



"LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTROS: RETOS Y DESAFÍOS EN MÉXICO"

EDITORES

Sandra Téllez Vázquez

Miguel Gastón Cedillo Campos

José Alfredo Jiménez García



MéxicoLogístico

Asociación Mexicana de Logística & Cadena de Suministro



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
DE GUANAJUATO

ISBN: 978-607-97037-0-7



9 786079 703707



"LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTROS: RETOS Y DESAFÍOS EN MÉXICO"

Primera Edición 2015

Editores:

Sandra Téllez Vázquez

Miguel Gastón Cedillo Campos

José Alfredo Jiménez García

DR© Universidad Politécnica de Guanajuato

Av. Universidad Sur #1001

Comunidad Juan Alonso

38483 Cortazar, Gto.

Diseño y maquetación: LDG María Esmeralda Argueta Flores

ISBN: 978-607-97037-0-7

No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin la autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede construir un delito contra la propiedad intelectual.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS Pág. 6

PRÓLOGO Pág. 7

CAPÍTULO 1
LA INTEGRACIÓN DEL PUERTO DE
MANZANILLO A LA CADENA DE
SUMINISTRO GLOBAL: EL CASO DE LAS
EMPRESAS TRANSPORTISTAS DE CARGA
CONTENERIZADA Pág. 10

CAPÍTULO 2
MARCO CONTEXTUAL DE UN MODELO
HUMANO TECNO-ESTRUCTURAL DE
COMPETENCIAS DIRECTIVAS PARA EL
AUTOTRANSPORTE DE CARGA Pág. 22

CAPÍTULO 3
BUENAS PRACTICAS EN EL USO DEL
TRANSPORTE INTERMODAL EN ESTADO
DE GUANAJUATO Pág. 43

CAPÍTULO 4
ANÁLISIS Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN
PARA EL PROBLEMA DEL TRANSPORTE
DE TUBOS LIGEROS Pág. 60

ÍNDICE

CAPÍTULO 5
ANÁLISIS LOGÍSTICO EN LA INDUSTRIA
DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA
EN SERIE: UN ESTUDIO DE CASO EN
MÉXICO Pág. 79

CAPÍTULO 6
OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE
RECOLECCIÓN RAEE USANDO
METAHEURÍSTICAS Pág. 100

CAPÍTULO 7
COORDINACIÓN DE LA CADENA DE
SUMINISTRO: DE LA ADMINISTRACIÓN
TRADICIONAL AL ENFOQUE SISTÉMICO Pág. 121

CAPÍTULO 8
SIMULACIÓN MONTE CARLO EN LA
IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS
DE FLUJO EN EMPRESAS QUE OPERAN
BAJO UN ENFOQUE DE MANUFACTURA
ESBELTA Pág. 139

CAPÍTULO 9
ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE
EL RFID Y OTRAS TECNOLOGÍAS
DE INFORMACIÓN INALÁMBRICAS
APLICABLES AL CONTROL DE LA
GESTIÓN LOGÍSTICA Pág. 158



ÍNDICE

CAPÍTULO 10
¿LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS,
UNA REGULACIÓN O UN REQUISITO
COMERCIAL? Pág. 170

CAPÍTULO 11
ANÁLISIS TEXTUAL: UN ENFOQUE
FACTORIAL MÚLTIPLE PARA EXPLORAR
LA EVOLUCIÓN DE LOS DESASTRES Y
GESTIÓN DEL RIESGO EN MÉXICO Pág. 186

CAPÍTULO 12
DISEÑO DE PLANES DE CONTINGENCIA
ANTE DESASTRES NATURALES: EL
CASO DE LAS DISTRIBUCIÓN DE
AYUDA HUMANITARIA BALANCEADA
Y SU SOLUCIÓN CON TÉCNICAS
DE OPTIMIZACIÓN CLÁSICAS Y DE
VANGUARDIA Pág. 206

CAPÍTULO 13
RETOS PARA EL DESARROLLO DE
ESTRATEGIAS DE APOYO ANTE
DESASTRES EN MÉXICO Pág. 222

CAPÍTULO 14
ANÁLISIS FACTORIAL: VALIDACIÓN DE
UN CUESTIONARIO PARA EXPLORAR
LAS PRÁCTICAS LOGÍSTICAS ANTE
CONTEXTOS DE RIESGO Pág. 244

AGRADECIMIENTOS

Gracias al valioso apoyo que las instituciones prestaron, es en este sentido indispensable agradecer el invaluable soporte de la Universidad Politécnica de Guanajuato (UPG) quien apoyó el proceso de diseño y trámite de derechos de autor, a la Asociación Mexicana de Logística y Cadena de Suministro, A.C. (AML) por el apoyo a través de sus miembros fundadores para que este documento fuera posible, del mismo modo, al Instituto Mexicano del Transporte (IMT) que favoreció la obra al promover la participación por medio de la “Red Logística” y las instituciones conformando el Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística.



PRÓLOGO

La creciente globalización a través de la consolidación de mercados económicos regionales es actualmente vista de muy diversas formas. Para algunos países y empresas representa una gran oportunidad para interactuar de forma más efectiva con el mundo y con ello, alcanzar mayores beneficios. Para otros, representa una gran amenaza a sus operaciones ante el riesgo de perder competitividad y por tanto, entrar en declive. Ambas concepciones son parte de una realidad vista desde diferentes ópticas, la cual deriva en múltiples comportamientos, estrategias y acciones. Ante un mundo cada vez más complejo, la toma de decisiones se hará con menor cantidad de información que la deseada por los decisores para tener certeza sobre su efectividad. Ante ello, es previsible que las empresas y gobiernos invertirán masivamente en el desarrollo del conocimiento logístico. Sin embargo, pronto entenderán que será necesario integrar redes de colaboración para ensamblar el conocimiento actualmente disperso. Las empresas favorecerán la consolidación de procesos logísticos comunes incluso con sus competidores, para optimizar el uso de la infraestructura logística y de transporte. Porque en realidad nadie lo sabe todo, pero sin duda todos sabemos algo, el desarrollo de la inteligencia colectiva en logística se volverá un tema central a nivel global.

De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT), entre el año 2000 y 2008 los salarios reales en Asia se incrementaron alrededor del 1% anual, mientras que en China crecieron entre el 8 y el 13% en los últimos diez años como parte de su cambio de modelo económico. Estos incrementos, sumados al aumento de los costos en energía y logística han dañado las ventajas competitivas del gigante asiático como la principal plataforma de manufactura de Occidente. De este modo, estamos presenciando una nueva etapa de la hipercompetencia global denominada "Globalización Inversa" o "Regionalización" de la economía mundial. Un ambiente cada vez más complejo se avecina.

Desde un enfoque positivo, tres sectores industriales con operaciones en México nos pueden dar pistas sobre lo que éste fenómeno guarda para nuestro país. En primer lugar, el caso de la regionalización de la industria automotriz y los avances que en México ha tenido. En el 2009, después de la crisis económica, México ocupó el lugar décimo en la producción de vehículos ligeros a nivel mundial con 1.6 millones de unidades. Mientras que para el 2014 la producción fue de 3 millones, 219 mil, 786 vehículos, alcanzando el séptimo lugar mundial. Actualmente se prevé que para el 2020, México esté produciendo alrededor de 5 millones de unidades. El mercado principal de las exportaciones de vehículos ligeros producidos en México, es Estados Unidos con una participación del 71% en el 2014. De éste modo, México se ha convertido en el segundo proveedor de vehículos ligeros de Estados Unidos. Con la llegada de nuevas plantas de ensamble y el conjunto de sus proveedores, se estima que esta industria crecerá un 33% para 2017. En segundo lugar, el caso de la regionalización de la industria aeroespacial. Para finales del año 2014 se exportaron 6.4 mil millones de dólares y se emplearon a más de 43,000 personas en más de 300 centros de manufactura localizados en México. Con ello, México se está consolidado como un líder a nivel global en el sector aeroespacial con una Inversión Extranjera Directa que representa alrededor de 33,000 millones de dólares en los últimos 11 años. Incluso, es de resaltar que de acuerdo con ProMéxico, entre el 2004-2014, las exportaciones de la industria

PRÓLOGO

aeroespacial alcanzaron un crecimiento promedio anual de alrededor del 17%. En tercer lugar, la importancia que México ha alcanzado dentro de la producción de electrónicos a nivel mundial. A medida que aumenta el consumo de dispositivos tecnológicos, como pantallas, teléfonos celulares y computadoras, las empresas manufactureras del sector buscan ampliar su presencia. De éste modo, las cadenas de suministro de la industria electrónica se han expandido en aquellos territorios donde previamente tenían operaciones exitosas. Pero también, nuevas inversiones han llegado a los mercados con alto desempeño logístico. Todo lo anterior ha beneficiado a México. Debido a que actualmente tanto los automóviles, como las aeronaves integran un mayor contenido electrónico, este sector jugará un rol clave en el desarrollo industrial del país.

Los tres contextos mencionados anteriormente, representan ejemplos de cómo gracias al buen desempeño operativo, la innovación en los procesos logísticos y la utilización de tecnología de punta, es actualmente posible que plantas localizadas en regiones fuera del mercado meta integren cadenas de suministro globales. Sin embargo, a pesar de que las empresas pueden fabricar e integrar productos y servicios en diferentes partes del mundo, existen otros aspectos que las empresas están tomando en cuenta para "regionalizar" sus cadenas de suministro. Aspectos como las cada vez más frecuentes interrupciones a los flujos de transporte ocasionados por desastres naturales, actos terroristas, actividades criminales o el aumento de los precios de la energía, de los costos laborales y de la variabilidad asociada a los tiempos de tránsito que incrementan el inventario de seguridad, son algunos de ellos. Así, "regionalización" de las cadenas de suministro está reforzándose y México es uno de los ganadores en esta tendencia.

En ese sentido, el área de la logística, el transporte y la cadena de suministro, nos hace un llamado para posicionar al país dentro de las potencias del nuevo siglo. Con su localización geográfica, México cuenta en el corto plazo con una ventaja comparativa privilegiada. Pero actualmente es crítico el incrementar de forma constante las competencias técnicas, de infraestructura de transporte y de logística, de toma de decisiones empresariales y gubernamentales, por ejemplo. Se requiere establecer una estrategia país en logística, de forma que sea posible alinear los esfuerzos y obtener más rápidos y mejores resultados. Es claro que a pesar de los esfuerzos por mejorar el perfil logístico de México, hasta hoy no se ha reconocido la naturaleza sistémica de la logística y menos aún, la importancia de las acciones concertadas con objetivos comunes. La inteligencia colectiva tanto en la definición, como en la acción. En este sentido, este libro representa un esfuerzo por integrar redes de trabajo colectivo para la construcción de conocimiento especializado en logística.

Desde luego es claro que la visión de un "México logístico" exige de más voluntades coordinadas para atrevernos a construir el país que deseamos. Si bien desde hace ya algunos años se han dado algunos pasos importantes para mejorar el desempeño logístico de México, la realidad es que falta mucho por hacer para lograr una alta coordinación a nivel nacional. En ese sentido, desde su fundación, la Asociación Mexicana de Logística y Cadena de Suministro, A.C. (AML) ha buscado ser un factor de cambio al ubicar el valor del conocimiento logístico y la integración de esfuerzos nacionales, como las palancas

PRÓLOGO

que pueden impulsar al México en el nuevo orden económico que se está operando globalmente. Del mismo modo, recientemente, el Laboratorio Nacional en Sistemas de Transporte y Logística, un proyecto liderado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en conjunto con la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), el Instituto Tecnológico de Orizaba (ITSON) y la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), está marcando la pauta de lo que en los próximos años deberíamos buscar desde los diferentes ámbitos: colaborar colectivamente para mejorar las competencias logísticas del país. En ese sentido, al promover decididamente estos esfuerzos, la Universidad Politécnica de Guanajuato (UPG) es una institución pionera.

Es en este contexto que el presente ebook fue concebido con el objetivo de mejorar la inteligencia colectiva logística en México. En consecuencia, es importante señalar que cada uno de los capítulos fue integrado al documento solo después de haber seguido primero un riguroso proceso de selección multicriterio por parte de los editores y después, aprobar un proceso de revisión dobleciego por pares de alto prestigio internacional. Todo lo anterior en un tiempo excepcional, el cual fue posible alcanzar gracias a la amable disposición tanto de los autores, como de los revisores. Estamos conscientes de que nada grande se hace realidad sin el apoyo de un gran número de personas. Una obra como la presente, solo ha sido posible gracias al interés, dedicación y pasión de especialistas con deseo de compartir sus conocimientos. Desde luego sería imposible nombrar a todos, pero desde estas líneas reciban un sentido agradecimiento por haber hecho posible este esfuerzo y contribuir con ello, a mejorar las competencias logísticas de México. Porque sabemos que mientras muchos solo sueñan con transformar la logística, usted al leer estas líneas ya busca lograrlo cada día, esperamos que no solo cada uno de los capítulos que se han incluido sea de su agrado, sino que también, le sean de utilidad en su actividad diaria. Ya sea como docente, como tomador de decisiones, como estudiante o simplemente como interesado en un tema tan apasionante como la logística y la cadena de suministro, esperamos la lectura de éste documento lo impulse a sumarse y contribuir para concretar el "México Logístico" que juntos podemos lograr.

CAPÍTULO 1

LA INTEGRACIÓN DEL PUERTO DE MANZANILLO A LA CADENA DE SUMINISTRO GLOBAL: EL CASO DE LAS EMPRESAS TRANSPORTISTAS DE CARGA CONTENERIZADA

Ariel Gutiérrez Ortiz^a, Oscar Bernardo Reyes Real^a, Aurelio Déniz Guizar^a.

Universidad de Colima^a
agutierrez18@ucol.mx^{a*}

RESUMEN

El transporte marítimo internacional es un elemento clave sobre el que se sustenta el proceso de globalización económica y comercial, además de ser esencial dentro de la cadena de suministro. En este sentido, la tendencia hacia la concentración en el transporte es inevitable. La presente investigación tiene como propósito determinar los factores que las empresas de transporte terrestre de carga contenerizada consideran importantes para que se facilite la integración del puerto de Manzanillo, Colima, México a la cadena de suministro global. La búsqueda y obtención de la información se efectuó a través de investigación documental y de campo realizada al total de las empresas transportistas miembros de la Unión Transportista de Carga de Manzanillo. Para validar y dar confiabilidad a la información se llevó a cabo una prueba piloto. En orden de importancia para los encuestados las alianzas estratégicas, el uso de tecnologías de información, la capacitación y eficacia de los recursos humanos y los servicios a la medida del cliente son de suma importancia para que dicho puerto se integre cada vez más a la cadena de suministro global.

Palabras clave: cadena de suministro, integración portuaria, empresas transportistas, capacitación, servicios a la medida del cliente, tecnologías de información.

ABSTRACT

International shipping is a key element on which the process of economic and trade globalization is based, besides being essential within the supply chain. In this regard, the trend toward concentration in transport is inevitable. This research aims to identify the factors that trucking containerized cargo companies considered important for the integration of the port of Manzanillo, Colima, Mexico to the global supply chain. The search and retrieval is performed through documentary and filed research conducted to the total transport companies members of Unión Transportista de Carga de Manzanillo. To validate and reliability to information conducted a pilot test. In order of importance to respondents partnership strategies, the use of information technology, training and effectiveness of human resources and services tailored to the client are key factors for port integration to global supply chain.

Keywords: supply chain, port integration, trucking compaines, training, tailored services, information techonology.

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de globalización de las economías del mundo requiere que los países luchen por alcanzar la optimización de sus procesos productivos, aprovechando eficazmente aquellas actividades en las que tienen ventajas comparativas. En este contexto, para que las

economías sean más competitivas en la arena internacional necesitan mejorar los costos, la variedad, la disponibilidad y la facilitación de los flujos de bienes, dado que ello opera como una condición fundamental para el desarrollo y consolidación de las economías. Con el objetivo de cumplir con tal condición, los agentes de una economía tendrán que comprometerse para promover y consolidar los procesos de producción y comercialización; y es aquí en donde el transporte y la cadena de suministro se constituyen en un instrumento indispensable para el logro integral de esta meta.

El rol que cumplen los puertos dentro de la cadena de suministro es, sin duda, sumamente estratégico pues tienen la capacidad de influenciar de manera significativa el costo final de un producto. Si se alcanza un mayor nivel de eficiencia en un puerto; no sólo desde la perspectiva de los servicios al buque sino también desde su integración al sistema de la cadena, implementación de tecnología informática y conectividad ferroviaria, vial y fluvial, se pueden reducir significativamente los costos del transporte interno, aumentar la competitividad y fomentar el comercio internacional.

Los puertos son la puerta principal (de llegada y partida) del comercio internacional y operan como nodos centrales de la red física del transporte marítimo, movilizandolos las mayores cargas a nivel global, constituyendo además una interfaz entre modos de transporte, tanto para los trayectos nacionales como internacionales. Es por ello que para mejorar la eficiencia en el movimiento de cargas comerciales, los puertos deben ser parte integral de la cadena de suministros (producción, transporte y distribución). Dicha integración de los puertos en un enfoque de la cadena de suministro consiste en tener en cuenta no sólo las actividades que se efectúan en el marco del ámbito portuario, sino también la influencia que sus actividades tienen sobre el transporte anterior y posterior a tal puerto comercial (Tomassian, Pérez y Sánchez, 2010).

Lo anterior, sin duda, representa un enorme reto para las autoridades y operadores portuarios, ya que su competitividad futura depende de la productividad de los modos de transporte que le proveen carga, razón por la cual es importante comenzar a analizar la cadena de suministros completa y lograr una real complementariedad entre modos de transporte (Pérez, 2009).

Actualmente los puertos marítimos han tomado importancia debido a que más de la mitad del comercio mundial se realiza por vía marítima. Es relevante destacar que los puertos son sitios en los cuales se realizan importaciones y exportaciones de mercancías utilizando como medio de transporte el barco o buque, el cual a diferencia de los otros medios de transporte permite llegar a diversos destinos, siendo en algunos casos, la manera más económica.

Los puertos fueron reconocidos como plataformas para el desarrollo económico del hinterland (zona de influencia hacia tierra adentro)¹. Sobre esta base, la mayor parte de la investigación y el énfasis en el desarrollo ha estado en la capacidad que los puertos tienen para llevar a cabo sus funciones de acomodamiento de buques y otros modos de transporte de manera efectiva y eficiente. La evolución contemporánea sin embargo, dicta que el énfasis debería hacer hincapié en relación a la capacidad de los puertos para cumplir un nuevo papel en la era de la logística en el contexto de la operación como parte de los sistemas de cadenas de suministro globales integrados (Song y Panayides, 2007).

Hoy en día, el puerto de manzanillo se ha catalogado como el principal puerto de México y número uno en el movimiento de carga contenerizada. Debido al alto crecimiento que ha registrado este puerto a través del tiempo, muchas empresas han llegado y se han establecido para ejercer actividades de comercio exterior, como lo son las empresas transportistas, empresas de carga y descarga de mercancías, entre otras.

A pesar de ser el puerto del pacífico con mayor alcance territorial hacia el interior del país,

1 El hinterland de un puerto es la zona de influencia hacia tierra adentro (Martner, 2008).

Manzanillo presenta algunos problemas de integración modal y de enlaces terrestres que, de no ser mejorados, pueden restarle competitividad, dificultando su consolidación como nodo de integración de cadenas productivas globalizadas y como posible puerto de tercera generación del pacífico mexicano, según lo indica el Programa Maestro de Desarrollo Portuario 2012-2017 (API, 2010).

Según el Programa Maestro de Desarrollo Portuario del puerto de Manzanillo 2007-2012, la carga contenerizada en 2015 podría llegar a 26 millones 911 mil toneladas en comparación con los 24 millones 594 mil toneladas que se manejaron el año anterior, cifra que representaría un crecimiento del 9.4 por ciento.

El puerto de Manzanillo contempla aumentar el manejo de carga contenerizada en 42% para 2015, al movilizar 2 millones 746 mil TEUs (contenedor de 20 pies) en comparación con el millón 930 mil 893 operados durante el 2012.

Para 2015, el estudio considera que se estarían atendiendo a unos 2 mil 728 buques en comparación con los mil 939 barcos atendidos en 2012. De esa proyección total, mil 938 serían buques portacontenedores, refiere el documento.

El movimiento de carga por el puerto de Manzanillo se ha incrementado hasta alcanzar la cifra récord de 1.9 millones de TEUs, con una operación total de 24 millones de toneladas manejadas en 2012. Se prevé que en los próximos años el crecimiento sea sostenido (API, 2014).

El presente estudio tiene repercusión práctica sobre la actividad empresarial, el desarrollo del puerto y la función de éste en la cadena de suministros global aportando información valiosa que servirá de material de reflexión y acción sobre el quehacer de los puertos de contenedores mexicanos. Se compone de la siguiente manera: se realiza un análisis de la literatura con evidencia teórica y empírica, seguido de la descripción de la metodología empleada, posteriormente se muestran los resultados obtenidos y finalmente se presentan las conclusiones del mismo.

