mejor puerto o cruce fronterizo disponible si se cierra el punto regular de ingreso. Como se aprecia de las entradas de la tabla, el costo adicional por re-direccionar los envíos a otros puntos de entrada es bajo (columna 3) en referencia al costo actual de operación de la cadena, estimado en $829 millones de pesos según los datos proporcionados por Liconsa. Para este caso específico de escenario tipo I, Tampico representa una mejor alternativa para el ingreso de leche en polvo proveniente de Sudamérica que el actual puerto de Veracruz. En la solución proporcionada por GAMS, la mejor opción fue remitir todos los embarques recibidos hacia el almacén Mercader y de ahí distribuir la leche en polvo a las plantas productoras. En los tres casos

de interrupción del flujo en los nodos de ingreso, el almacén Tláhuac fue eliminado de la red, se obtuvo el mejor costo con sólo el almacén Mercader en operación. Por ello, se sugiere que Tláhuac sea únicamente un almacén de respaldo para atender aquellos casos en que sea necesario mantener un inventario adicional para cubrir una demanda extraordinaria (ver discusión más adelante para este tipo de escenario).

Tabla 2. Costos del re-direccionamiento de leche en polvo a nuevos nodos

Nodo con flujo interrumpido	Nodo alternativo para envío del embarque	Costo de re-direccionamiento (millones de pesos)	% de incremento (base = $ 829 millones)
Puerto de Veracruz	Tampico, Tamps.	833	-0.72 %
Lázaro Cárdenas	Salina Cruz, Oax.	840	0.12 %
Nuevo Laredo	Colombia, N. L.	920	9.65 %

Nota.- Los datos monetarios están redondeados por conveniencia en su presentación

La tabla 3 muestra el efecto que las interrupciones en el flujo de leche en polvo tienen sobre la empresa en términos de demanda insatisfecha en el caso del cierre del puerto indicado en la primera columna. Las entradas de la tabla corresponden al volumen de leche que no podría distribuirse para diferentes duraciones del cierre del puerto o cruce fronterizo. El valor monetario que se muestra, más que un estimado de ventas perdidas representa el costo social asociado a la falta de disponibilidad del producto. La población que se beneficia al adquirir la leche de Liconsa tendría que incurrir en un gasto adicional igual al mostrado en paréntesis para comprar el producto comercial, el cual en promedio cuesta $12.50/l. mientras el precio de un litro de leche Liconsa es de $4.00. La diferencia de $ 8.50 por la cantidad de leche que Liconsa no produce, da un estimado del costo social en que se incurre si no se toma la decisión de re-direccionar el flujo de la leche en polvo de importación.

Tabla 3. Demanda no satisfecha por interrupción en nodos de entrada del insumo

Nodo con flujo interrumpido	Duración de la interrupción (días)		
	1	3	5
Puerto de Veracruz	1,115,524,972 l. ($ 9,482 millones)	3,346,547,916 l. ($ 28,455 millones)	5,577,624,860 l. ($47,410 millones)
Lázaro Cárdenas	2,832,820,286 l. ($24,079 millones)	8,498,460,857 l. ($72,237 millones)	14,164,101,428 l. ($120,395 millones)
Nuevo Laredo	2,227,341,417 l. ($18,932 millones)	6,682,024,250 l. ($56,797 millones	11,136,707,083 l. ($94,700 millones)

Nota.- Los datos monetarios están redondeados por conveniencia en su presentación

La tabla 4 describe los resultados económicos asociados a los escenarios tipo II. La segunda columna muestra la demanda extraordinaria máxima que podría cubrirse gracias al excedente de capacidad que actualmente tienen las plantas productoras de Liconsa. No se consideraron costos adicionales por uso de esta capacidad excedente, por tanto el costo de producción en que incurre Liconsa - estimado en $ 5.00/l. considerando que Liconsa paga 4.50 $/l. a los ganaderos por la leche bronca- es el mismo que se aplica para producir la demanda regular. Al comparar estos costos (columna 3) con los correspondientes al costo de la leche comercial (columna 4), el costo adicional sería de un 150% lo cual evidencia la ventaja de que sea Liconsa quien produzca la leche requerida para incluir en los paquetes de ayuda humanitaria que se distribuyen entre la población afectada por desastres naturales.