II. MARCO TEÓRICO

A medida que va pasando el tiempo las actividades relacionadas con el comercio internacional van creciendo y por consecuencia se va incrementando las transacciones comerciales (exportaciones e importaciones) entre diversos países. Varios de ellos se encuentran inmersos en bloques comerciales. Para llevar a cabo las actividades propias del comercio internacional participan diferentes compañías que hacen posible el movimiento de mercancías, formando una cadena en la cual todas las empresas están conectadas unas con otras y con esto se pueda alcanzar la eficiencia en toda la cadena y así lograr que los bienes lleguen en tiempo y forma a los clientes/consumidores. Las empresas transportistas son compañías que forman parte de dicha cadena, es decir son sólo un eslabón de ésta. De acuerdo con Porter (2008), la ventaja competitiva es una superioridad que posee una empresa ante otras empresas del mismo sector o mercado, que le permite destacar o sobresalir ante ellas, y tener una posición competitiva en mencionado sector o mercado. Por lo que, los eslabones afectan las actividades de desempeño y costo del otro e influyen en su ventaja competitiva. Por ejemplo: (i) no se puede pensar en brindar un producto de calidad superior si sus componentes no lo son, (ii) el costo de un bien está afectado por el

costo de sus materias primas, materiales y otros insumos adquiridos a los proveedores, (iii) la velocidad de llegada al mercado depende de la rapidez de respuesta de los proveedores, ya que el tiempo de ciclo de éstos limita el del productor.

Para Beamon (1998), una cadena de suministro es un proceso de fabricación estructurado donde los materiales crudos son transformados a bienes acabados, entonces son entregados para acabar en las manos de los clientes. Según Chow y Heaver (1999) una cadena de suministro es el grupo de fabricantes, proveedores, distribuidores, detallistas, transporte, información y otros proveedores de servicio de administración logística que están comprometidos en proporcionar bienes a consumidores. Ayers (2001) define la cadena de suministro como procesos de ciclo de vida involucrando bienes físicos, información, y flujos financieros cuyo objetivo es satisfacer al consumidor final que requiere bienes y servicios de proveedores diversos, conectados. En tanto, Pienaar (2009), citado por Assey (2012), define la cadena de suministro como una descripción general de la integración de proceso que implica organizaciones para transformar materiales crudos a bienes acabados y para transportarlos al usuario final.

A raíz de la liberalización y la globalización, cada vez se hace más relevante la interdependencia entre productores y mayoristas en las cadenas de suministro internacional (Fourie, 2006). La cadena de suministro se refiere a la red de organizaciones que están implicadas en los procesos diversos y actividades que generan valor en bienes y servicios del productor hasta el cliente final. Además de ser una coordinación estratégica y eficaz de las funciones de los negocios convencionales dentro de una corporación específica y a lo largo de los negocios dentro de una cadena de suministro, con el objetivo de desarrollar un rendimiento a largo plazo de la cadena de suministro y de la corporación, como una entidad (Christopher, 1998). Para Grant, Lambert, Stock y Ellram (2006), la administración de la cadena de suministro se refiere a la integración de procesos empresariales desde el usuario final hasta los proveedores de información, bienes y servicios que adicionan valor a los consumidores. En tanto que para Panayides (2006) la integración puede proporcionar agilidad a lo largo de la cadena de suministro.

El transporte es uno de los elementos más críticos, de los más importantes pero de los menos entendidos en la cadena de suministro. Por lo anterior, la administración de transporte es un aspecto crítico y se concibe como un elemento clave para la adecuada articulación de la cadena de suministro. Para una empresa, la capacidad de entregar constantemente productos a tiempo, al precio correcto y con la calidad adecuada, afecta favorablemente la opinión del cliente sobre el servicio. En tal virtud, el transporte requiere ser un servicio de calidad en términos de seguridad, regularidad, oportunidad, entregas a tiempo y costos, para ambas partes del proceso (Jiménez y Hernández, 2002).

Las cadenas de suministro generan fuertes obligaciones entre los participantes de la estructura de la cadena con el fin de lograr ventajas competitivas en algún diseño explícito. Tal condición permite observar la necesidad de establecer vínculos más estrechos entre las unidades productivas participantes que las obliga a mantener sistemáticamente interacciones (Durango, 2008).

Los puertos hoy en día juegan una función importante como miembros de una cadena de suministro. En esta función, el puerto está considerado como parte de un grupo de organizaciones en que la logística y diferentes operadores de transporte están implicados en traer valor a los consumidores finales. Para lograr el éxito es necesario conseguir un

grado más alto de coordinación y cooperación (De Souza, Beresford y Pettit, 2003). La competencia entre puertos, particularmente aquellos en el mismo rango geográfico se ha intensificado. Por lo que en la actualidad, la competitividad de un puerto depende en gran medida en la habilidad de puertos para integrarse en cadenas de suministro global. La identificación de los parámetros que contribuyen a la integración del puerto/terminal en cadenas de suministro habilita operadores del puerto para establecer estrategias con la finalidad de aumentar la integración y conseguir ventajas competitivas (Panayides y Song, 2009). El contexto de una cadena de suministro integrada es una colaboración de varias firmas que consideran un sistema de flujos y restricciones de recursos importantes. Dentro de este contexto, la estructura y la estrategia de una cadena de suministro se producen a partir de los esfuerzos que permiten cumplir el compromiso operativo de una empresa con sus clientes, al mismo tiempo que apoyan las redes de distribución y de proveedores para obtener una ventaja competitiva (Bowersox, Closs y Cooper, 2007). Los puertos marítimos pueden considerarse como un eslabón de la cadena de suministro, en él confluyen una gran cantidad de actores que conforman entre otros aspectos la especialización, lo que permite ser más eficiente bajo el concepto de economías de escala que impactan en la competitividad (Moreno, 2012).

Tradicionalmente las autoridades portuarias jugaron el papel de facilitadores, enfocándose en la provisión de superestructura e infraestructura para las operaciones de embarque, carga y descarga, almacenaje temporal y operaciones en el interior del puerto (Cullinane, Song y Gray, 2002; Tongzon y Heng, 2005).

Kalwani y Narayandas (1995) comentan que las relaciones entre proveedores y clientes/consumidores permiten retener o incluso mejorar los niveles de rentabilidad entre ellos más que aquellas compañías que emplean un enfoque tradicional. Los puertos que construyen relaciones de cooperación a largo plazo se consideran que tienen altos niveles de integración en la cadena de suministro (Song y Panayides, 2007).

Los puertos son fundamentales en la política económica de los países, ya que permiten hacer más eficiente el sistema de transporte de los mismos, fomentan el crecimiento del comercio con otros países, alivian la congestión de los principales corredores terrestres, mejoran los enlaces marítimos con las regiones insulares y periféricas de un país y refuerzan el transporte multimodal y la logística del transporte (Díaz-Bautista, 2008).

O'Leary-Kelly y Flores (2002), establecen que la integración se refiere a la medida en que partes separadas trabajan en conjunto de una manera cooperativa para llegar a obtener resultados mutuamente aceptables. En consecuencia, esta definición abarca conceptos relacionados con el grado de cooperación, coordinación, interacción y colaboración. Intentando descifrar y conceptualizar los conceptos de la integración de los puertos a la cadena de suministro, es importante revisar la literatura relacionada con los conceptos de la integración de la cadena de suministros.

Con la llegada de la era de la administración de la cadena de suministros (SCM², por sus siglas en inglés), el puerto tiene una posición estratégica muy importante en el sistema de la cadena de suministros global y está jugando un papel muy activo. Esto se refleja, principalmente en los siguientes aspectos: primero, el puerto es el principio y el final de la transportación oceánica, el cual tiene el mayor porcentaje de transporte de carga. Por lo tanto, el puerto es el punto donde se reúne la mayor carga y se conecta con los otros modos de transporte. Cuando es necesario llevar a cabo actividades adicionales a las industriales, comercial o técnicas, el puerto tiende a lograr las mejores economías de escala; y segundo, el puerto es el mejor punto de combinación de los factores productivos (Wang, 2011).

La administración de la cadena de suministros ha sido definida como la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales de los negocios y las tácticas a través de estas funciones dentro de una organización particular y a través de los negocios dentro de la cadena de suministros con el propósito de mejorar el rendimiento a largo plazo de las organizaciones individuales y la cadena de suministros como un todo (CLM, 2000). La definición reconoce la naturaleza estratégica de la coordinación entre los socios comerciales y explica el doble propósito de la administración de la cadena de suministros de mejorar la organización y hacer rendir la cadena de suministros (Song y Panayides, 2007).

La literatura reconoce que a mayor grado de integración a través de la cadena de suministros mejora el desempeño de una firma (Narasimhan y Jayaram, 1998; Johnson, 1999; Frohlich y Westbrook, 2001), esto mientras no haya proveedores y clientes desintegrados en términos de sus procesos de negocios (Armistead y Mapes, 1993; Frohlich y Westbrook, 2001), todos ellos citados por Song y Panayides (2007). Los hallazgos junto con la inherente naturaleza estratégica de coordinación hacen que la integración de la cadena de suministros sea un concepto de gran importancia en la gestión de la cadena de suministros (Song y Panayides, 2007).

Estudios actuales han conceptualizado y probado mediciones de la integración de la cadena de suministros. Vickery et al (2003) enfatizan la existencia de tecnologías de información integradas y además la existencia de prácticas que fortalecen los vínculos entre compañías ocupando diferentes posiciones dentro de la cadena de suministros (vínculos verticales como socios proveedores y relaciones más cercanas con los clientes; y vínculos horizontales como la formación de relaciones dentro de las empresas utilizando equipos de multifuncionales).

Narasimhan y Kim (2002) utilizan tres niveles de integración: la integración de la compañía con proveedores, integración interna a través de la cadena de suministros y la integración con los clientes.

Un factor clave de la integración de la cadena de suministros es la presencia de tecnologías de información integradas para incrementar el flujo de información relevante entre los participantes del proceso y así facilitar la integración de procesos que trasciendan las fronteras de la empresa (Bowersox y Daugherty, 1995; Lewis y Talalayevsky, 1997).

Las relaciones con los proveedores y clientes parecen ser centrales en el contexto de la integración de la cadena de suministro. La asociación de proveedores trata a éste como un colaborador estratégico participando, por ejemplo en el diseño del producto y teniendo acceso a una capacidad tecnológica superior (Narasimhan y Das, 1999). Las relaciones cercanas con el cliente lo involucran proactivamente, adquiriendo información de otros clientes acerca de sus necesidades de manera responsable (Song y Panayides, 2007).

De manera tradicional las autoridades portuarias jugaron el papel de facilitadores, enfocándose en la provisión de superestructura e infraestructura para las operaciones de los buques, carga/descarga, almacenamiento temporal y operaciones dentro del puerto. Sobre esta base la mayoría de la investigación en el área ha sido sobre la eficiencia y rendimiento de los puertos o terminales de contenedores, un ejemplo con los trabajos de Cullinane, Song y Gray (2002); y Tongzon y Heng (2005).

El trabajo académico sobre la integración de los puertos/terminales en las cadenas de suministro ha sido limitado. Probablemente el trabajo empírico más actualizado ha sido realizado por Carbone y De Martino (2003) quienes adoptaron un caso de análisis para investigar la contribución del puerto de Le Havre en la creación de valor dentro de la cadena de suministro automotriz.

El reconocimiento de que los puertos están altamente integrados en la cadena de suministros es ilustrado en los artículos de Paixao y Marlow (2003), Marlow y Paixao (2003)

y Bichou y Gray (2004). Paixao y Marlow (2003) y Marlow y Paixao (2003) introducen los conceptos logísticos de operaciones "flexibles" y "ágiles" como factores clave en la medición del rendimiento portuario. Por lo tanto, esto implicó que el rendimiento portuario dependiera en gran medida de las mediciones logísticas de costo y sensibilidad. Bichou y Gray (2004) indican que adoptar un enfoque logístico para medir el rendimiento portuario es benéfico para la eficiencia portuaria porque dirige la estrategia del puerto hacia actividades logísticas relevantes de valor agregado.

Desde 1994 en México, los puertos se especializan en carga contenerizada, desarrollan un departamento de manejo comercial, tratan de convertirse en plataformas logísticas y se organizan para desarrollar espacios de flujos. Tratan de incorporar a la carga alto valor agregado y priorizan el manejo tecnológico y el conocimiento buscando emular a los puertos del mundo desarrollado (Ojeda, 2008).

El puerto de Manzanillo se encuentra en una buena situación en lo que ha conectividad se refiere; la oferta de servicios marítimos es una de las más amplias de todo México y es la más importante en la línea de negocio de los contenedores. Actualmente el puerto tiene relaciones comerciales con más de 57 puertos en exportación y 67 en importación, además de 6 destinos nacionales (API, 2014).

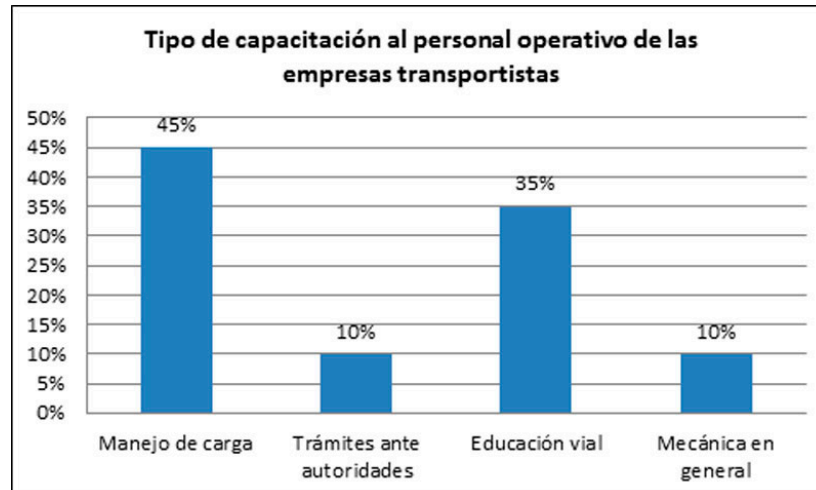
Metodología

El método de investigación a seguir es el método hipotético deductivo planteando la hipótesis en la que se establece que las alianzas estratégicas, el uso de tecnologías de información, la capacitación y eficacia de los recursos humanos y los servicios a la medida del cliente que ofrecen las empresas transportistas son factores de cooperación que permiten integrar al puerto de Manzanillo, Colima, México a la cadena de suministro global. Con respecto a la recopilación de los datos, el instrumento utilizado fue el cuestionario, el cual es el conjunto de preguntas preparadas cuidadosamente sobre hechos y aspectos que interesan en una investigación para su contestación por la población o su muestra. En el presente estudio se utilizará la investigación mixta, que es aquella que participa de la naturaleza de la investigación documental y de la investigación de campo (Zorrilla, 1993).

Esta investigación se llevó a cabo en la ciudad-puerto de Manzanillo, Colima, México, el objeto de estudio fueron las empresas transportistas que pertenecen a la Unión Transportista de Carga de Manzanillo, la cual está compuesta por 63 empresas. Con la finalidad de validar y confiabilidad a los ítems de la encuesta, ésta se aplicó a 10 gerentes y/o dueños de las empresas transportistas, quienes cuentan con estudios de licenciatura y con experiencia suficiente (mayor a 10 años) en la industria de los autotransportes. Se realizaron los ajustes al instrumento de recolección de información y se procedió a aplicarlo a los gerentes y/o dueños de las 63 empresas transportistas. El cuestionario constó de 24 preguntas.

III. RESULTADOS

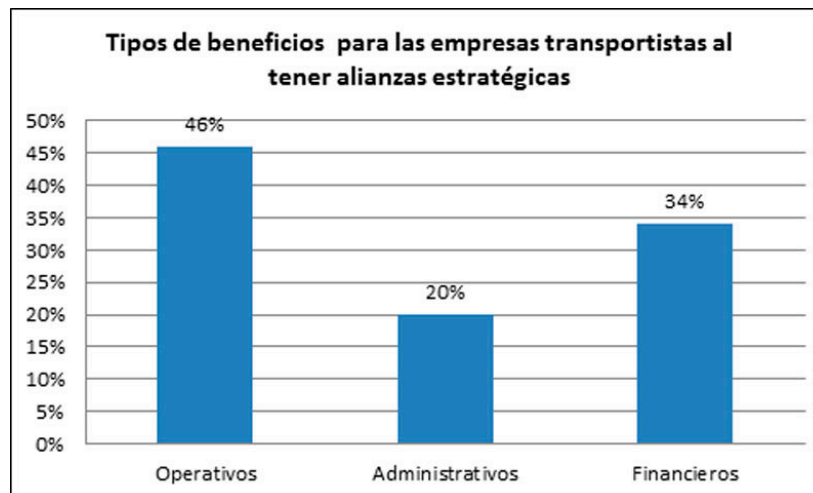
Para el total de las empresas transportistas la capacitación de recursos humanos es muy importante. La capacitación que más se lleva a cabo es la de manejo de carga con un 45%, seguida de educación vial (35%) y con un 10% en trámites ante autoridades y mecánica general. La capacitación que se brinda a los recursos humanos se lleva a cabo de manera semestral con un 43% y anualmente con un 33%. El resto se divide con la capacitación mensual, bimestral y trimestral. La capacitación se imparte de forma presencial en un 57% a través de conferencias.



Fuente: elaboración propia con base en la investigación de campo.

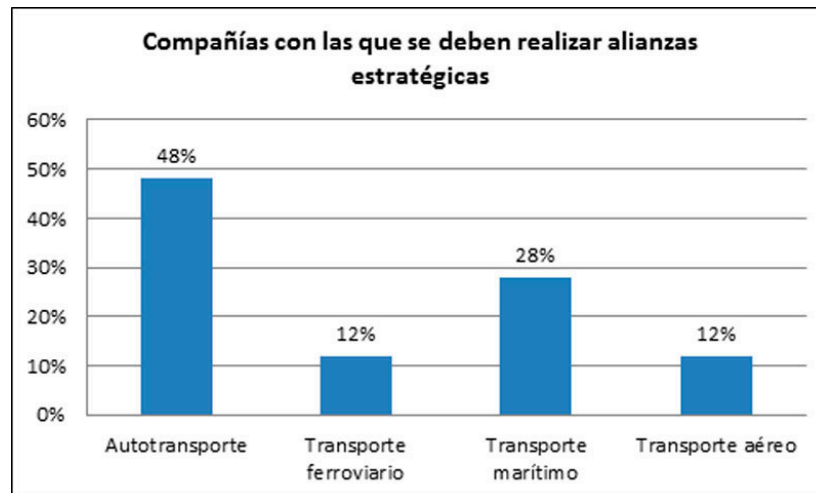
El 85% de las empresas transportistas considera que cuentan con los recursos humanos adecuados para la prestación del servicio en cuanto al perfil y a la cantidad de éstos. En cuanto a la satisfacción en tiempo y forma de los clientes, el 88% de las empresas transportistas consideran que sí lo cumplen lo que les permite lograr la integración del puerto de Manzanillo a la cadena de suministro global.

Los servicios a la medida del cliente (personalizados) son de gran importancia para las empresas transportistas, así lo consideran el 84%. Del total de empresas encuestadas, el 96% contempla la posibilidad de ofrecer servicios personalizados y consideran que esto les permitiría generar mayores ganancias. Por otro lado, el 98% de las empresas transportistas indica que el uso de tecnologías de información mejora la prestación del servicio. Mientras tanto, el 90% de las empresas considera que cuenta con las tecnologías de información adecuadas para prestar el servicio y que éstas permiten integrar al puerto de Manzanillo a la cadena de suministro global. En el rubro de las alianzas estratégicas, el 79% de las empresas transportistas indica que éstas les permiten generar otros beneficios y mejorar la prestación del servicio de manera integral; el 46% revela que los beneficios se centran en la parte operativa, un 34% en la parte financiera y un 20% en la parte administrativa.



Fuente: elaboración propia con base en la investigación de campo.

En resumen, el 87% considera que las alianzas estratégicas deben de llevarse a cabo con las empresas involucradas en la cadena de suministro, por ejemplo con otras compañías de autotransporte (48%), con transporte marítimo (28%), transporte ferroviario (12%) y con otros 12% el transporte aéreo.



Fuente: elaboración propia con base en la investigación de campo.

IV. CONCLUSIONES

El puerto de Manzanillo, Colima sigue creciendo de una manera rápida con el paso del tiempo y lo seguirá haciendo conforme pasan los años, su movimiento de contenedores sigue al alza y esto ha provocado que nuevas empresas de transporte de carga vía terrestre surjan, dando una competencia a las demás empresas del mismo ramo.

La capacitación de los recursos humanos es para las empresas transportistas un buen elemento y de suma importancia, ya que estos son los encargados de realizar las tareas y actividades que estas empresas tienden a hacer, así como también, desarrollan la logística y ven la forma de dar los servicios en tiempo y forma a los usuarios. Para esto, éste personal es capacitado por medio de asistencia presencial a cursos.

También, lo que estas empresas buscan es, a parte de capacitar a su personal, es contar con los recursos humanos necesarios y los adecuados, con el perfil correcto para que sean capaces de realizar las tareas designadas por las mismas y así mismo hallar beneficios tanto para la empresa como para el personal. Estas empresas han estado de acuerdo en que el contar con recursos humanos que atiendan eficazmente los servicios que presta la misma si es un factor que la va a facilitar al puerto de Manzanillo integrarse a la cadena de suministro global.

Para que las empresas transportistas de carga contenerizada obtengan mayores ingresos y se hagan de más clientes, es necesario que brinden servicios a la medida de los clientes, cumpliendo sus expectativas y que el usuario quede satisfecho por el servicio brindado. Contar con una buena tecnología dentro de la empresa para la realización de los procesos y servicios son factores que van a decidir el futuro de las transportistas, ya que la utilización de estas hace que sea más ágil y eficaz los trabajos. Algunas transportistas cuentan con las tecnologías de información necesarias para la realización de los trabajos lo que hace que exista una ventaja de unas empresas con otras, y además una competencia por ganar clientes.