Tabla 4. Costos de cubrir desviaciones en demanda con capacidad de respaldo

Zona afectada	Demanda extraordinaria (millones de litros)	Costo Liconsa (millones de pesos)	Costo comercial (millones de pesos)	Costo extra (millones de pesos)
Centro	76,367	381,835	954,590	572,755
Pacífico	77,842	389,210	973,025	583,815
Golfo	21,700	108,500	271,250	162,750

Nota.- Los datos monetarios están redondeados por conveniencia en su presentación

Conclusiones y Recomendaciones

La complejidad de las cadenas de suministro actuales y el incremento en el riesgo de rupturas en la cadena hace necesaria la identificación, evaluación y diseño de estrategias de atenuación del impacto de posibles rupturas. Puesto que las rupturas son de varios tipos – desviaciones, interrupciones y desastres - su efecto en las operaciones de la cadena varía considerablemente requiriendo por tanto distintas medidas de prevención. Entre las diversas estrategias para administración de las rupturas, se identificaron tres relevantes para manejar efectivamente tanto desviaciones como interrupciones: 1) Selección de proveedores y terceras partes a cargo del transporte y de los flujos de información no exclusivamente en términos de precio, sino de su flexibilidad para cubrir órdenes extraordinarias, los términos de los contratos, la seguridad ofrecida y su disposición para la colaboración; 2) Identificación de rutas y centros de transbordo alternos que puedan utilizarse en caso de cierres temporales y 3) Disponibilidad de respaldos ya sea en términos de capacidad excedente en plantas productoras y centros de almacenaje o en inventario de seguridad adicional. Todas estas estrategias asumen una administración orientada a la prevención, en la cual la holgura en capacidad (de almacenaje y producción) se visualiza no como un gasto adicional o recurso superfluo sino como un respaldo esencial para responder a contingencias.

La conveniencia de las estrategias anteriores se demostró para el caso de la cadena de suministros de la empresa Liconsa S. A. de C. V. Los acuerdos flexibles, la capacidad de producción casi ilimitada de sus proveedores y la amplia cobertura de las rutas de los transportistas permiten a Liconsa solicitar insumos adicionales para cubrir desviaciones en la demanda así como re-direccionar fácilmente los envíos de leche en polvo cuando los sitios regulares para su ingreso

están bloqueados temporalmente. Estas alternativas evitan el desabasto y el costo social asociado, sin incurrir en gastos superiores al 10% del costo normal de operación. Por otra parte, la capacidad excedente en plantas productoras y centros de distribución es un “buffer” importante que permite a la empresa cubrir una demanda extraordinaria. Sin esta capacidad de holgura, el costo de proporcionar leche a las comunidades afectadas por desastres naturales, se incrementaría considerablemente.

XVI Congreso Internacional de Contaduría Administración e Informática

Octubre 5, 6 y 7 de 2011
Ciudad Universitaria
México, D.F.

http://congreso.investiga.fca.unam.mx
informacongreso@fca.unam.mx
Teléfonos
52 (55) 5622.84.90
52 (55) 5622.84.80
Fax 52 (55) 5616.03.08

ANFECA
Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración

División de Investigación. Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

Referencias

Beamon, B.M. y Balcik, B. (2008). Performance measurement in humanitarian relief chains. *International Journal of Public Sector Management*, *21* (1), 4-25.

Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2011). *Atlas Nacional de Riesgos*. Recuperado 7 de Junio, 2011 de http://atl.cenapred.unam.mx/metadataexplorer/index.html.