La cooperación entre empresas, ya sean del mismo giro o rama de servicio o distintas

son en la actualidad una nueva forma de trabajo, que uniéndose, y sin llegar a fusionarse pueden llegar a acelerar la prestación de los servicios, y adecuar una cadena de suministro más viable. Ahora en la actualidad, los usuarios de estas empresas transportistas buscan que los servicios que prestan sean de calidad, no dando oportunidad a las demoras o a las pérdidas de tiempo, ya que esto puede ocasionar que la empresa pierda valor y clientes que le generan a estas ganancias.

Así mismo, las alianzas entre estas empresas, se consideran importantes porque se reduce una cantidad de trabajo sin llegar a fusionarse la empresa. Las actividades de las empresas y estas mismas son organizadas de una forma que ninguna de ellas sale perjudicada o perdiendo al formar dicha alianza.

Cabe destacar algunas situaciones que carecen las empresas transportistas, algunas de ellas no cuentan con página web, ni con información acerca de sus oficinas centrales, lo anterior dificulta que éstas sean conocidas y sus servicios sean utilizados con mayor frecuencia.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

API. (2010). Programa Maestro de Desarrollo Portuario. Recuperado el 2010 de 02 de 02, de <http://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/2110421/programa-maestro-de--desarrollo-portuario>

API. (2014). Programa Maetsro de Desarrollo Portuario 2012-2017. Recuperado el 2014 de 03 de 22, de <http://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/2110421/programa-maestro-de--desarrollo-portuario>

Armistead, C., & Mapes, J. (1993). The Impact of Supply Chain Integration on Operating Performance. *Logistics Information Management*, 9-14.

Assey, J. J. (2012). A new introduction to supply chains and supply chain management: definitiosn and theories perspective. *International Business Research*, 194-207.

Ayers, J. B. (2001). *Handbook of supply chain manegement*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: models and methods. *International Journal of Production Economics*, 281-292.

Bichou, K., & Gray, R. (2004). A Logistics and Supply Chain Management Approach to Port Performance Measurement. *Maritime Policy and Management*, 47-67.

Bowersox, D. J., & Daugherty, P. J. (1995). Logistics paradigms: the impact of information technologies. *Journal of Business Logistics*, 65-80.

Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B. (2007). *Supply chain logistics management*. Michigan: McGraw-Hill.

Carbone, V., & De Martino, M. (2003). The Changing Role of Ports in Supply Chain Management: An Empirical Analysis. *Maritime Policy and Management*, 305-320.

CLM. (2000). *What It's All About*. Chicago: Council of Logistics Management.

Cullinane, K., Song, D. W., & Gray, R. (2002). A Stochastic Frontier Model of the Efficiency of Major Container Terminals in Asia: Assessing the Influence of Administrative abd Ownership Structures. *Transportation Research*, 743-762.

Chow , D. H., & Heaver, T. (1999). Logistics strategies for North America. En C. D. Waters, *Global Logistics and Distribution Planning: Strategies for Management* (págs. 413-428). London: The Institute of Logistics and Transport.

Christopher, M. (1998). *Logistics & supply chain management: strategies for reducing costs and improving services*. London: Pitman Publishing.

DeSouza, G., Beresford, A., & Pettit, S. (2003). *Liner Shipping Companies and Terminal Ope-*

- rators: Internationalization or Globalization? *Maritime, Economics and Logistics*, 393-412.
- Díaz-Bautista, A. (2008). *Los Puertos en México y la Política Económica Portuaria Internacional*. Observatorio de la Economía Latinoamericana.
- Durango, E. L. (2008). *Integración de la cadena de suministro: alianza estratégica y ventaja competitiva para las pymes*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Fourie, Y. (2006). *Structuring South African maritime supply chain (SC) for higher efficiency*. Johannesburg: PhD Dissertation.
- Frohlich, L., & Westbrook, R. (2001). *Arcs of Integration: An International Study of Supply Chain Strategies*. *Journal of Operations Management*, 185-200.
- Grant, D. B., Lambert, D., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (2006). *Fundamentals of logistics management*. Berkshire: McGraw-Hill.
- Jiménez, E., & Hernández, S. (2002). *Marco conceptual de la cadena de suministro: un nuevo enfoque logístico*. *Publicación técnica 215 SCT*, 1-249.
- Johnson, J. (1999). *Strategic Integration in Distribution Channels: Managing the Interfirm Relationship as a Strategic Asset*. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 4-18.
- Kalwani, M. U., & Narayandas, N. (1995). *Long-term manufacturer-supplier relationships. Do they pay?* *Journal of Marketing*, 4-18.
- Lewis, I., & Talalayevsky, A. (1997). *Logistics and Information Technology: A Coordination Perspective*. *Journal of Business Logistics*, 141-157.
- Marlow, P., & Paixao, A. (2003). *Measuring Lean Ports Performance*. *International Journal of Transport Management*, 189-202.
- Martner, C. (2008). *Redes globales e integración territorial de los puertos mexicanos*. *Mirada Ferroviaria*, 3ra. época, 14-24.
- Moreno, A. (2012). *Análisis de los elementos que integran la cadena de suministros para sustentar la competitividad*. Lima: Organización de Estados Americanos.
- Narasimhan, R., & Das, A. (1999). *An Empirical Investigation of the Contribution of Strategic Sourcing to Manufacturing Flexibilities and Performance*. *Decision Sciences*, 683-718.
- Narasimhan, R., & Jayaram, J. (1998). *Causal Linkages in Supply Chain Management: An Exploratory Study of North American Manufacturing Firms*. *Decision Sciences*, 579-605.
- Narasimhan, R., & Kim, S. (2002). *Effect of Supply Chain Integration on the Relationship Between Diversification and Performance: Evidence from Japanese and Korean Firms*. *Journal of Operations Management*, 303-323.
- O'Leary-Kelly, S., & Flores, B. (2002). *The Integration of Manufacturing and Marketing/Sales Decisions: Impact on Organizational Performance*. *Journal of Operations Management*, 221-240.
- Ojeda, J. N. (2008). *Cuatro puertos de México en un mundo globalizado: ¿entre la exclusión y el crecimiento (1982-2004)?* Málaga: Tesis doctoral Eumed.
- Paixao, A., & Marlow, P. (2003). *Fourth Generation Ports-A Question of Agility?* *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 355-376.
- Panayides, P. M., & Song, D. W. (2009). *Port integration in global supply chains: measures and implications for maritime logistics*. *International Journal of Logistics Research*, 133-145.
- Panayides, P. M. (2006). *Maritime logistics and global supply chains: towards a research agenda*. *Maritime Economics & Logistics*, 3-18.
- Pérez, G. (2009). *La necesidad de establecer políticas integrales de infraestructura, transporte y logística*. *CEPAL Boletín FAL*, 1-4.
- Pienaar, W. (2009). *Introduction to Business Logistics*. London: Oxford University.
- Porter, M. (2008). *The five competitive forces that shape strategy*. *Harvard Business Review*, 1-18.

- Song, D. W., & Panayides, P. M. (2007). Global Supply Chain and Port/Terminal: Integration and Competitiveness. KNU Conference, (págs. 1-14). Taiwan.
- Tomassian, G., Pérez, G., & Sánchez, R. (2010). Políticas integradas de infraestructura, transporte y logística: experiencias internacionales y propuestas iniciales. CEPAL, Recursos naturales e infraestructura, 1-64.
- Tongzon, J., & Heng, W. (2005). Port Privatization, Efficiency and Competitiveness: Some Empirical Evidence from Container Ports (Terminals). *Transportation Research*, 405-424.
- Vickery, S., Jayaram, J., Droge, C., & Calantone, R. (2003). The Effects of an Integrative Supply Chain Strategy on Customer Service and Financial Performance: Analysis of Direct Versus Indirect Relationships. *Journal of Operations Management*, 523-539.
- Wang, L. (2011). Study on Port Logistics Marketing under the Environment of Supply Chain . *International Journal of Business and Management*, 267-271.

CAPÍTULO 2

MARCO CONTEXTUAL DE UN MODELO HUMANO TECNO-ESTRUCTURAL DE COMPETENCIAS DIRECTIVAS PARA EL AUTOTRANSPORTE DE CARGA

Dr. Antonio Oswaldo Ortega Reyes^{a*}, Ciudad del Conocimiento, Mtro. Eduardo Cruz Aldana^b, Mtro. Héctor Figueroa Urrea^b.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo^a
oswaldoo@yahoo.com.mx^{a*}

Politécnica Metropolitana de Hidalgo

RESUMEN

El presente capítulo muestra una indagatoria teórica a partir de una revisión de la literatura, y expone una aproximación a la conceptualización central e integral de las competencias directivas existentes en México como recurso para la optimización en el sector transporte, particularmente en el Autotransporte de Carga (AC) como un primer elemento de análisis que permita implementar para este fin un Modelo Humano Tecno-Estructural (MHTE). Para ello, se realizó una revisión documental del encuadre teórico - conceptual que guarda el desarrollo de competencias directivas en el AC y su comparación con otros subsectores del mismo giro en diversas partes del mundo. En dicha revisión se consultaron diversos informes oficiales de dependencias gubernamentales y organismos que regulan determinados procesos en el AC, concretamente en la conceptualización central e integral del capital humano como un recurso para la optimización del AC. Finalmente, se define la participación del personal en funciones directivas dentro del giro de competencias directivas del AC de forma estructurada en la organización, mediante una tabla de competencias directivas básicas para el AC en México, con lo cual se establecen las bases para el desarrollo de proyectos de investigación futuros sobre el tema.

Palabras claves: Transporte, Optimización, Competencias Directivas

ABSTRACT

This chapter presents a theoretical research based on a literature review, and sets out an approach to the central and integral conceptualization of existing management skills in Mexico as a resource for optimizing the Heavy Lift Transportation (HLT) sector as a first element of analysis to develop for this purpose a Human-Techno-Structural Model (HTEM), showing a conceptual development of management skills in the HLT and its comparison with other subsectors in the same business in different parts of the world - For this, a literature review was performed of the theoretical framework. The review includes several official reports of government departments and agencies that regulate processes in HLT, particularly in the central and integral conceptualization of human capital as a resource for the optimization of AC. Finally, staff participation in leadership roles defined within the rotation of the AC management skills within the structure of the organization, using a table of basic managerial skills for the AC in Mexico, this sets the basis for future research projects on the subject.

Key words: Heavy lift transportation, Optimization, Managerial competencies.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la globalización crea en las organizaciones la necesidad de optimizar sus procesos a fin de ser más rentables en un ambiente dinámico que demanda el desarrollo de competencias desde la alta dirección hasta el personal básico, con el fin de estructurar la gestión de conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes positivas en su personal.

El tema del desarrollo de competencias directivas no es nuevo, de acuerdo con Jensen (2000), desde épocas de la revolución industrial, este concepto ha sido trascendental en el desarrollo estructural de las organizaciones, al pasar de los pequeños talleres de trabajadores independientes a organizaciones cada vez más grandes y estructuradas; con esto, también cambió la complejidad de integrar los recursos de dichas organizaciones a fin de ser más competitivas, creando la necesidad de desarrollar modelos de dirección que pudieran responder a las necesidades de ese momento, tomando en cuenta la complejidad de los modelos de competencias, habilidades y técnicas gerenciales que se desarrollan en las organizaciones.

De acuerdo con Kaplan y Norton (2001), dentro de los mercados internacionales las organizaciones deben priorizar en la capacitación del personal a fin de fortalecer el capital intelectual en su organización para crear valor en los activos fijos y tangibles de la empresa, pues el valor está en las ideas que tienen las personas distribuidas por toda la empresa, en las relaciones con clientes y proveedores, en las bases de datos con informaciones clave y en la cultura de innovación y calidad.

Para Mercado, del Moral y Jiménez (2011), dicho valor intelectual se establece desde la dirección de una organización al establecer la relación entre las habilidades directivas y el uso de competencias al momento de estructurar el desempeño de una organización ya que establecen la necesidad por parte del autotransporte de carga de entender el funcionamiento sistémico de la cadena de suministro y de sus clientes o usuarios como una continua adaptación entre las capacidades internas de una organización y su contexto externo por medio del desarrollo de competencias directivas (ver Figura 1). De esta manera, es factible integrar bajo un modelo estructurado, no solo las normativas existentes en México, tales como las normas ISO/IEC 17020:2012 que evalúan la conformidad en la aplicación de la NOM-061-SCT-2-2000 para la regulación de las condiciones físico mecánicas de las unidades de transporte, la NOM-012-SCT-2-2008 que regula su peso y dimensiones, sino también las que organismos como la Cámara Nacional de Autotransporte de Carga (CANACAR), la Asociación Nacional de Transporte Privado (ANTP), la Conferencia Nacional de Transportistas Mexicanos (CONATRAM), la Alianza Mexicana de Organizaciones Transportistas (AMOTAC) y aquellas relacionadas con organismos de Estados Unidos de Norteamérica como TEAMSTERS o American Trucking Association (ATA) quienes realizan certificaciones con C-TPAT, FAST, BASC entre otros.



Figura 1: Normatividad aplicable al AC
Fuente: Elaboración propia

Con lo anterior, se busca la reducción de riesgos en la cadena de suministros dentro del AC, enfocándose a la entrega de productos a mejores precios y con mejores servicios a los clientes finales con un claro planteamiento de lo que estos esperan para el futuro a mediano y largo plazo (Ver figura 2).

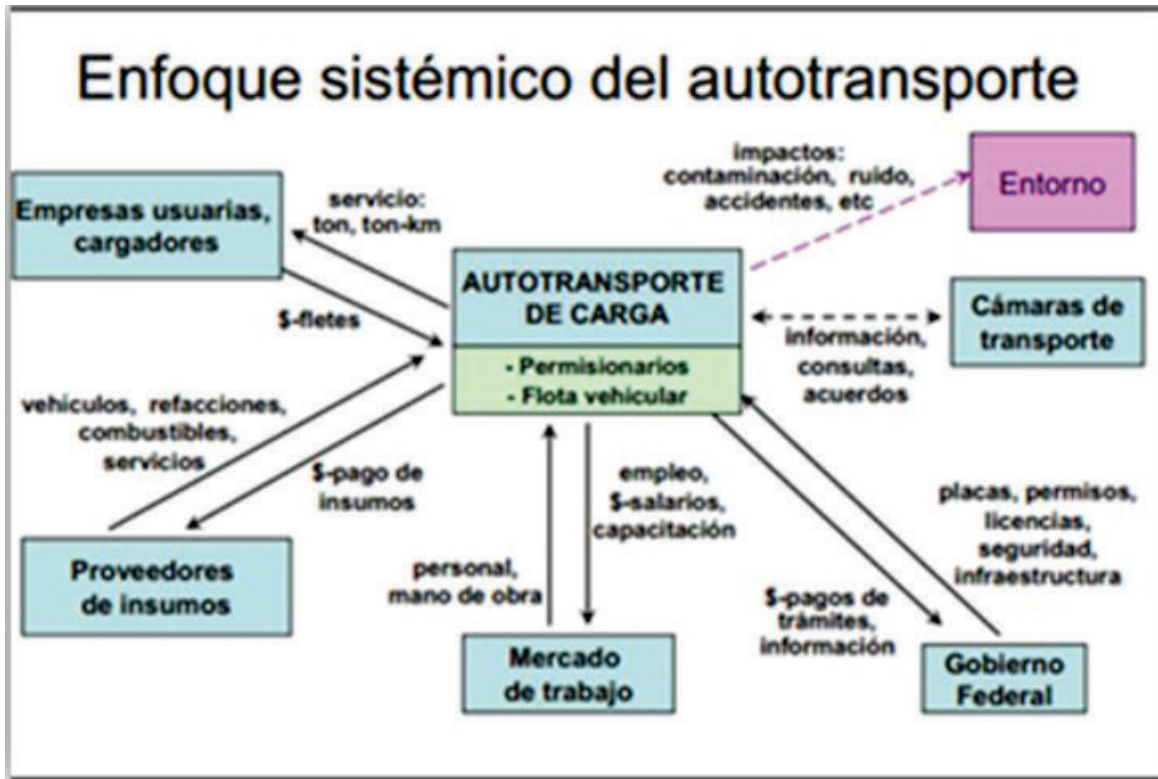


Figura 2: Enfoque sistémico del autotransporte.

Fuente: Indicadores Económicas del autotransporte federal de carga, 2011.

A partir de los antecedentes aquí presentados, se cuenta con elementos empíricos para sustentar una propuesta que permita mejorar los indicadores logísticos en el AFC y en consecuencia su productividad así como su cadena de suministro. Para ello, enseguida se expone una revisión teórica de tales aspectos.

II. MARCO TEÓRICO

Para Jensen (2000), el tema de desarrollo de competencias directivas no es tema nuevo y desde la revolución industrial el concepto de una organización artesanal de pequeños talleres y de trabajadores independientes ha ido cambiando a organizaciones cada vez más grandes. Con ello también cambió la complejidad de integrar los recursos de estas organizaciones a fin de ser más competitivas, creando la necesidad de desarrollar escuelas de dirección que pudieran responder a las necesidades de ese momento, ejemplo de ellas son la escuela clásica o científica (Taylor, Fayol), la de relaciones humanas (Maslow, McGregor, Likert, Herzberg), entre otras.

Autores como Bartunek, Balogun y Haga (2011), sugieren que las escuelas que marcaron un precedente en el desarrollo de competencias directivas fueron la escuela clásica o científica, la de relaciones humanas y la de sistemas.

Aunque Taylor de acuerdo con Howell y Brown (1987), inicia con una aportación en la cual destaca que la administración debe estar fundamentada en cinco principios: la investigación, estándares, planificación, control y cooperación. También estableció el principio de

organización científica, basada en una actitud racionalista sobre la división del trabajo. Esta escuela se basa en el sistema de medición de tiempos, sistema de trabajos con primas económicas, estudio de tiempos y movimientos, simplificación de trabajos y trabajo en cadena.

Es importante destacar que antes de Taylor no existía un método objetivo para determinar qué tan rápido se debe hacer un trabajo. La mayoría de los gerentes utilizaron simplemente la experiencia como guía y Taylor aportó la idea de romper la tarea de trabajo en sus elementos constitutivos o mociones, para eliminar movimientos muertos o desperdiciados (Taylor, 1967).

Autores como Locke (1982) evalúan los conceptos y aplicaciones de Taylor, mostrando un estado de las Ideas y técnicas de Taylor en gestión directiva Contemporánea, como se puede ver en la tabla 2.

Locke (1982) evalúa los conceptos y aplicaciones de Frederick W. Taylor, mostrando un estado de las ideas y técnicas en gestión directiva contemporánea en la cual se pueden observar dos aspectos, uno de ellos el filosófico y el otro el aspecto técnico, en ambos; el análisis que se muestra está relacionado a los conceptos específicos de cada uno de ellos bajo la premisa de su aplicación dentro de la gestión directiva mostrando el grado de aplicación desde el punto vista del autor antes mencionado, como se puede ver en la tabla 1.

Tabla 1. Estado de las Ideas y Técnicas de Taylor en Gestión Contemporánea

	VÁLIDO	ACTUAL	CONCEPTO
FILOSOFÍA			
La toma de decisiones Científica	Sí	Sí	Ciencia de la administración: la investigación de operaciones, contabilidad de costos, etc.
La cooperación entre empleadores y trabajadores	Sí	Parcialmente	Una mayor cooperación entre empleadores y trabajadores (pero el conflicto no se elimina).
TÉCNICAS			
El tiempo y el estudio de movimientos	Sí	Sí	El uso generalizado; tiempos estándar.
Normalización	Sí	Sí	Los procedimientos estandarizados en muchos ámbitos; la ingeniería humana.
Tarea.	Sí	Sí	El establecimiento de objetivos, dirección por objetivos, la retroalimentación.

Bono	Sí	Cadavez más	La proliferación del sistema de recompensa, el Plan Scanlon, Improshare, necesita considerar el dinero en estudios de enriquecimiento de trabajo y de desarrollo Organizacional.
Trabajo individualizado	Parcialmente	Parcialmente	El reconocimiento de los peligros de los grupos, el pensamiento de grupo, la holgazanería social, teorías contextuales de la toma de decisiones en grupo, (pero los trabajos de grupo a veces más eficiente).
Gestión de la formación	Sí	Sí	Responsabilidad de la dirección de formación de los empleados
Selección Científica	Sí	Sí	Desarrollo de los campos de la psicología y el personal de gestión industrial.
Menos horas; pausas de descanso	Sí	Sí	40 horas (o menos) semana de trabajo; uso común de las pausas de descanso.

Fuente: Locke E., "The Ideas of Frederick W. Taylor: An Evaluation", 1982.

Para Baum y Rowley (2002), el desarrollo de competencias directivas debe estructurarse en un enfoque sistémico que analice el entorno de una organización bajo dos conceptos, el primero, relacionado a la teoría de una visión sistémica que involucre a la alta dirección dentro de la toma de decisiones y que incluya tanto factores de medio ambiente que rodeen a la organización y aquellos de carácter interno que puedan afectarla; y el segundo, relacionado con la estructuración de un modelado de los factores que intervienen en las organizaciones por medio de funciones objetivo.

Para Mintzberg (1973), es importante establecer las funciones de un directivo, pues desde su punto de vista es quien constituye la toma de decisiones, y aunado a lo anterior agrega que debe contener los roles de monitor, difusor y portavoz. El autor distingue cuatro roles en función del tipo de decisión que hay que tomar: el empresario, el gestor de anomalías, al administrador de recursos y el negociador.

Sin embargo para Schein (1978), se deben optimizar los procesos de una organización después de identificar, clasificar y establecer un modelo de habilidades directivas, estas se deben integrar en relación a las tareas y demandas propias del cargo directivo y sus habilidades gerenciales. Este modelo busca establecer tendencias e influencias dentro de la ejecución de tareas, por medio de una variedad de habilidades a fin de satisfacer múltiples dimensiones de rendimiento como se puede ver en la figura 3.

Tareas y Demandas de los Cargos Ejecutivos	Habilidades Críticas	Resultados Esperados
1.- Practicar gestión de organizaciones en economías de mercado con alta competencia.	1.- Motivación y valores.	1.- Efectividad y eficiencia organizacional.
2.- Administrar tecnología cada vez más compleja, cambiante, diversa y especializada.		
3.- Analizar grandes cantidades de datos usando tecnologías de información.	2.- Analíticas.	
4.- Relación con otros a un nivel interdisciplinario.	3.- Interpersonales.	2.- Compromiso y productividad del personal.
5.- Relacionarse con otros en idiomas, percepciones y culturas diferentes.		
6.- Configurar y reconfigurar equipos de trabajo según es demandado por diferentes circunstancias.		
7.- Alinear intereses propios y del personal con los de la organización.		
8.- Dominio de las disciplinas y temas del negocio en que se trabaja.	4.- Emocionales.	3.- Calidad y rapidez de productos y servicios.
9.- Manejo de temas interpersonales.		

Figura 3. Modelo de tareas, habilidades y resultados de Schein (1978)

Fuente: Schein, H.E. Career Dynamics Individual and Organizational Needs, 1978.

Para Katz (1974), es importante destacar que dichas funciones están establecidas por habilidades directivas y ejemplo de ello es la clasificación que distingue la necesidad de dividir las habilidades técnicas, humanas y conceptuales, y dentro de cada una de ellas existe un uso organizacional, (figura 4).

Habilidad	Definición
1. Habilidades técnicas	Son sus habilidades para usar los métodos procesos y técnicas de gestión.
2. Habilidades humanas	También conocidas como habilidades interpersonales son las utilizadas para congeniar con otras personas para entenderlas y para motivarlas y conducir las en el lugar de trabajo.
3. Habilidades conceptuales	Reflejan las capacidades mentales de los directivos para visualizar todas complejas interrelaciones que existen en un lugar de trabajo. Las habilidades conceptuales permiten al directivo entender cómo encajan y cómo interactúan los diversos factores en situaciones particulares.

Figura 4. Modelo de habilidades directivas de Katz (1974)

Fuente: Skills of an effective Administrator, Katz, 1974.

Kaplan y Norton (2001), describen cómo el desarrollo de competencias directivas puede coadyuvar a la prevención de los principales riesgos de una organización al evolucionar conforme lo hace el entorno, anticipándose a posibles cambios, generando así, opciones que permitan aprovechar posibles nuevas condiciones así como las estrategias a utilizar en beneficio en las relaciones con clientes y proveedores, dentro de una cultura de innovación y calidad.

En este sentido, Chaparro (2001) considera que el desarrollo del conocimiento en una organización crea un impacto social, debido a que tiene como objetivo incrementar la productividad, eficiencia y salud del recurso humano disponible, a fin de mejorar la competitividad dentro de la cadena de suministro.

Lo anteriormente mencionado, tiene relación directa con los procesos de mejora, mismos que a fin de desarrollar competencias directivas, requieren integrar aspectos de capacitación que permitan al AC avanzar como sector estratégico bajo una premisa implícita de reestructuración. Esto apoyado en el rápido desarrollo que los medios de transporte tienen hoy en día, así como en los avances en las tecnologías de la información, en el uso de herramientas de clase mundial y en el estudio de las competencias laborales, a fin de desarrollar capital intelectual dentro de las organizaciones pertenecientes al AC.

III. METODOLOGÍA

A continuación se presenta brevemente la metodología que se siguió en la presente investigación, toda vez que fue de carácter eminentemente exploratorio no se presentan hipótesis de trabajo. Bajo esta perspectiva, se estableció un diagnóstico de las competencias directivas existentes en el país, como un primer elemento de análisis que permita implementar un Modelo Humano Tecno-Estructural (MHTE), para lo cual, se realizó una revisión documental del estado del arte que guarda el desarrollo de competencias directivas en el AC. Por esta razón, la intención es proveer de elementos de reflexión y análisis que den orientación al desarrollo de investigaciones posteriores. Con base en lo anterior es importante señalar que han existido múltiples estudios relacionados con la determinación de un perfil directivo en diversas áreas de estudio, de igual forma se han determinado diversos modelos en diversas investigaciones formales y empíricas vistas desde varios enfoques como el social, el psicológico, el administrativo y hasta el médico entre otros, en esta sección solo se abordarán algunos que se consideran necesarios o acercados a lo que se busca en este estudio.

Dentro del marco contextual de competencias directivas existe el concepto de certificación el cual identifica la necesidad de establecer campos de acción dentro de una organización hacia el concepto de personal competente en ciertas áreas específicas para desarrollar su trabajo de forma competitiva con estándares globales de desempeño. Este concepto es común en sociedades sajonas debido a su formación y consolidación a través de inmigrantes de muchas partes del mundo, comenzando a desarrollar modelos de competencias específicas a nivel técnico, los cuales se han ido perfeccionando con el paso del tiempo.

En el área del AC de México el desarrollo de competencias directivas carece de un marco que defina claramente las especificaciones que un gerente de transporte de cumplir.

Al analizar el contexto de competencias a nivel directivo, se identifica la gran diversidad de responsabilidades que un directivo del área, debe conocer y dominar. Como resultado del enfoque técnico - operativo de certificaciones laborales a través de este tipo de sistemas, el alcance a nivel directivo resulta insuficiente en los casos de formación profesional de los directivos de las empresas del AC., la cual busca analizar un cuadro comparativo de

organismos certificadores en otros países, como se ver en la tabla 2.

Tabla 2: Cuadro comparativo de organismos certificadores en otros países

PAÍS	CERTIFICADOR
EUA	American Production and Inventory Control Society APICS
CANADÁ	Canadian Supply chain sector council CSCSC CITT Canadian Institute of traffic & Transportation
AUSTRALIA	Industry Skills Councils ISC
EUROPA	European Competencies Framework CF
COLOMBIA	Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
CHILE	Chilevalora
MÉXICO	Sistema Nacional de Competencias SNC, Conoci- miento Competitividad y Crecimiento CONOCER

Fuente: Elaboración propia con base en autores reportados en la bibliografía.

La certificación de un ejecutivo del área en los Estados Unidos se obtiene a través de APICS; la cual certifica profesionales en el campo de logística y cadena de suministros con certificaciones periódicas, con tiempo de vigencia variable según el área específica, es la que mejor define el perfil directivo ideal a detalle. Canadá define con un estándar ocupacional a la descripción detallada del puesto, las características de los profesionales en el ramo de logística y transporte, desglosando de forma completa el perfil del directivo de las empresas de transporte.

Existen algunos estudios previos relacionados con las competencias del transporte en México propuestas por la organización CONOCER (2010) que se publican de forma anual y en la cual se enfatizan cierto de tipo de habilidades a nivel operativo primordialmente, pero sin considerar el nivel jerárquico más alto dentro de las empresas del transporte. Esta situación es recurrente en los países del área donde no existen criterios más allá de nivel técnico.

Es importante mencionar esta carencia en la definición de competencias directivas en el área a nivel Latino América y que es subsanada por las grandes empresas aplicando la certificación APICS (incluso en países industrializados es bien recibida); más no ha sido del todo adaptada al entorno nacional por lo que muchos criterios están descontextualizados; por otro lado no considera al gran subsector existente de la empresa hombre-camión que siendo más de la mitad de las empresas de transporte queda fuera de su alcance. Aunado a lo anterior se consultaron diversas publicaciones relacionadas a las competencias directivas procedentes de fuentes internacionales, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3: Tabla comparativa artículos relacionados a las competencias directivas.

Título	Autor	Año	Tema	Variable	Método	Resultados	Propuesta/Contribución
Directive versus Empowering Leadership: A Field Experiment Comparing Impacts on Task Proficiency and Proactivity	Scott L. Martin, Hui Liao, and Elizabeth M. Campbell	2013	Una comparación de empoderamiento del liderazgo directivo con relación al grado en que los empleados cumplan con los requisitos formales de trabajo.	Liderazgo directivo Liderazgo capacitador proactividad	diseño experimental	Diseñar una forma en la cual se desarrolle un modelo por medio del liderazgo directivo y capacitador el desempeño autodirigido del trabajador	El uso del diseño de experimentos dentro de los factores de liderazgo a fin de transformar una cultura organizacional
Book & Resource Reviews	1. John Weeks	2007	La enseñanza de Ejecutivos para implementar el cambio organizacional Usando el Pro Simulación Cambio	Simulación Cambio organizacional Habilidades directivas	comparativo	Sensibilizar al directivo sobre el cambio organizacional a través de un software de simulación de Pro Formas de Aprendizaje.	Como sensibilizar un cambio organizacional a través del uso de TI
Strategy as creativefiction	Peter Brews	2007	La innovación dentro de la toma de decisiones de una organización	Plan de negocios control a través de los recursos humanos control a través de mandato control de la planificación controlar a través de la gestión de riesgos	comparativo	Es muy importante que una organización innove estrategias a fin de satisfacer al cliente final en base a una planeación que involucre a toda la organización.	Existen cuatro formas de controlar este proceso: 1.- control a través de los recursos humanos, 2.- control a través de mandato, 3.- control de la planificación, 4.- controlar a través de la gestión de riesgos
The Impact of Cultural Values on Employee Resistance to Teams: Toward A Model of Globalized Self-Managing Work Team Effectiveness	Bradley L. Kirkman and Debra L. Shapiro	1997	La resistencia derivada de los valores culturales que son traídos por los empleados de la organización.	Efectividad Organizacional agentes de cambio Resistencia al cambio Factores socio culturales Estructura Organizacional	comparativo	Los investigadores deberían esforzarse por desarrollar y probar modelos de la eficacia del equipo de trabajo, que incluyen la cultura como una variable explicativa.	Incluir el efecto de cultura en un modelo de cambio organizacional
Manufactura de Clase Mundial: La próxima década	Richard J. Schonberger	1996	Aboga por un énfasis en la gestión “por los indicadores financieros, de procesos”	Recursos Humanos Manufactura Herramientas de Competencias Directivas	comparativo	El uso de indicadores es de gran ayuda en una organización al centrar se en la satisfacción del cliente, por medio de la alineación de sus recursos.	Ofrece una serie de recomendaciones. En primer lugar, todos los trabajadores deben ser gerentes en el sentido de que todos los trabajos deben incorporar la responsabilidad de la mejora de procesos, tales mejoras no sólo son responsabilidad de los gerentes o especialistas. El trabajo debería organizarse en torno de múltiples funciones, no solo la función, los equipos. También, porque los directivos pueden ser útiles para “llenar el vacío” y motivar los comportamientos deseados.

The Situational Leadership Theory: A Critical View	Claude L. Graeff	1983	Módulo de liderazgo organizacional	Cambio organizacional Gestión liderazgo Investigación adaptabilidad (Psicología) empleados - Formación de comportamiento Organizacional Investigación rendimiento - Gestión Desempeño en el trabajo motivación	Comparativo	En el liderazgo se debe reconocer la necesidad de flexibilizar el comportamiento por parte del líder (Yukl, 1981). Además, de reconocer en la subordinación la conducta del líder y que esta sea adecuada para influir en los esfuerzos colectivos hacia el logro de metas.	El modelo normativo para la aplicación de la teoría de liderazgo y el instrumento de diagnóstico para medir el estilo líder, rango de estilo, confiable. El concepto de madurez relevante para la tarea que se ha observado que es conceptualmente ambigua (Barrow, 1977; Yukl, 1981) también presenta serios problemas de consistencia interna. Incluyendo una contradicción conceptual sustancial. Una falta de una explicación teórica o justificación de la forma en los dos componentes de la madurez se combinan en los niveles importantes de gama media de madurez (M-2 y M-3).
Las variables de Liderazgo: Una revisión conceptual	1. Jeffrey C. Barrow 1	1977	Elaboración de un marco conceptual con base empírica de liderazgo mediante la revisión de gran parte de la literatura existente	liderazgo - investigación influencia social investigación gestión las empresas comerciales - investigación efectividad organizacional la investigación del comportamiento capacidad ejecutivo (gestión) investigación organizacional personalidad y la motivación personalidad y ocupación la conducta humana - investigación	Comparativo	El Marco de Efectividad del liderazgo proporciona un mecanismo parcial para la superación de las cuatro áreas de problemas que afectan actualmente a la investigación de liderazgo. Primera Área: numerosas influencias ambientales que tienen un impacto en la efectividad del liderazgo Segunda Área: se han identificado numerosas dimensiones características líder. Tercer Área: el diseño del marco indica que puede ser más útil para conceptualizar la eficacia del liderazgo cuarta Área: la función de integración es compleja por las relaciones lineales que existen en ellas.	Esta revisión y propuesta de Marco de Efectividad de Liderazgo proporcionan una conceptualización más unificada de liderazgo y demuestran la posibilidad de integrar los resultados de un fenómeno tan diverso. El Marco representa un esfuerzo inicial para derivar empíricamente una estructura manejable de la investigación sobre la multitud de posibles variables que pueden influir en la comprensión de la efectividad del liderazgo. Se espera que la investigación futura se orientara a perfeccionar dicho marco y la integración de los resultados de eficacia de liderazgo, las investigaciones empíricas, una vez se ha completado.

Fuente: Elaboración propia con base a información de The Academy of Management (AOM; the Academy).

Concretamente en la conceptualización central e integral del capital humano como un recurso para la optimización del AC, y de acuerdo a las publicaciones antes mencionadas se muestra la necesidad de estructurar bajo un modelo de competencias directivas basado

en la definición previa de tareas, habilidades directivas y macro procesos que estén relacionadas en la construcción y consolidación de el alineamiento estratégico de una organización para establecer un comparativo de mejora hasta la consolidación de su razón de ser, como se describe en el modelo a presentar en este trabajo de investigación. Dentro del desarrollo económico de México, es observable la necesidad de estandarizar competencias del sector del AC, al analizar como un factor más el crecimiento esperado en donde en el escenario más pesimista se previó un incremento de más de cien mil empleos para el año 2020 respecto al 2010, de acuerdo con el CONOCER (2010), (ver figura 5).

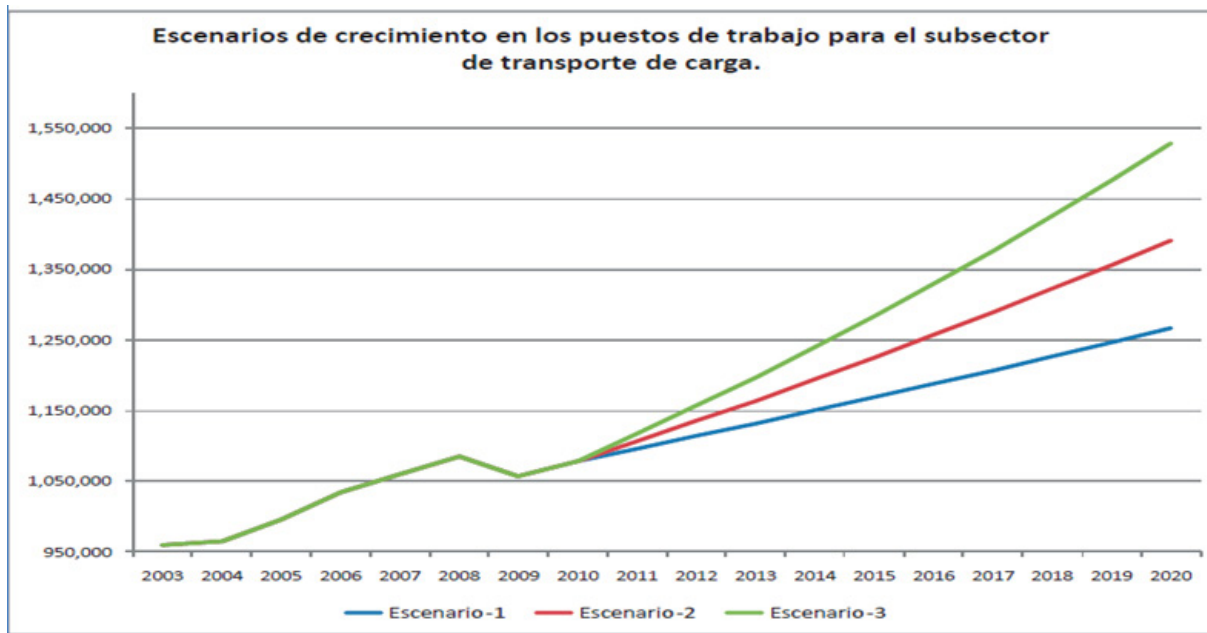


Figura 5: Escenarios de crecimiento en los puestos de trabajo para el AFC.
Fuente: CONOCER, (2010).

De acuerdo con Mercado, del Moral y Jiménez (2011), las empresas del AC en México, tienen un desempeño por debajo del estándar en relación a las instalaciones que en promedio cuentan y que, este fenómeno, se presenta por la falta de una profesionalización en el ámbito de competencias directivas en el AC, ya que muchas organizaciones desconocen las herramientas de gestión y en su caso, la forma de aplicarlas para mejorar su desempeño.

Uno de los primeros pasos para estandarizar las competencias del AC en México, se realizó en 2007 cuando la Secretaría de Economía (SE) se dio a la tarea de promover en la Dirección General de Autotransporte Federal (DGAF), el Comité de Gestión por Competencias para la Logística y la Cadena de Suministro (CGCLCS), retomado en 2009 como una iniciativa de estudio, en la cual la SE promueve y organiza dicho Comité en México que fue instalado oficialmente el 4 de marzo de 2010. Actualmente el CGCLCS cuenta con 6 grupos técnicos: Almacenes, Ferroviario, Autotransporte, Grúas Móviles, Marítimo y Montacargas. Este comité tiene como funciones:

- Promover el desarrollo y la implantación del Sistema nacional de Competencias en las funciones relacionadas con la Logística y la Cadena de Suministro.
- Definir la agenda del capital humano.
- Promover el desarrollo del Mapa Funcional del sector.
- Desarrollar y/o actualizar estándares de competencia.
- Desarrollar y actualizar instrumentos de evaluación.

- Desarrollar y actualizar Mecanismos de Consecuencias que incentiven la certificación de trabajadores.
- Dar seguimiento e impulsar la operación de las soluciones de Evaluación y Certificación.

También es importante señalar que la normalización de competencias se diseñó en los siguientes puestos: almacenistas, bodegueros, empleados de registro de existencias, empleados de suministros, jefes de almacén, empleados de cálculo de materiales, empleados de planificación de producción, empleados de servicios de control de peso y programadores de producción entre otros; de acuerdo con lo anterior, se puede observar que las competencias propuestas inciden directamente en los puestos operativos, dejando de lado las competencias directivas de los mandos superiores en la cadena de suministro.

En materia de regulación, la Dirección General de Autotransporte Federal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes expidió la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2008, “Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal”, misma que fue modificada en 2012 con la intención de disminuir los accidentes y daños a infraestructura debido a exceso de dimensiones y carga en camiones doblemente articulados.

Sin embargo, al comparar dicha norma con los estándares de los socios comerciales de México, se muestra que esta norma regulatoria es flexible a pesar de ser una de las más completas en cuanto a requerimientos y especificaciones como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3: Comparación de límites de peso y dimensiones para vehículos similares en México, Estados Unidos y Canadá.

Vehículo	Límite	México NOM-012- SCT-2-2008	Estados Unidos	Canadá
			Vehículo comparable	Vehículo comparable
T2-S1-R2	Peso (t)	52	36.4	41.9
	Largo (m)	31	18.7	25
T3-S2-R2	Peso	67.5	48	53.5
	Largo	31	29	31
T3-S2-R4*	Peso	80	58.6	53.5
	Largo	31	32.3	41
T3-S3-S2	Peso	68	56.8	62.5
	Largo	25	33.5	25
*Vehículo diferenciado				

Fuente: Hedges (2011).

Un estudio realizado por el CONOCER (2012), determinó que a los transportistas les interesa certificar a sus operarios en diversos aspectos, tales como control de flota, planeación de rutas y almacenamiento, entre otros, sin embargo no menciona la certificación de competencias directivas. Ver figura 6.

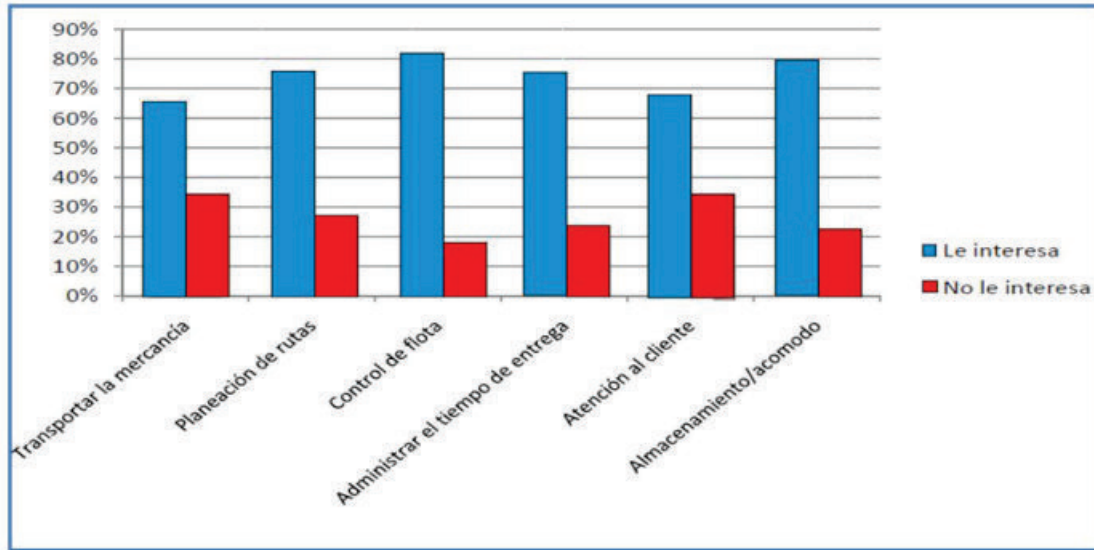


Figura 6: Interés por certificar las competencias de los trabajadores
Fuente: CONOCER, 2012

El CONOCER (2014), informa que el sector transporte solo cuenta con 15 estándares registrados, en tanto que el sector logístico, que va de la mano con el sector transporte solo tiene 9 estándares registrados, como se puede ver en la tabla 4.