Christopher, M. y Peck, H. (2004). Building the Resilient Supply Chain. *International Journal of Logistics Management, 15* (2), 1-13.

Chopra, S., Reinhardt G. y Mohan, U. (2005). *The effect of supply chain disruption on supplier use* (Working paper). Evanston, Ill: Northwestern University.

Costa, L., (2004). Reinforcing the resilence of complex networks. *Physical Review Letters, 69*, 066127.

Dávila-Payan y Swann, J. (2009). *Supply chain disruptions during a pandemic flu* (Technical report). Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology.

GAMS Development Corporation (2011). *An introduction to GAMS*. Recuperado el 13 de Marzo, 2011 de www.gams.com.

Kleindorfer, P. R. y Saad, G. H. (2005). Managing disruption risks in supply chains. *Production and Operations Management*, *14* (1), 53-68.

Latora, V. y Marchiori, M. (2005). Vulnerability and protection of infrastructure Networks. *Physical Review E, 71*, 015103 (R).

Lewis, B. M., Erera, A. L., y White, C. C. (2005). *The impact of temporary seaport closures on freight supply chain costs* (Working paper). Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology.

Liconsa (2011). *¿Qué es Liconsa?* Recuperado el 15 de Mayo, 2011 de http://www.liconsa.gob.mx/innovaportal/v/1534/1/mx/que_es_liconsa.html.

Liu, Z. (2009). Risk mitigation of supply chain disruptions (Disertación doctoral, Northwestern University, 2009). UMI Microform 3355699 by ProQuest LLC.

Matas, A. (1991). La demanda de transporte urbano: un análisis de elasticidades y valoraciones del tiempo. *Investigaciones económicas, 15* (2), 249-267.

Menezes, M., Berman, O. y Krass, D. (2003). *The median problem and reliability of facilities*. Ponencia presentada en INFORMS Annual Meeting 2003, Atlanta, GA, 85.

Motter, A. E. y Lai, Y. C. (2002). Cascade-based attacks on complex networks. *Physical Review E, 66*, 065102 (R).

Rao, S. y Goldsby, T. J. (2009). Supply chain risks: a review and typology. *The International Journal of Logistics Management*, *20* (1), 97-123.

XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE CONTADURÍA ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA
Octubre 5, 6 y 7 de 2011
Ciudad Universitaria
México, D.F.
informacongreso@fca.unam.mx
Teléfonos
52 (55) 5622.84.90
52 (55) 5622.84.80
Fax 52 (55) 5616.03.08
ANFECA
Asociación Nacional de Facultades y Escuelas de Contaduría y Administración
División de Investigación. Facultad de Contaduría y Administración, UNAM
Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, México, D.F., C.P. 04510

Snyder, L.V., y M.S. Daskin (2005). Reliability models for facility location: The expected failure cost case. *Transportation Science*, *39*, 400-416.

Tomlin, B.T. (2006). On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks. *Management Science*, *52*, 639-657.

Tomlin, B.T., y L.V. Snyder. (2006). *On the value of a threat advisory system for managing supply chain disruptions* (Working paper). Bethlehem, PA: Lehigh University.

Viswanadharn, N. y Gaonkar, R. S. (2008). *Risk management in global supply chain networks*. The Logistics Institute. Singapur: National University of Singapor.

Wagner, S. M. y Bode, C. (2008). Dominant risks and risk management practices in supply chains. En G. A. Zsidisin y B. Ritchie (Eds.), *Supply chain risks: A handbook of assessment, management and performance* (271-290). New York: Springer.

World Bank (2011). *Impacto de los desastres naturales en México*. Recuperado el 3 Julio, 2011 de:
http://info.worldbank.org/etools/docs/library/157425/capacity/pdf/mexico.ppt#501,21,Diapositiva 21.

XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE CONTADURÍA ADMINISTRACIÓN E INFORMÁTICA

Octubre 5, 6 y 7 de 2011
Ciudad Universitaria
México, D.F.