Tabla 4: Registro Nacional de Estándares de competencias en los sectores de Logística

Sector: Tecnologías de la Información (17 Estándares)		
Sector: Transporte (15 Estándares)		
EC0418	Supervisión de las condiciones del transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos	Asociación Nacional de la Industria Química
EC0149	Operación de vehículo oficial para transporte de personal	Sector Hídrico
EC0191	Operación de autobús urbano	Sector de Transportes del Estado de Puebla
EC0194	Operación de vehículo colectivo Van	Sector de Transportes del Estado de Puebla
EC0245	Operación de Vehículo Unitario Taxi Terrestre	Sector de Transportes del Estado de Puebla
EC0004	Preparación de órganos para ajuste en banco	Sistema de Transporte Colectivo
EC0007	Preparación del diferencial para su mantenimiento	Sistema de Transporte Colectivo
EC0008	Desarmado del boguie	Sistema de Transporte Colectivo
EC0147	Armado del Puente Diferencial	Sistema de Transporte Colectivo
EC0309	Conducción del metro férreo	Sistema de Transporte Colectivo
EC0310	Mantenimiento a los torniquetes de acceso a transporte terrestre con lector de boletos magnéticos y validador de tarjetas recargables	Sistema de Transporte Colectivo
EC0311	Mantenimiento preventivo a equipos hidroneumáticos y de bombeo con alternancia y simultáneo para el suministro de agua	Sistema de Transporte Colectivo
EC0312	Mantenimiento preventivo a sistemas centrales de enfriamiento de aire acondicionado de expansión directa.	Sistema de Transporte Colectivo
EC0382	Mantenimiento preventivo a disyuntores de corriente continua	Sistema de Transporte Colectivo
EC0246	Operación del vehículo de transporte público individual	Transporte Público del Distrito Federal
Sector: Turismo (28 Estándares)		

Sector: Logística (9 Estándares)		
EC0288	Operación de Montacargas Vertical	Conservas Alimenticias
EC0139	Operación de la Grúa Móvil	Grúas y Dispositivos para Elevación e Izaje de Nuevo León
EC0201	Operación de la grúa viajera	Grúas y Dispositivos para Elevación e Izaje de Nuevo León
EC0202	Operación de la grúa hidráulica móvil telescópica sobre neumáticos tipo sobre camión en instalaciones petroleras	Maniobras e Intervenciones Terrestres con Equipo de Levante del Estado de Tabasco
EC0203	Operación de la grúa hidráulica móvil telescópica sobre neumáticos tipo todo terreno convencional en instalaciones petroleras	Maniobras e Intervenciones Terrestres con Equipo de Levante del Estado de Tabasco
EC0089	Planificación del control de inventarios de productos	Para la Logística y la Cadena de Suministros en México
EC0198	Establecimiento del servicio doméstico de autotransporte de productos	Para la Logística y la Cadena de Suministros en México
EC0283	Operación de grúa a bordo de buque	Para la Logística y la Cadena de Suministros en México
EC0200	Operación de Montacargas Horizontal	Para la Logística y la Cadena de Suministros en México / De la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción

Fuente: CONOCER, 2014

En la tabla 4, se observa que los estándares que se tienen registrados están orientados a las competencias operativas o de carácter técnico como la mecánica, mantenimiento de unidades de transporte y operación de diversas unidades, pero no existen referentes que se orienten al desarrollo y evaluación de competencias directivas.

Con relación al marco regulatorio, en el 2003, el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO) estableció que los objetivos de la SCT deben ser abordados con una estrategia integral, debido a que en el mundo existen mejores prácticas regulatorias que en México y que estas pueden ser implementadas para alcanzar mejores estándares de seguridad vial, protección a la infraestructura carretera y un mejor desempeño económico del sector autotransporte.

Esto sucede porque en otros países como Estados Unidos, las compañías operadoras de vehículos pesados deben contar con licencias bajo regulaciones federales, quienes para obtenerlas deben cumplir con la política de seguridad y responsabilidad financiera. Otro ejemplo es Australia, en donde se protege el ingreso salarial de los operadores de vehículos pesados, esto con la finalidad de evitar que los operadores infrinjan las reglas de tránsito con fines de lucro.

En lo que respecta a los índices de desempeño logístico, el Banco Mundial (BM) determinó que en el 2010 los costos logísticos de las empresas mexicanas fueron del 10.3% de las ventas y de estos, el 40% se refiere a costos de transporte, mientras que para el 2013, señala que México ocupó el lugar 50 de 160 países y los costos logísticos fueron del 10.7% de las ventas, de los cuales el 40% corresponden a costos de transporte y 60% a inventarios, procesamiento de pedidos, almacenamiento y planeación de la gestión de operaciones de transporte, lo que según AT Kearney (2013), dichos costos representan el 16% del Producto Interno Bruto (PIB).

En el entorno nacional, CONOCER cita en 2014 que el subsector AFC es uno de los más importantes para México, con una representación en 2012 de 4.7 % del PIB total, en 2013 contribuyó en un 5.3% al PIB y con 2 millones de empleos directos (5to lugar dentro de las 73 ramas económicas del país), transportando por carretera alrededor del 88% de todas las toneladas-kilómetros. El AFC a su vez tiene un alto impacto social y ambiental, al ser el responsable del 47% del consumo final de energía y del 91% de emisiones de gases contaminantes, según cifras de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2012).

Aunado a lo anterior, México ha tenido un descenso en los indicadores de competitividad,

cayendo del lugar 53 en 2012, al lugar 55 en 2013, particularmente los indicadores de educación y entrenamiento no son halagadores, debido a que muestran un descenso del lugar 77 en 2012, al lugar 85 en 2013. Ver figura 7.



Figura 7: Indicadores del Foro Económico Mundial 2013.
Fuente: CONOCER (2014), emitido por el Foro Económico Mundial 2013

Concretamente y en relación al desarrollo de capital intelectual en el AFC, CONOCER (2014) menciona el que los procesos de mejora puede integrar una capacitación estructurada para el desarrollo de competencias directivas que permitan al AFC desarrollarse como un subsector estratégico, bajo la premisa de que una reestructuración del subsector, impulsará su rápido desarrollo.

Así, Valencia (2012), establece que de acuerdo con la SE, las empresas invierten solamente el 4% de su presupuesto en asuntos de gestión administrativa, lo que presupone que la prioridad es el pago de impuestos, el almacenaje y el transporte con lo cual, el desarrollo de competencias directivas se deja de lado.

Resultados.

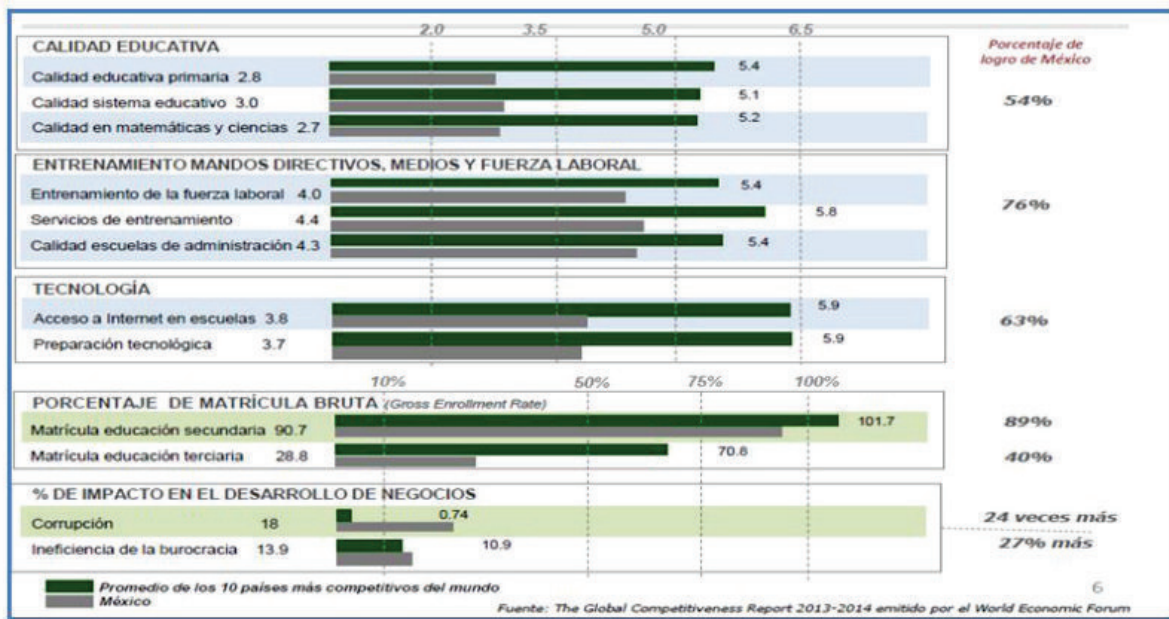
Con base en lo anterior se entiende por competencias directivas, aquellas que a niveles superiores de la gestión del AFC, deben poseer y ejercer aquellas personas sobre cuyos cargos directivos recaen las funciones que estén relacionadas a integrar la cadena de valor, y dentro de las decisiones administrativas de una organización optimicen el desempeño y la alineación estratégica de las organizaciones hacia su razón de ser, el cliente final, (Porter, 1999).

Para esto, el AFC requiere enfrentar diversos retos originados por la complejidad de los elementos que interactúan, incorporando nuevas técnicas y disciplinas desde los miembros de la organización que realizan el trabajo directamente relacionado, hasta el personal perteneciente a niveles directivos.

También se incluye el diagnóstico emitido por CONOCER (2014) basado del Global Competitiveness Report (GCR)(2013-2104), dentro del World Economic Fórum, en el cual se realiza un comparativo entre México y las 10 economías más competitivas del mundo, y se observa una disparidad en el AFC en los rubros de calidad educativa, entrenamientos

en mandos directivos, medios y fuerza laboral, tecnología, porcentaje de matrícula bruta y porcentaje de impacto en el desarrollo de negocios como se puede ver en la tabla 5.

Tabla 5: Comparativo entre México y las 10 economías más grandes del mundo.



Fuente: CONOCER (2014), emitido por el Foro Económico Mundial 2013-2014.

Al término de la primera etapa del análisis diagnóstico teórico - documental de las competencias directivas en el país, se pudo observar que un factor clave para su desarrollo se encuentra en el alto porcentaje de Dueños de 1 a 5 unidades de transporte “hombres-camión” y de pequeñas empresas transportistas que carecen de preparación en el desarrollo de competencias directivas, mostrando un gran rezago en comparación con otros países, como se puede ver en la tabla 8.

Tabla 8: Comparativo de operadores independientes AFC

Organización del sector	
País/Región	% de Operadores independientes
Brasil	62.1
Centro América	~58.0
África Sub-Sahariana	70.0
México	83.0

Fuente: SCT; SIECA; WTO

Una vez concluida la revisión documental del estado del arte que guarda el desarrollo de competencias directivas en el AFC, se estableció un diagnóstico de las competencias directivas existentes en el país, y bajo esta perspectiva se adopta el modelo de Schein (1978), quien conjunta las tareas, habilidades y resultados esperados dentro de las competencias directivas del AFC, como se puede ver en la Tabla 6.

Tabla 6: Tabla comparativa sobre competencias directivas en el AFC reportadas en la literatura.

Tareas y Demandas de cargos Directivos	Habilidades Criticas	Resultados Esperados
Programar los recursos humanos, financieros y el insumo de materiales, maquinaria, equipo y herramienta requeridos para la ejecución de los trabajos asignados	Empresariales	Efectividad y eficiencia financiera.
Planificar, validar y autorizar la asignación y utilización de los recursos asignados al servicio de transporte		
Analizar y evaluar los informes sobre las actividades y los resultados de la empresa		
Proponer alternativas de solución de conflictos en el ámbito interno de la organización y con los clientes y proveedores		Orientación hacia el cliente final.
Asumir responsabilidad para la toma de decisiones enfocadas al logro de objetivos planteados.		
Perseverar para mantener la calidad del servicio de la organización		
Asignar tareas para la ejecución y cumplimiento de los itinerarios de servicio	Prácticas./ Gestión	Efectividad y eficiencia en procesos internos
Vigilar y coordinar los programas de asignación de unidades de transporte		
Identificar e implementar los procedimientos correspondientes		
Planificar y estimar las rutas y destinos		
Proponer alternativas de solución de problemas técnicos y organizacionales.		Efectividad y eficiencia a la cadena de suministro
Conocimientos en administración, logística, planificación de rutas, costos y presupuestos.		
Planificar y estimar las rutas y destinos.	De Liderazgo	Productividad con el capital intelectual
Delegar y coordinar, la operación del programa de prestación de los servicios de Transporte.		
Supervisar al personal a cargo en sus actividades, corrigiendo las desviaciones detectadas.		
Asumir la responsabilidad en la toma de decisiones técnicas y organizacionales.		
Comunicar asertivamente en la transmisión de instrucciones.		
Promover la organización del trabajo		

Promover la actualización de la infraestructura del transporte, así como la planificación técnica y operativa.	De innovación	Sustentabilidad e Innovación
Usar las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC'S).		
Promover y aplicar sistemas, proyectos, y productos de apoyo a la conservación del ambiente y desarrollo sustentable en sus entornos laborales.		
Dar cumplimiento a las reglas y normatividad de seguridad vigente en materia de transporte.		
Habilidades Transversales		
1.-Comunicación verbal (incluye escuchar). 2. Manejo del tiempo y del estrés. creación de visión. 3. Manejo de decisiones individuales. 4. Reconocimiento, definición y resolución de problemas. 5. Motivación e influencia en los demás.	6. Delegación. 7. Fijación de metas y 8. Autoconocimiento. 9. Formación de equipos. 10. Manejo del conflicto.	

Fuente: Elaboración propia basada en Schein, H.E. Career Dynamics Individual and Organizational Needs, 1978., Journals The Academy of Management (AOM; the Academy), Mercado, J., del Moral, E. y Jiménez J. (2011), Diseño de cuadro de mando integral aplicado a la integración del transporte en la cadena de suministros (la quinta Perspectiva del balance scorecard) y Whetten y Cameron (2005), Desarrollo de habilidades directivas.

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo con lo expuesto, se concluye que el hecho de que la red de transportes en México dependa tanto del AC es resultado de no contar con alternativas que cubran la demanda por transporte y, en tanto el país determina nuevas estrategias para el desarrollo de infraestructura, es menester establecer alternativas que permitan desarrollar al AC, por lo que la propuesta de un Modelo Humano Tecno-Estructural que incorpore el conocimiento multidisciplinar del subsector AC que incluya, entre otros aspectos: el conocimiento convencional de las organizaciones de este subsector, la estandarización de las competencias directivas a fin de integrar una capacitación estructurada, el establecimiento y control de una adecuada regulación del transporte, así como la implementación de políticas de infraestructura y comunicación que permitan flexibilidad de operación, puede ser una alternativa que reduzca los costos y aumente la productividad del sector.

Se ha dado muestras de la tendencia de las regulaciones en países altamente innovadores en el sector de transporte carretero, el cual se dirige hacia una regulación basada en desempeño. La flexibilidad derivada de este tipo de enfoque puede evitar restricciones que afecten negativamente la competitividad de los agentes del sector, partiendo de la premisa de que una persona es competente, si es capaz de movilizar todos sus recursos para resolver una familia de tareas, en un contexto determinado, es menester establecer las competencias a nivel directivo en la gestión del AC, como el primer eslabón en la integración del Modelo Humano Tecno-Estructural, para su optimización y desarrollo.

Se ha evidenciado de igual manera, la necesidad de establecer un modelo que responda a los requerimientos que demandarán los nuevos puestos de trabajo en el AC, y que en el escenario más conservador, establecen un crecimiento de casi el 15% para el año 2020 en el sector logístico y de transporte (respecto al 2010), es indudable que este crecimiento en el sector deberá ser soportado no solo por la elaboración de escenario competencias tanto

técnicas como directivas (éstas últimas representan apenas el 5% del total de estándares del ramo logístico y de transporte), sino también por la coordinación de diferentes organismos tanto público como privados en su apropiación, seguimiento y evaluación.

Aún cuando por el carácter exploratorio de la presente investigación, no se tienen elementos contundentes de correlación entre el desarrollo de competencias directivas (básicas, genéricas, periódicas, específicas y eventuales) y la optimización de la gestión en el AC existe especial énfasis en la transversalidad de los tres ámbitos del modelo aquí propuesto: competencias humanas, técnicas y estructurales.

Finalmente, se considera que se han establecido elementos para el desarrollo de futuros proyectos de investigación, en los que se establezca, por ejemplo, el nivel de correlación existente entre las variables ya citadas.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bartunek J. M., Balogun J., Haga B. 2011. Teniendo en cuenta el cambio planificado de nuevo: Estirar las intervenciones de grupos grandes estratégicamente, emocionalmente, y de manera significativa. *Academia de Anales de gestión. the Academy of Management (AOM; the Academy).*
- Barrow J.C, (1977), *Las variables de Liderazgo: Una revisión conceptual, the Academy of Management (AOM; the Academy).*
- Baum J. AC, Rowley T.J. 2002. *Compañerito organizaciones: Una introducción.* En Baum J. AC (Ed.), *compañero de organizaciones: 18 - 34.* Nueva York :Oxford University Press.
- Bradley L. Kirkman and Debra L. Shapiro (1997) *The Impact of Cultural Values on Employee Resistance to Teams: Toward A Model of Globalized Self-Managing Work Team Effectiveness*
- Brews P (2007) *Strategy as creativefiction, the Academy of Management (AOM; the Academy).*
- Cardona, P. (1999, Diciembre), *En busca de las competencias directivas (en línea), España.* Consultado el 04 de Julio, 2014 en: <http://www.ee-iese.com/76/76pdf/afondo2.pdf>.
- Chaparro, F., (2001), *Desarrollo Humano en el desarrollo científico y tecnológico, México D.F., México.*
- CONOCER (2010) *Estrategias para el fortalecimiento del capital humano del sector,* recuperado <http://www.conocer.gob.mx/pdfs/documentos/logistica.pdf>
- CONOCER (2012), *En un escenario optimista, para el 2020 más de 615 mil trabajadores en la industria del autotransporte de carga en México demandarán una certificación en competencias, obtenido de :* http://www.conocer.gob.mx/templates/conocer/modulos_conocer/pdf/logistica_baja.pdf
- CONOCER (2014), *El Global Competitiveness Report (GCR).*
- Filley A. C. ,Casa R. J. ,Kerr S. *Proceso de gestión y Comportamiento Organizacional (Glenview, Ill. : Scott Foresman , 1976).*
- Hedges, Ch. (2011), *Review of Mexican experience with the regulation of large commercial motor vehicles. National Cooperative Highway Research Program.*
- Howell J. M y Brown, (1987), *El papel de los seguidores en el proceso de liderazgo carismático: Las relaciones y sus consecuencias. Academia de Management Review.*
- Jensen, B., (2000), *Simplicity-The New Comparative Advantage, Cambridge, MA Perseus PUBLISHING, 2000) pag 117*

- Katz R.L.(1974) Skills of an effective Administrator, Harcar Busines Review, 2009, Massachusetts
- Kaplan R. y Norton D.(2001), Cuadro de Mando Integral, Barcelona: Ediciones Gestión 2000 S.A.
- Kearney, A.T. (2013), Back to Business Optimism amid Uncertainty, Kearney Global Retail Development Index, EEUU, New York.
- Kearney, A.T. (s.f), Expanding Opportunities for Global Retailers, Kearney GlobalRetail. Development Index, EEUU, New York.
- Locke E.,(1982) The Ideas of Frederick W. Taylor: An Evaluation, University of Maryland.
- Mercado, J., del Moral, E. y Jiménez J. (2011), Diseño de cuadro de mando integral aplicado a la integración del transporte en la cadena de suministros (la quinta Perspectiva del balance scorecard), (en línea), consultado el 28 de enero 2014 en: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt347.pdf>
- Mintzberg (1973), The Nature of Managerial Work, New York: Harper & Row.
- OCDE, (2011), Moving Freight with Better Trucks: Improving Safety, Productivity and Sustainability. OECD Publishing.
- Ortega, R. A.O. (2012). Inteligencia Directiva. Aplicaciones prácticas en la función de dirección organizacional. Grupo Editorial Patria. México.
- Perrenoud, P. (2008), "Construir las competencias, ¿es darle la espalda a los saberes?", Revista de Docencia Universitaria, núm. monográfico II [en línea], pp. 1-8. Consultado el 28 de marzo de 2010 en: http://revistas.um.es/red_u/article/view-File/35261/33781.
- Petrick J., Scherer R., Brodzinski J., Quinn, Ainina(1999), Global leadershipskills and reputational capital: Intangible resources for sustainable competitive advantage
- Porter, M. (1999), Estrategia competitiva. Técnicas para el análisis de los sectores..... Industriales y de competencia. México D.F., México: C.E.C.S.A., México.
- Rey M. (2010). Perspectiva de la gestión logística en América Latina. Revista Énfasis Logístico. Consultado el 16 de enero de 2015 en <http://www.logisticamx.enfasis.com/notas/16833-perspectiva-la-gestion-logistica-america-latina>
- Scott L. Martin, Hui Liao, and Elizabeth M. Campbell, 2013) Directive versus Empowering Leadership: A Field Experiment Comparing Impacts on Task Proficiency and Proactivity
- SCT. (2012), Anuario Estadístico Sector Comunicaciones y Transportes. Dirección General dePlaneación.I
- Schein E.h. (1978), Career Dynamics: Matching Individual and Organizational Needs, Addison-Wesley Publishing Company, 1978
- Schonberger R.J. (1996), Manufactura de Clase Mundial: La próxima década
- SE, (s.f.), Agenda de Competitividad en Logística 2008-2012, México,México D.F.Subsecretaría de Industria y Comercio.
- S.E. (2010). Gestión Por competencias para la logística y la Cadena de suministros. Consultado el 15 de enero de 2015 en: <http://www.elogistica.economia.gob.mx/swb/work/models/elogistica/Resource/18/1/images/CGClogistica.pdf>
- SEP, (s.f), Sistema Nacional de Competencias de las Personas2014, México,.México D.F.
- T21 (2011). Comité de gestión de competencias para Logística Firma acuerdo con EU. Revista T21, Consultado el 10 de enero de 2015 en: <http://t21.com.mx/logistica/2011/03/30/comite-gestion-competencias-logi-stica-firma-acuerdo-eu>
- Taylor F. W. (1967), Los principios de la gerencia científica. Nueva York: Norton, 1967. (Originalmente publicado, 1911)
- Valencia (2012). La importancia del talento en la Gestión Logística. Revista Énfasis Logístico. Consultado el 15 de enero de 2015 en :<http://www.logisticamx.enfasis.com/articu>

los/63565-la-importancia-del-talento-la-gestion-logistica

Weeks J. (2007), Book & Resource Reviews, the Academy of Management (AOM; the Academy).

Whetten y Cameron (2005), Desarrollo de habilidades directivas, University of Michigan, editorial Pearson, México DF, México.

CAPÍTULO 3

BUENAS PRÁCTICAS EN EL USO DEL TRANSPORTE INTERMODAL EN ESTADO DE GUANAJUATO.

Norma Lízbeth Ramírez Cabrera^a, Sandra Téllez Vázquez^b, Huberto Araujo Gutierrez^b

^aUniversidad Politécnica del Bicentenario

^bUniversidad Politécnica de Guanajuato

Resumen

Actualmente en el estado de Guanajuato ha habido un incremento significativo en cuanto a las empresas en general pero sobre todo en el sector manufacturero. Dichas empresas requieren de los servicios de transporte para la distribución de sus productos, así como sus proveedores para hacerles llegar las materias primas que ellos requieren para su producción. Sin embargo, muchas de las empresas de autotransporte ubicadas en el estado de Guanajuato, no cuenta con la plataforma necesaria para cubrir los requerimientos de estas empresas, en ocasiones cuentan con todos los recursos pero no con la capacidad logística adecuada.

Palabras clave: Intermodalidad, transporte, automotriz.

ABSTRACT

Nowadays in Guanajuato's condition there has been a significant increase as for the companies in general but especially the manufacturers. The above mentioned companies need of the services of transport for the distribution of his products, as well as his suppliers to make them to come the raw materials that they need for his production. Nevertheless, many of the companies of autotransport located in Guanajuato's condition, without the foreigners mention, the majority does not possess the necessary platform to cover sayings requirement of these companies, in occasions they possess all the resources but not the logistic suitable capacity.

I. INTRODUCCIÓN

El intermodalismo juega un papel importante en la industria automotriz terminal y de autopartes en el estado de Guanajuato al ser la principal industria con mayor auge y participación, es por ello que se analiza la actividad del transporte en la distribución de mercancías y el uso de las plataformas logísticas, con la finalidad de identificar como llevan a cabo sus actividades logísticas.

En México la industria automotriz ha tenido un flujo de exportaciones notable lo cual la coloca como una de las industrias manufactureras más importantes, de enero a septiembre de 2012, la industria automotriz nacional exportó el 23.5% del valor de las exportaciones totales y el 29.0% del total del sector manufacturero ubicándose por arriba de las petroleras. (Tecnología, 2011, p. 7).

(Bustos-Rosales, et al., 2003, pp 1-8) , indica que México tiene un gran potencial de in-

termodalismo subutilizado en la combinación ferrocarril-autotransporte en la prestación de servicios domésticos y de exportación por los puertos fronterizos, ya sean terrestres o marítimos, el estudio se concentra en la identificación de las regiones o estados con mayores oportunidades para el transporte intermodal autotransporte-ferrocarril considerando el comercio binacional México-Estados Unidos, el comercio exterior de México por puertos mexicanos y el mercado doméstico. Las oportunidades son determinadas a partir de una serie de criterios, tales como magnitud (peso en toneladas) de los flujos por tipos de mercancías, distancias de recorrido, densidad económica, grado de caducidad y accesibilidad al ferrocarril.

Partiendo del estudio anterior se considera relevante realizar el análisis actual de las empresas de autotransporte y las prácticas que convencionalmente realizan para poder efectuar el movimiento de mercancías con la finalidad de satisfacer las necesidades de sus clientes e identificar las alternativas que tienen las empresas con la finalidad de optimizar sus costos logísticos .

MARCO TEÓRICO

Existe varias aportaciones que han ayudado a definir la actividad de intermodalidad en el transporte entre ellas se citan a (Martner, 1999) y (Douglas Long, 2008). El intermodalismo en su definición más general tiene que ver con la integración de los diversos modos de transporte en una sola red de distribución física de las mercancías. En otras palabras, los modos de transporte marítimo y terrestre (y en ocasiones el aéreo) son coordinados e integrados en un solo sistema o red que busca limitar las rupturas de carga para que los productos fluyan entre lugares distantes en el menor tiempo posible y con la mayor certeza" (Martner, 1999)

De acuerdo con la definición que hace (Douglas Long, 2008) la intermodalidad o intermodalismo no es un medio de transporte, sino un sistema de coordinación de diferentes medios de transporte para hacer un envío, un embarque que usa medios de transportes diferentes y coordinados. Es decir, para considerar que se está llevando a cabo la intermodalidad se deben de incluir dos o más medios de transporte en el movimiento de mercancías de tal manera que su traslado reduzca tiempos y costos. Otra de las características que se deben cumplir para considerar que es una actividad intermodal es que se utilice un solo contenedor al momento de transportar la mercancía. (p. 133)

El intermodalismo es una forma compleja de llevar a cabo la distribución de las mercancías, debido a la combinación de diferentes medios de transporte y la integración de diversos agentes que se encargan de la actividad de transportación de dichas mercancías. La principal preocupación de las empresas de transporte es la generación de valor por medio del uso eficiente y eficaz de sus recursos con la finalidad de agregar valor en su servicio del traslado de mercancías de un punto a otro en el menor tiempo posible, reduciendo los costos, sin dejar a un lado el cuidado de la mercancía, logrando así la satisfacción de las necesidades del cliente. (Jiménez Sánchez, et al.,2009) mencionan que en contexto internacional se requiere de una coordinación de procesos transfronterizos y agentes para llevar a cabo la distribución de mercancía. Así mismo citan a (De Buen, 1990) donde señala que un transporte que atiende los requerimientos del desarrollo económico de un país abierto al comercio internacional y que reconozca en la competitividad de su aparato productivo al elemento clave para un crecimiento económico sostenido, debe estar integrado en tres niveles: a) integración del transporte con el aparato comercial y productivo (integración logística del transporte); b) integración de los diferentes modos de transporte disponibles (integración intermodal del transporte) y c) integración multinacional del

transporte.

El sistema internacional del transporte en el mundo tiene enormes diferencias entre las áreas en las regiones desarrolladas y las regiones subdesarrolladas. Sin embargo ha permitido en las últimas décadas la creación de un sistema mundial de logística, que a través de sus subsistemas locales y regionales logra la combinación eficiente de todos los factores de producción mundiales que compiten para el logro de la actividad de transporte. La integración de los mercados representa uno de los motores de este proceso. La cantidad de mercancías transportadas a nivel mundial puede estimarse en cerca de 50 trillones de toneladas durante 2009-2010. (Ovidiu-Sorin, 2011, p.22).

Intermodalismo y el auge del transporte de carga en México

El crecimiento promedio anual del importe de las mercancías importadas movidas por cada modo de transporte durante el periodo 2004-2011 ha sido diferenciado. El modo de transporte Marítimo ha tenido en este lapso el crecimiento promedio anual más importante alcanzando el 16.5%, lo cual hizo que se aumentara en 2.9 veces el valor movido por vía marítima entre 2004 y 2011. En segundo lugar, el modo de transporte Ferroviario presentó un crecimiento promedio anual del 15.1%, superando por casi ocho puntos porcentuales al del modo Aéreo, que se ubica en tercer lugar con un 7.4%. Por último, el modo de transporte Carretero presenta el menor, pero aun así importante crecimiento promedio anual, del 7.0%. En el 2011 el modo Carretero siguió ocupando el primer lugar en el movimiento de mercancías de importación, con una participación del total de alrededor de 178 mil millones de dólares, lo que representa el 51% del total. Dentro de este modo de transporte, los cinco principales grupos de mercancías que se desplazaron corresponden a manufacturas y son alrededor de 119 mil millones de dólares, equivalentes al 67% del subtotal Carretero. Durante el año 2012, los principales puertos del Golfo manejaron 34.7 millones de toneladas de carga no petrolera en tráfico de importación, de este total, se estima que el 71.8% fue desalojado de los puertos mediante Autotransporte, y el 28.2% restante por Ferrocarril. En los principales puertos del Pacífico la carga no petrolera manejada durante el año 2012 fue de 30.6 millones de toneladas; en este caso, la participación del Autotransporte significó alrededor del 87.5% del total, contra el 12.5% del Ferrocarril. Sin embargo hablando de exportaciones en el año 2012, los puertos más importantes del Golfo entre ellos Veracruz recibieron 18 millones de toneladas de carga destinada al tráfico de exportación. De este total, se estima que el 95% ingresó por Autotransporte; en tanto que el 5% restante, lo hizo por Ferrocarril. En los puertos del Pacífico el monto manejado fue de 32.3 millones de toneladas; en este caso, la participación del Autotransporte fue del 94.7%, contra el 5.3% del Ferrocarril. En el 2014 la participación de los modos de transporte en la movilización de carga según el modo de transporte carretero representa un 83.9%, Ferroviario 10.2%, Marítimo 5.9% y Aéreo .018%. (Martínez, et al., 2013, pp. 24-75). México enfrenta dificultades en la integración del autotransporte de carga con Estados Unidos los principales se clasifican en cuatro grupos, es importante no perder de vista que los problemas de la integración logística del autotransporte de carga se encuentran vinculados en mayor o menor medida unos con otros. Esta clasificación es la siguiente: Problemas derivados del marco regulatorio y legislativo, problemas tecnológicos y de infraestructura, problemas de costos y falta de financiamiento, finalmente problemas logísticos. (Mendoza & Rico, 2005). (Mendoza & Rico, 2005) establecen dentro de la clasificación de la problemática del transporte ejemplos en los cuales se deriva de la falta de agilidad en los cruces fronterizos debido a las regulaciones aduaneras, falta del cumplimiento en que los camiones Mexicanos cumplan con normativa de seguridad, falta de innovación tecnológica en unidades de

transporte e infraestructura, falta de financiamiento para la modernización de unidades, inseguridad en carreteras y falta de especialización en el manejo por tipo de carga así como la capacitación de los operadores. (pp. 81-100).

El auge del autotransporte en México permite la oportunidad de eficientar las plataformas logísticas, es por ello que el intermodalismo tiene un papel primordial para mejorar el desempeño logístico de las empresas del sector automotriz. Sin embargo se menciona que las entidades con potencial de intermodalismo para atender flujos de comercio exterior, tanto por la frontera norte como por puertos, en orden de magnitud de carga son: (1) Distrito Federal, (2) Nuevo León, (3) Estado de México, (4) Baja California, (5) Chihuahua, (6) Tamaulipas, (7) Jalisco, (8) Coahuila, (9) Guanajuato, (10) Sonora y (11) Aguascalientes. De estos, los tres primeros tienen potencial tanto por la frontera norte como por puertos, mientras que el resto de los estados solamente tienen potencial de intermodalismo para el comercio exterior a través de la frontera norte, con excepción de Aguascalientes, el cual sólo tiene potencial para el intermodalismo de comercio exterior es a través de puertos. (Bustos Rosales et al, 2003, p.96).

Principales actores del Transporte Intermodal en el Estado de Guanajuato

El estado de Guanajuato en el 2000 representó un 3.5% de los flujos de mercancías de comercio binacional entre México y Estados Unidos en toneladas con potencial para el intermodalismo que en toneladas equivale a 249 mil toneladas. Arizona y Texas son los destinos de flujos de exportación que equivalen al 55% y 45% respectivamente. En cuanto a las importaciones, los estados origen son Texas y Michigan con el 90% y 10% respectivamente. Así mismo se realizaron proyecciones para el 2025 donde se estima dentro de los escenarios que habrá un incremento con respecto al volumen de carga esperado en el escenario del 2010. (Bustos Rosales et al, 2003, p.39,76)

En Guanajuato se tiene presencia de FERROMEX y KANSAS CITY quienes ocupan el mercado de transporte ferroviario pero que enfrentan una problemática en cuanto a los cruces de automóviles sobre las vías, calculando que diariamente se ven afectados 22,900 vehículos por el paso del tren, con un costo generalizado diario de \$102,000, esto en la ciudad de Celaya, Gto. Siendo la frecuencia de paso diario de trenes por parte de Ferromex de 24 trenes, 2,400 vagones por día y de Kansas City de 11 trenes, 946 vagones al día. Pero además de ello se enfrentan a los problemas de vandalismo y accidentes con 125 y 18 casos respectivamente en el año 2009 por fuentes de Kansas City. Ferromex, el principal transportista de carga en México, que dirige Rogelio Vélez, firmó contrato para mover más de 70% de la producción de la nueva planta de Honda en Celaya, Guanajuato, hacia Estados Unidos y Canadá, a través de intercambios transfronterizos y a otros países a través de puertos mexicanos. La competitividad que representa la conectividad ferroviaria entre México, Estados Unidos y Canadá se ha convertido en un factor determinante para que diferentes ensambladoras automotrices construyan y amplíen su capacidad productiva en el país, ya que tan sólo un tren mueve hasta 1,200 automóviles. Ferromex transporta el 72% de la producción de las plantas armadoras que atiende (Chrysler, Ford, GM, Honda, Mazda, Nissan, Toyota, VW), lo que representa un movimiento diario de casi 6,000 automóviles sobre sus vías y un total de 1.6 millones de vehículos al año. Ferromex, filial de Grupo México, actualmente mueve el 17% de la carga total transportada en el país (toneladas-kilómetro) (Transporte Informativo, 2013). La existencia de un sistema de transporte eficaz es un requisito previo indispensable para la competitividad. La importancia es aún mayor si se toma en cuenta las previsiones de aumento del comercio internacional. La intermodalidad es un instrumento estratégico que permite un enfoque de los transportes desde la lógica de

sistemas. La puesta en práctica de un sistema intermodal exige el desarrollo coordinado de los factores que conllevan las causas y efectos que de este se desglosen.

Al llevarse a cabo la segunda edición del Foro “Acciones que Fortalecen el Transporte”, se menciona que el autotransporte es un sector fundamental del país y de Guanajuato, ya que representa el 9 por ciento del PIB¹ en la entidad, que fortalece el dinamismo la industria y el comercio, manteniendo a Guanajuato como los mejores centros logísticos del país y se proyecta a Salamanca con la construcción de un Parador Seguro que brinde las facilidades a los transportistas del país. (Autotransporte 2000, 2012). La plataforma logística de Guanajuato esta integrada por el Puerto interior establecido en la ciudad de Silao Guanajuato, el cuál nace para ser un motor económico regional que logre el bienestar de las ciudadanos del Estado de Guanajuato a través del desarrollo económico (Guanajuato, 2012). Los factores que favorecen así mismo la ubicación del Puerto seco es que tiene a su alcance infraestructura vial que da cercanía a la carretera 45, el aeropuerto Internacional y redes ferroviarias (Guanajuato, 2012).

METODOLOGÍA

Para la realización del presente proyecto se realizó la elección del tema al cual se pretendía cubrir, tomando en cuenta los ítems que permiten el desarrollo del sector transporte y manufacturero, con el objetivo de identificar las industrias que han tenido mayor crecimiento en el estado de Guanajuato en los últimos años, para lo cual se optó por la opción de hablar sobre “Las prácticas de intermodalidad en el estado de Guanajuato” y la manera en que estas actividades son llevadas a cabo por las empresas de transporte ubicadas en el estado. Después de ello se plantearon los objetivos según la importancia y el alcance de la investigación. El punto siguiente fue la revisión de literatura en donde se investigaron los datos más relevantes al intermodalismo y el sector del transporte a nivel internacional, México y Guanajuato. Conforme a lo planeado se identificaron de los procesos sectoriales en el transporte en Guanajuato con la finalidad de poder conocer cómo se lleva a cabo el proceso de transporte en el estado, es decir cuales medios son empleado por las empresas de transporte para llevar a cabo sus operaciones que en este caso lo hace de manera terrestres para transitar en el estado como para salir a otros estados o rumbo a mercados internacionales.

Después de hacer la identificación de los procesos sectoriales se procedió a conocer como es el uso de tecnologías de información y comunicación en el sector de autotransportes con el objeto de medir el desarrollo tanto en el servicio como en la calidad del mismo. Por otro lado para poder identificar las prácticas de empresas en el movimiento de carga en Guanajuato se llevó a cabo un análisis de los requerimientos de autotransportes en la región con respecto al transporte intermodal para ello se aplicó un instrumento a empresas del autotransporte con el objeto de obtener más datos relevantes a sus prácticas en el uso y manejo de carga. Posteriormente se llevó a cabo el análisis del instrumento aplicado para poder hacer las deducciones pertenecientes a este, tomando de igual manera algunas observaciones que se pudieron hacer al momento de la aplicación del cuestionario. (Ver figura 1).

1 Producto Interno Bruto

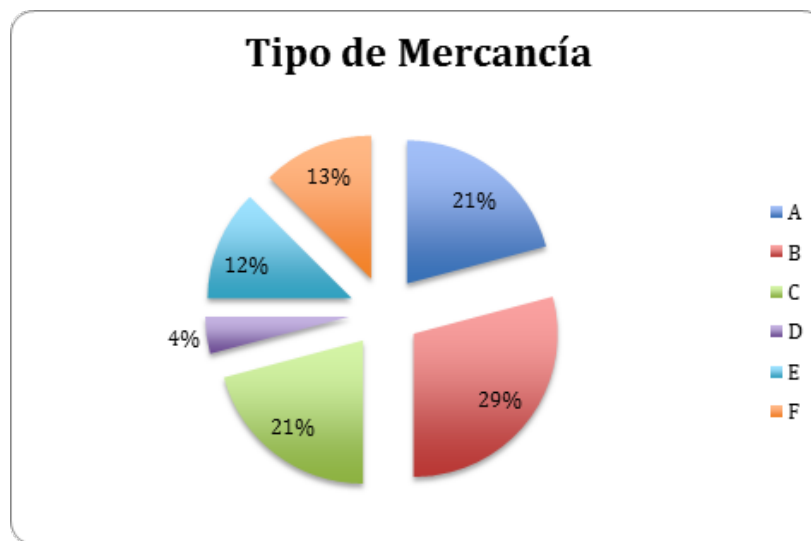


Figura 1. Metodología de investigación.

Los resultados obtenidos en el instrumento aplicado a las empresas de autotransporte en Guanajuato permitieron obtener la siguiente información:

Mercancías

El primer bloque de la encuesta es sobre el tipo de mercancías que transportan las empresas como se explica en la siguiente gráfica. (Ver gráfica 3.1)

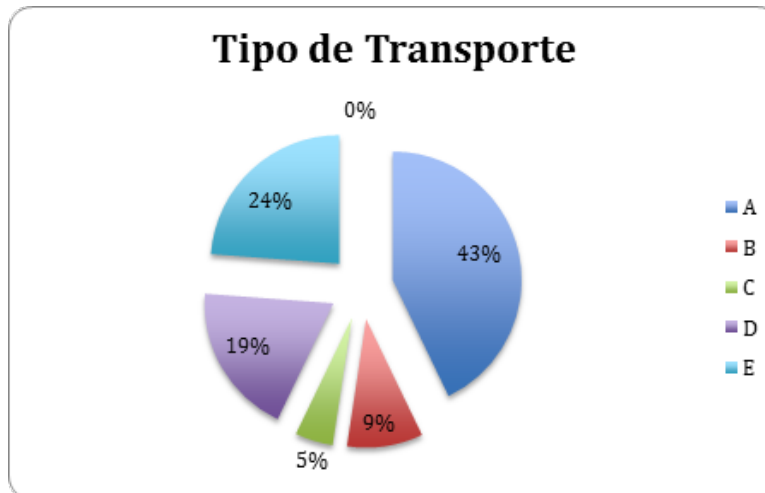


Gráfica 3.1 Tipo de Mercancía

El inciso B referente a partes automotrices, representan un 29% del total, mientras que los incisos A y C, referentes a alimentos y productos a granel sucesivamente ocupan 21% cada uno lo cual indica junto con las partes automotrices son los productos que más se transportan. (Inciso D: Material peligroso, inciso E: Todas las anteriores e inciso F: otras. Existe una gran diversificación de los productos que se transportan lo cual indica que no solamente el servicio de transporte se enfoca a un solo sector, sino que, la variedad en ellos es muy pareja, abarcando en si todos los sectores.

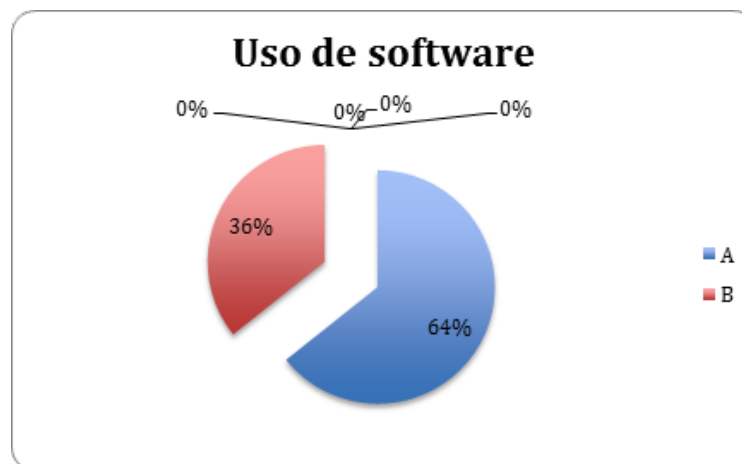
Servicio

El segundo bloque está enfocado al servicio que se ofrece de acuerdo al tipo de transporte, utilización de algún software y la capacitación que se da a los operadores para prestar un servicio de mayor calidad al cliente.



Gráfica 3.2 Tipo Transporte

En esta gráfica podemos observar que los tráileres, tomados en cuenta en el inciso A, son los más utilizados por las empresas de transporte para prestar sus servicios y relacionándolo con las mercancías que transportan, se puede decir que utilizan dicho tipo de transporte para hacer envíos por las cantidades más grandes que se pueden manejar. Se observa en segundo lugar con un 24% en este caso de inciso E (otros) que las empresas utilizan otros tipos de transporte como camionetas y transportes de carga ligera. El inciso D para los camiones torton ocupa un 19% siendo así el tercer medio de utilización para las empresas. Inciso B: plataformas, inciso C: pipas.



Gráfica 3.3 Uso de software

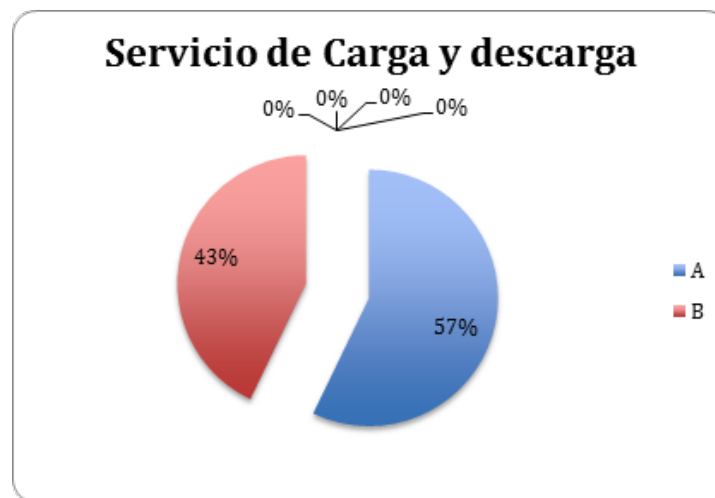
En la gráfica se puntualiza si se utiliza o no algún software para el mejoramiento del servicio que se presta. Un 64% de las empresas encuestadas, marcadas con el inciso A, referente a que efectivamente utilizan un software para el control de las rutas que utilizan y de igual manera para el monitoreo de los camiones. Inciso B: no utilizan algún software.



Gráfica 3. 4 Capacitación de personal operativo.

En la presente gráfica se analizan la frecuencia en la que se capacita al personal operativo. Un 43%, que enmarca al inciso A: menos de seis meses, del total representa la mayor parte seguida del inciso B, en los casos de cada seis meses, lo cual indica que la capacitación del personal operativo se lleva a cabo por lo menos en periodos menores a seis meses o en periodos de más de un año. Inciso C: cada año, inciso D: capacitaciones en más de un año. Carga y descarga

En el apartado referente a la carga y descarga se pretende conocer elementos importantes tales como cuantas empresas realizan el servicio de carga y descarga, el por qué realizan dichas operaciones, ya sea por política de la empresa o por exigencia de los clientes, el beneficio económico que esto pudiera representar a la empresa y los mismos trabajadores, quién lleva a cabo las operaciones de carga y descarga, accidentes surgidos en dichas operaciones, además de las condiciones de espera en donde es muy importante el servicio al cliente.



Gráfica 3. 5 Servicio de carga y descarga

En el gráfico se puede apreciar que en lo referente a que si incluye un servicio de carga y descarga dentro de los servicios habituales que realiza, vemos que un 57% de las empresas si lleva a cabo dicha actividad mientras que un 43% afirma que no las lleva a cabo. Inciso A: si realiza servicio de carga y descarga e inciso B: no realiza servicio de carga y descarga.



Gráfica 3. 6 Operaciones de carga y descarga

Es muy importante conocer el por qué realizan dichas actividades de carga y descarga, si las llevan a cabo por política comercial o en su caso, por exigencia del cliente. El inciso A para quienes lo hacen por política comercial, ocupa un 50% lo cual refleja que es igual el número de las empresas que incluyen el servicio de carga y descarga lo hacen como un servicio más para el cliente. Tal vez esto repercuta dentro de las preferencias para el cliente aunque también es muy importante conocer si, para desarrollar la actividad de carga y descarga se necesita de personal especializado y que la empresa realmente cuente con ello. Inciso B: por exigencia del cliente.

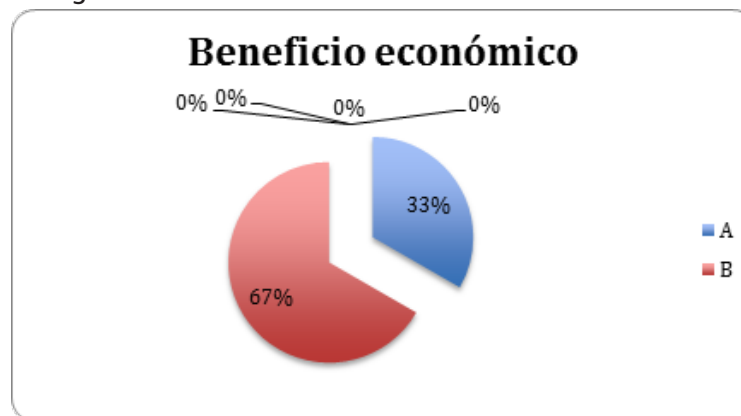
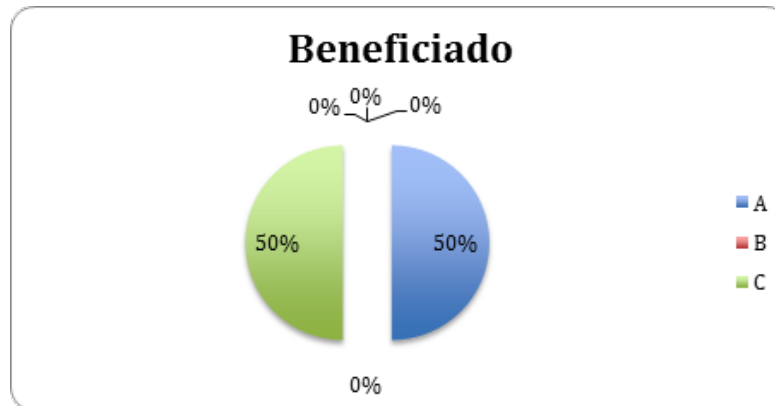


Gráfico 3. 7 Beneficio Económico

Beneficio económico.

La muestra del presente gráfico es para observar si las operaciones de carga y descarga representan un beneficio económico y ver la relación que pudiera existir con el gráfico anterior (3.6) donde se mostraba que las actividades de carga y descarga se realizaban por política comercial. En este caso, prácticamente dos terceras partes de las empresas encuestadas revelan que dichas operaciones no tiene un beneficio económico. Inciso A: si representan un beneficio económico e inciso B: no representan un beneficio económico.



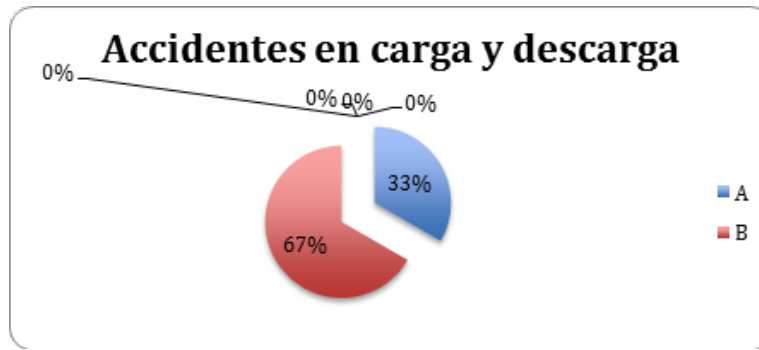
Gráfica 3. 8 Beneficiado

Después de conocer que las operaciones de carga y descarga representan un beneficio económico para la minoría de las empresas que las llevan a cabo, un punto importante a analizar en esta grafica es a quién beneficia dichas actividades lo que en relación a ello, los resultados arrojan que la mitad de los beneficiarios son los conductores y la otra mitad dice que tanto como el conductor y el empresario salen beneficiados. Al momento de la aplicación de las encuestas, las empresas decían que tienen personal capacitado para realizar la carga y descarga. Inciso A: Al conductor, inciso B: al empresario e inciso C: a ambos



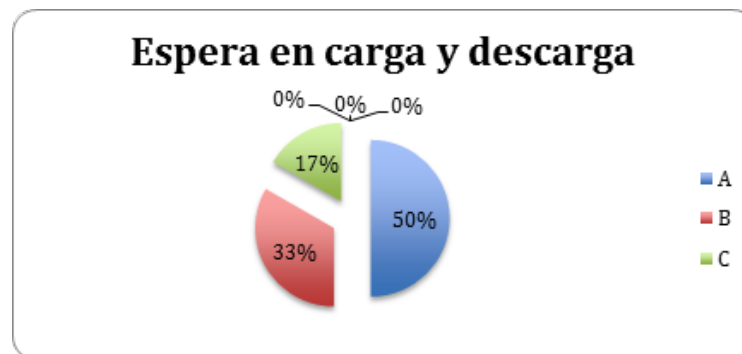
Gráfico 3. 9 Carga y descarga por el conductor

Aunado a la gráfica anterior (3.8) es importante conocer si la carga y descarga de las mercancías las lleva a cabo el conductor. En la presente gráfica se muestra que un 67% con el inciso B: personal especializado, no las lleva a cabo el conductor. Para las empresas la satisfacción del cliente es indispensable por lo cual deben de contar con un personal altamente capacitado para realizar estas actividades como el cliente espera y evitar algún accidente o circunstancias en la que se vea afectada, ya sea la integridad física de quien cargue y/o descargue como también de mantener en buen estado las mercancías transportadas. Inciso A: sí.



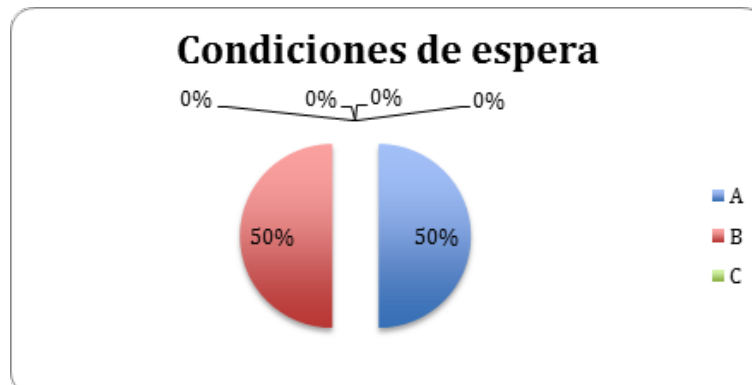
Gráfica 3. 10 Accidentes en carga y descarga.

En la presente gráfica se pretende analizar la cantidad de accidentes que han surgido en las diferentes empresas. Vemos claramente una mayor parte de 67% del inciso B (si ha sufrido algún accidente) mientras que el inciso A (no ha sufrido algún accidente) tiene 33%, lo que al relacionarlo con la gráfica (3.9) se puede decir que los accidente surgidos en las operaciones de carga y descarga son ocasionados por los conductores o personal que no está capacitado para llevar a cabo dichas actividades.



Gráfica 3. 11 Espera en carga y descarga.

En la gráfica se muestra el aproximado en el tiempo de espera en la carga y descarga. El inciso A, referente a tiempo menor de una hora, representa la mayor parte ya que son mercancías como partes automotrices, alimentos, productos a granel, etc. El punto más relevante al analizar esta gráfica es que se debe realizar dichas operaciones en el menor tiempo posible pero de manera eficiente y eficaz para que el clientes este satisfecho con el servicio que se está llevando a cabo y de esta manera tenga el producto en sus almacenes a tiempo y en forma.

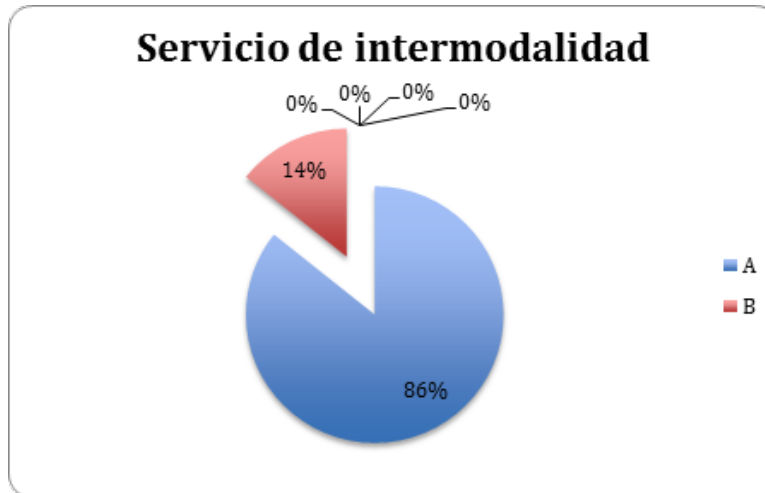


Gráfica 3. 12 Condiciones de espera.

En esta gráfica se muestra cuáles son las condiciones de espera, en este caso del conductor que es quien lleva la mercancía. Los inciso A (en las instalaciones del cliente) y B (en el propio vehículo) ocupan el 50% y 50%, mientras que el inciso C (otros) no tiene ningún porcentaje. El principal enfoque que se pretende dar en esta pregunta es la seguridad que se puede manifestar para el conductor ya que en ocasiones los lugares a donde se realiza el envío de mercancías son altamente peligrosas y se está en riesgo la integridad física del conductor como también la pérdida de la mercancía por algún robo o asalto.

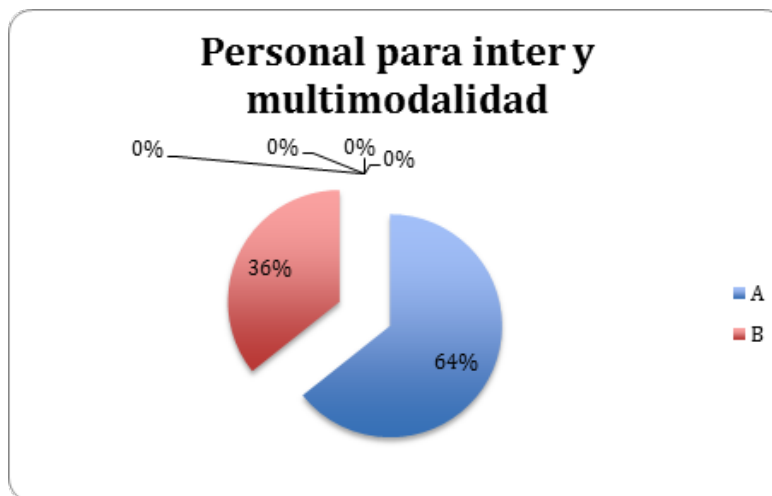
Intermodalidad y multimodalidad.

En este bloque el objetivo primordial es conocer si las empresas de transporte están preparadas para ofrecer servicios de intermodalidad y multimodalidad de acuerdo a los requerimientos que hoy en día se exigen para poder llenar dichos rubros en materia de competitividad.



Gráfica 3. 13 Servicio de intermodalidad.

La representación que se hace en la gráfica es sobre si las empresas están preparadas para prestar servicios de intermodalidad, lo que solo un 13% del total contestó que no lo están con el inciso B, mientras que el resto afirma que tienen infraestructura y capacidad para llevar a cabo actividades de dicha índole.

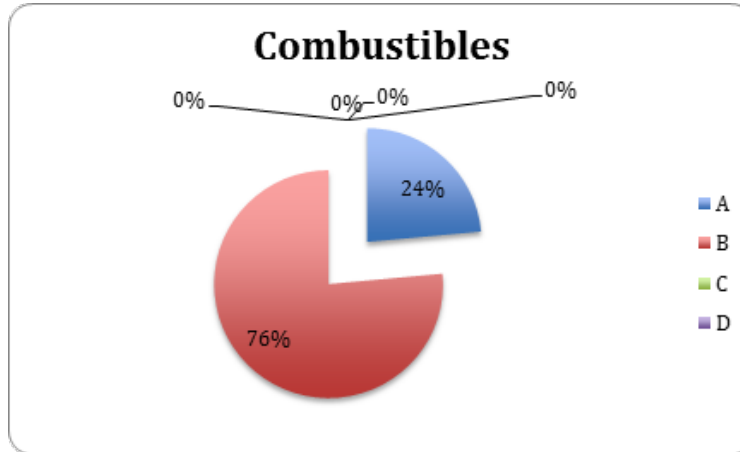


Gráfica 3. 14 Personal para inter y multimodalidad

En esta gráfica se pretende llevar a cabo el análisis sobre si las personas que laboran en las empresas de transporte están preparadas para llevar a cabo el manejo del papeleo y requerimientos con lo que se debe contar para poder entrar en las modalidades de intermodalidad y multimodalidad, lo cual un 64% del inciso A, afirman que si tienen la capacidad de manejar dicha documentación. Inciso B: no están preparados.

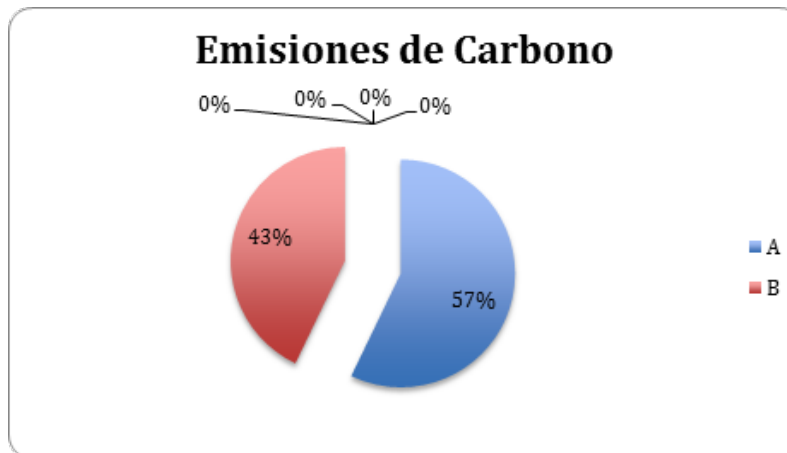
Flotilla.

El apartado de la flotilla pretende analizar aspectos de qué tipo de combustible es el que utilizan para sus camiones, si las empresas realizan la medición de las emisiones de carbono, mantenimiento de las unidades, porcentaje de utilización de las unidades en servicio y frecuencia con que las unidades regresa con carga después de un servicio.



Gráfica 3. 15 Combustibles.

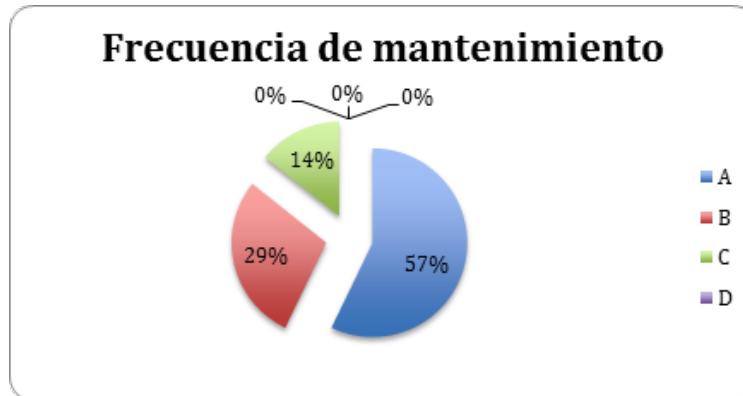
El tipo de combustible depende del tipo de transporte que se utiliza en su mayoría las empresas cuentan con tráileres y camiones torton para sus servicios, mismos que utilizan el combustible diesel (inciso B) que en esta gráfica ocupa la mayor parte del total. Inciso A: gasolina, inciso C: Gas e inciso D: biocombustibles.



Gráfica 3. 16 Emisiones de carbono.

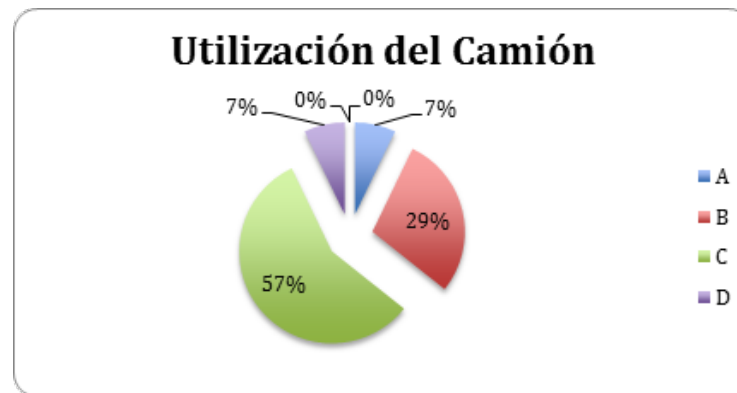
El cuidado del medio ambiente toma gran importancia en la medición de las emisiones de carbono por los temas actuales que están tomando gran relevancia como uso de energías renovables puesto que se pretende que al usar nuevas tecnologías disminuyan la contaminación. El 57% respondió con el inciso A, si realizan una medición de las emisiones de

carbono que genera sus unidades, mientras que el resto contestó con el inciso B, no mide dichas emisiones.



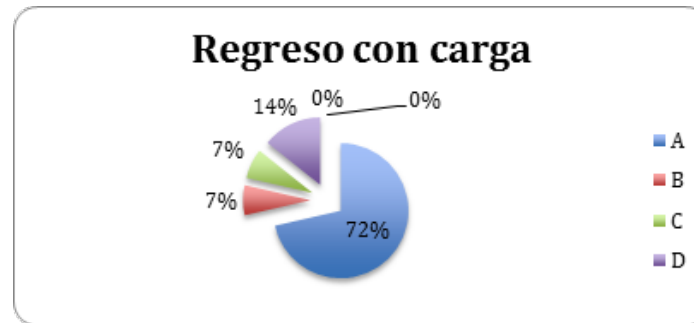
Gráfica 3. 17 Frecuencia de mantenimiento.

La frecuencia de mantenimiento es de igual importancia como la medición de del plazo de tiempo de tardanza para realizar el mismo, esto para mantener las unidades en un estado en el que el uso no genere altos niveles de contaminación y que este en buenas condiciones para los servicios. El inciso A se refiere a un plazo de un mes, mismo que ocupa la mayor parte con un 57% para mantener los niveles óptimos de sus unidades seguido de los inciso B con una plazo de entre 2 a 3 meses y C con tiempo de cada 4 a 6 meses con 29 y 14% respectivamente. Inciso D: más de 6 meses. De acuerdo con los encuestados cada mes en promedio la unidad trabaja entre 25,000 y 35,000 kilómetros



Gráfica 3. 18 Utilización del camión.

Otro punto que no se debe dejar de lado es la capacidad con la que cuentan las unidades así como cuál es el promedio de utilización de estos para llevar a cabo un servicio eficiente de tal manera que no vaya sobre cargado ni deje espacios que pueden ser utilizados de alguna manera en el traslado de una o varias mercancías. La mayor cantidad se encuentra en el inciso C referente a que contienen por lo general de 76 al 90% de utilidad, con un 57% del total de la muestra lo cual quiere decir que más de la mitad de las empresas en sus servicios utiliza arriba de tres cuartas partes de sus unidades. Inciso A: menos del 50%, inciso B: 60 al 75% e inciso D: más de 90%.



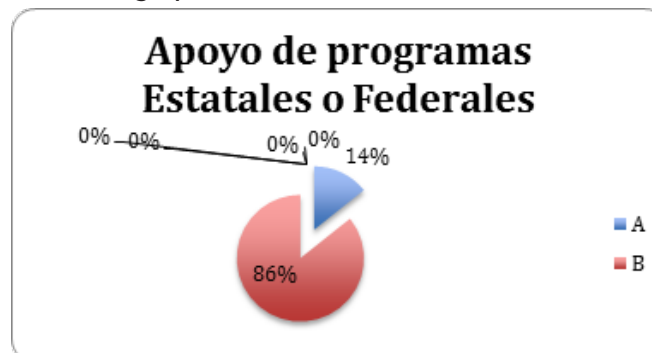
Gráfica 3. 19 Regreso con carga.

Cuando una unidad regresa con carga no está cumpliendo con la entrega por diferentes cuestiones tales como si la mercancía estaba dañada, era otra cantidad, no se entregó a tiempo, etc. Siendo cual fuere la causa se debe atender a la problemática reducir la frecuencia con la que ocurre. En la gráfica se puede apreciar que un 72% del inciso A, que regresa con carga en un 20 a 40% de las veces que salen las unidades de la empresas, un porcentaje regular tomando en cuenta que no son mercancías perecederas. Inciso B: 41 a 60% de las veces, inciso C: 61 a 80% e inciso D: 81 a 100%.



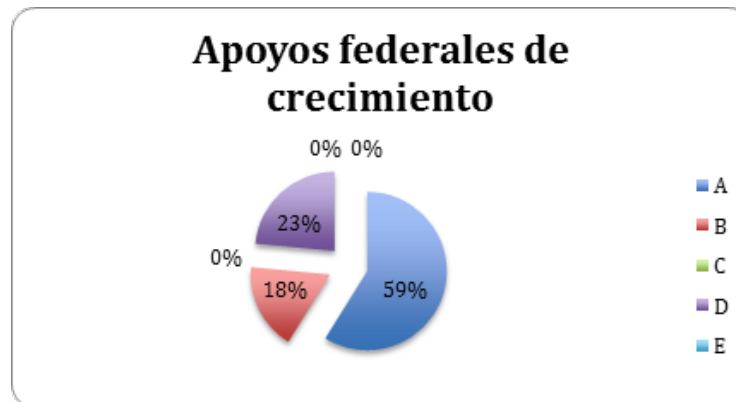
Gráfica 3. 20 Metas a corto y largo plazo.

En este gráfico se puede observar que en su totalidad las empresas de transporte hicieron elección del inciso A (sí), sobre si tienen metas a corto o largo plazo para invertir en su crecimiento. En general se debe a que la demanda ha ido cada vez en aumento por diferentes factores como la llegada de nuevas empresas a la región lo que genera un mayor crecimiento del mercado, por ende las empresas de transporte tratan de enfocarse en su crecimiento ya sea a corto o largo plazo. Inciso B: No.



Gráfica 3. 21 Apoyo de programas estatales o federales.

La solicitud de apoyos de programas a nivel estatal o federal para crecer o invertir en algún proyecto de crecimiento es realmente muy baja, puesto que los datos que arroja la encuesta y como se observa en esta gráfica, solamente un 14% respondieron con el inciso A, porque ha solicitado dichos apoyos debido a que son empresas chicas o que están en proceso de crecimiento que no cuentan con los recursos necesarios para poder sustentar su proyecto de desarrollo.



Gráfica 3. 22 Apoyos federales de crecimiento.

En caso dado que las empresas solicitaran y pudieran un apoyo del gobierno federal para su crecimiento, el 59% está de acuerdo que solicitarían primordialmente la parte económica en el inciso A, mientras que el resto prefiere infraestructura marcado con el inciso B con 18% y tecnología para el inciso D con un 23%. La mayoría de las empresas prefieren apostar por la parte económica ya que de esta manera pueden manejar y destinar el apoyo a como consideran que pudieran ir utilizando de la mejor manera. Inciso C: capacitación e inciso E: otros.

Conclusiones

El tamaño de la empresa de transporte no limita su aportación al desempeño de las plataformas logísticas, sin embargo algunas empresas se enfocan en la personalización del servicio que limita la apertura de la diversificación de los servicios, debido a que en su mayoría las empresas atienden cargas en menores proporciones.

Las empresas de autotransporte consideran estar preparadas para prestar servicios de intermodalidad y multimodalidad pero realmente cuentan con dificultad de no contar con la infraestructura adecuada que se requiere para llevar a cabo estas prácticas, lo cual es muy alarmante porque limitaría al cumplimiento de las expectativas del mercado, en este caso de las empresas de la rama automotriz dentro del estado de Guanajuato.

En el autotransporte se cuenta con la limitación en la implementación de tecnología dentro de las unidades de transporte y en el uso del recurso esencial como es el diésel, debido a que aún no existe el auge en la implementación del biodiésel, este recurso podría ayudar a las empresas de autotransporte a reducir sus costos de distribución de carga y así mismo ayudaría a reducir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

Finalmente la aplicación del instrumento de medición permitió identificar que las empresas de transporte de carga ubicadas en la ciudad de Celaya y el corredor industrial de la zona suroeste del estado de Guanajuato permitieron obtener datos relevantes en cuanto a las buenas prácticas del transporte intermodal, las cuales se centraron en identificar la movilidad de las mercancías, servicio, carga y descarga, intermodalidad y multimodalidad, flotilla y crecimiento, con el objetivo de mostrar un análisis de la situación actual.

Bibliografía

- AUTOTRANSPORTE 2000. (14 de Mayo de 2012). Autotransporte 2000. Recuperado el 06 de Abril de 2014, de Autotransporte 2000: <http://www.autotransporte.mx/2012/05/14/canacar-apuesta-por-la-capacitacion-de-los-operadores/#more-4260>
- Bustos-Rosales, A., Miranda-Moreno, L. F., Acha-Daza, J., Aguerrebere-Salido, R., De la Torre-Romero, M. E., & Balbuena-Cruz, J. A. (2003). Análisis del potencial para el intermodalismo en movimiento de mercancías, proyecciones 2000, 2010, 2025. Sanfandila, Qro., Méx.: Instituto Mexicano del Transporte.
- Douglas, L. (2008). Logística Internacional: Administración de la cadena de abastecimiento global. México, México: Limusa.
- FERROMEX. (2007). Transporte Intermodal Ferroviario. León, Guanajuato.
- Guanajuato, Gobierno del Estado. (2012). Libro Blanco: Estructura competitiva para el desarrollo de Negocios. Guanajuato: Guanajuato Puerto Interior.
- Jiménez Sánchez, J. E., Martínez Cárdenas, L., & de la Torre Romero, M. (2009). Apertura Transfronteriza del autotransporte de Carga: Un análisis exploratorio de posibles escenarios. Instituto Mexicano del Transporte, 1-186.
- Martínez Antonio, J., Moreno Martínez, M., Morales Pérez, M., Herrera García, A., Balbuena Cruz, J., Pérez Sánchez, J., . . . Martber Peyrelongue, C. (2013). Manual estadístico del Sector Transporte. Instituto Mexicano del Transporte, 1-313.
- Martner Peyrelongue, C. (Septiembre de 1999). El puerto y la vinculación entre lo local y lo global. EURE, 103-120.
- Mendoza Moreno, L., & Rico Galeana, Ó. (2005). Problemas de integración del autotransporte de carga entre México y los Estados Unidos. Instituto Mexicano del Transporte, 1-122.
- Ovidiu-Sorin, C. (2011). The factor and Trends that influence the global integrated transport system. Analele Universitatii, 21-24.
- Tecnología, D. G. (2011). Plan estratégico de la industria Automotriz 2010-2020. México: Secretaría de Economía.
- Transporte Informativo. (09 de Diciembre de 2013). Recuperado el 16 de Enero de 2014, de Transporte Informativo: <http://transporteinformativo.com/carga/ferromex-firma-contrato-para-mover-produccion-de-honda>

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA EL PROBLEMA DEL TRANSPORTE DE TUBOS LIGEROS.

G. Lizárraga-Lizárraga^a, T. E. Salais-Fierro, J. A. Saucedo-Martínez, R. Garza-Morales, M. Cedillo-Campos^b

Universidad Autónoma de Nuevo León^a
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
giovanni@cimat.mx^a

Instituto Mexicano del Transporte^b
Laboratorio Nacional CONACYT en Sistemas de Transporte y Logística

Resumen

Se analiza y propone una solución para el problema del transporte de tubería ligera, el cual se caracteriza por la necesidad de colocar tanto tubería circular dentro de otra igualmente circular de mayor dimensión, como dentro de otras con forma rectangular. El modelo matemático propuesto considera el grosor de los tubos. Esto genera un nuevo problema de optimización que es más difícil de resolver que otros problemas relacionados con el empaque y transporte. De este modo, se presenta la descripción matemática del problema y se describen ideas sobre cómo resolverlo. Finalmente, se exponen conclusiones y posibles vías futuras para el desarrollo de nuevas propuestas de solución.

Palabras clave: Optimización; Empaque; Transporte; Tubería ligera.

ABSTRACT

This work deals with the light pipe problem. In this problem it is necessary to both put circles inside circles and circles inside a rectangle. A mathematical model that considers the thickness of the pipes is introduced. This generates a new optimization problem that is harder to solve than other packing problems. The mathematical description of the problem is introduced and some ideas of how to solve the problem are explained.

Keywords: light pipes; optimization; heuristics; transportation.

I. INTRODUCCIÓN

La distribución de productos desde una fábrica hasta el consumidor final es un eslabón crítico dentro del sistema logístico [1]. Derivado de un empaque poco eficiente, los espacios vacíos en los vehículos de transporte (lo que se conoce como "transportar aire") incrementa el transporte de un producto hasta en un 40% de su costo [2]. Esto significa que una mayor eficiencia en el empaque y en el trazado de la ruta, pueden mejorar significativamente la competitividad de las empresas.

El problema de la distribución de tubería ligera tiene algunas características especiales que la hacen diferente de los clásicos problemas de distribución. Por ejemplo, el peso de los tubos no representa una restricción clave. En consecuencia, un gran número de tubos pueden ser apilados uno sobre otro sin dañar los tubos ubicados en la parte inferior. Otra de las características de éste problema es que los tubos pueden ser introducidos uno dentro del otro cuando el radio interno de uno de ellos es mayor que el radio externo de otro.

Esto se puede ser realizado varias veces, de forma tal que un tubo puede ser introducido dentro de otro tubo, y al mismo tiempo, estar dentro de un tubo de mayor tamaño y así sucesivamente.

Otro importante punto a considerar es que el vehículo de carga transportando los tubos, pueda ser cargado con tubos destinados a varios clientes ubicados en diversos puntos de destino. Entonces, si los tubos para el primer cliente se encuentran en la parte inferior del camión, un costo adicional para el traslado de los tubos debe ser considerado. Además, una forma adicional de reducir el costo de transporte es cargar el camión de tal manera la recarga del mismo se reduzca al mínimo.

El objetivo principal de éste documento es el de exponer un modelo matemático que representa el problema arriba planteado y proponer algunas vías potenciales para su resolución. En la Sección 2, la formulación matemática del problema es presentada. En la Sección 3, una descripción de una estrategia evolutiva relacionada con un efectivo algoritmo de optimización es expuesta. En la Sección 4, el resultado de la experimentación con estrategias evolutivas es analizado. Finalmente, en la Sección 5, conclusiones y algunas ideas para el desarrollo de trabajo futuro en éste tema son presentadas.

II. MODELO MATEMÁTICO

2.1 EL PROBLEMA DE EMPAQUETADO

El empaque de un conjunto de tubos ligeros se relaciona con otros problemas reportados en la literatura, por ejemplo el empaquetado de círculos en un rectángulo (ECR)[3]. En ECR, hay un conjunto de n círculos cuyos centros tienen coordenadas (x_i, y_i) , para $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Todos los círculos tienen el mismo radio r_n , pero este radio se desconoce a priori. Los centros de los círculos se localizan dentro de un rectángulo cuyos lados tienen longitud S . La solución al problema consiste en ubicar los centros de los círculos de tal forma que el radio r_n es máximo, los círculos no se empalman y todos los círculos están contenidos dentro del rectángulo S .

Otro problema similar es el empaquetado de discos desiguales (ECD) [4]. En este problema, hay n discos de diferentes radios fijos r_i y centros con coordenadas (x_i, y_i) , para $i = 1, 2, 3, \dots, n$. La solución al problema consiste en posicionar el centro de los círculos de tal manera que el radio r_n de un círculo que contiene todos los discos sea mínimo.

En este trabajo, se estudia el caso donde el área transversal de los tubos es usada en la optimización, ignorando la longitud de los tubos. La meta es maximizar la suma transversal de las áreas de los tubos que se cargan en un camión. La vista trasera de la caja posterior del camión se representa con un rectángulo. Por lo tanto, el problema de empaque de tubos ligeros (PETL) tiene características tanto de ECR como de ECD. Por ejemplo, se necesita poner varios círculos dentro de un área triangular y al mismo tiempo poner círculos dentro de otros círculos. Por otro lado, el PETL también tiene diferencias respecto a los otros problemas mencionados. Por ejemplo, en el PETL, los radios de los círculos están fijos desde el inicio y no pueden modificarse como en el ECR. Otra diferencia es que en el PETL, cuando se colocan círculos dentro de un círculo, el radio del círculo contenedor está fijo, a diferencia de ECD. Además, en el PETL es posible que no todos los tubos se carguen en el camión, y deban ser cargados en otra unidad.

El resultado ideal se da cuando el número de camiones necesarios para cargar todos los tubos es el menor posible, pero en este trabajo el enfoque es cargar un solo camión con el mayor número de tubos posible. La Figura 1 muestra el ejemplo de un camión cargado con tubería ligera. El rectángulo representa la vista posterior del camión. Los círculos re-

presentan la vista transversal de los tubos cargados en el camión.

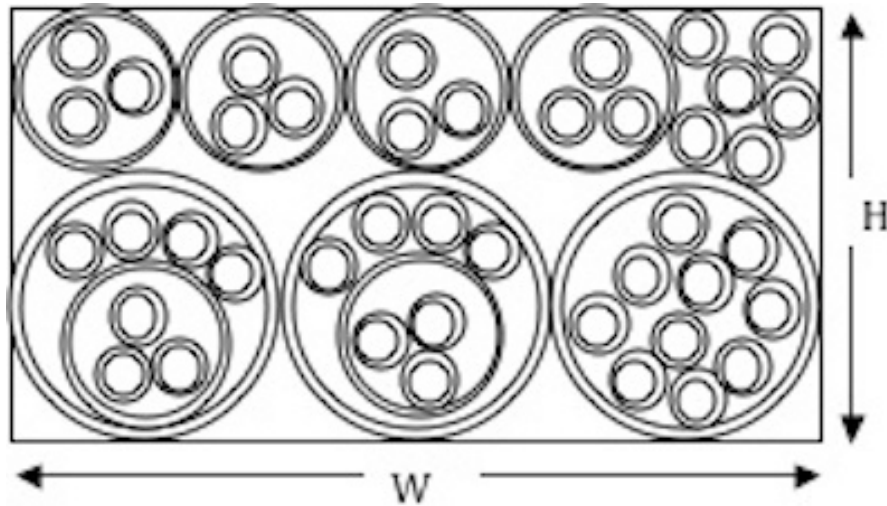


Figura 1. Un ejemplo de un camión cargado en el PETL.

2.2 Formulación Matemática para PETL

En esta subsección se propone un modelo matemático para el PETL. Se introducirá terminología que será útil en el resto del trabajo. Primero, la vista transversal de un tubo es un anillo, de manera que el término anillo y vista transversal se usarán de forma equivalente, por lo tanto, las definiciones y demostraciones que son válidas para uno, también lo serán para el otro.

Un anillo es una figura geométrica formada por dos círculos concéntricos de diferente radio. En este artículo se representa un anillo con la letra P . Para un conjunto de n anillos el i -ésimo elemento se denota por P_i . El círculo más grande de P_i se denota por P_iR_i y su radio es R_i . El círculo más pequeño de P_i se denota por P_ir_i y su radio es r_i (ver Figura 2).

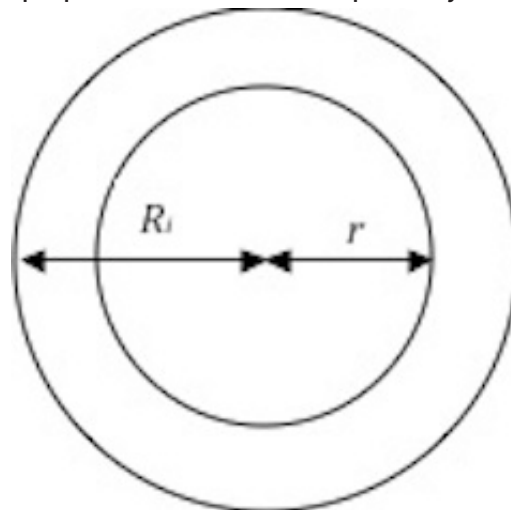


Figura 2.

Una descripción general del PETL es como sigue: dado un conjunto de n anillos P_i con un radio externo R_i y un radio interno r_i y centros (x_i, y_i) para $i=1,2,3,\dots, n$, y una caja rectangular B de ancho W y altura H . Colocar tantos anillos dentro de B de tal manera que no haya intersecciones entre los anillos y el área de B sea máxima.

La descripción de arriba da una idea clara de en que consiste el PETL, pero para poder desarrollar un procedimiento de optimización, se debe construir un modelo matemático. Para obtener una definición más precisa del problema, es necesario introducir más conceptos. Primero, el área A_i de un anillo P_i se puede calcular con la fórmula:

$$A_i = \pi(R_i^2 - r_i^2) \quad (1)$$

Donde R_i y r_i son los radios externos e internos de P_i , respectivamente. Otro importante cálculo es la intersección de dos anillos. Para poder realizar este cálculo, obsérvese la Figura 3.

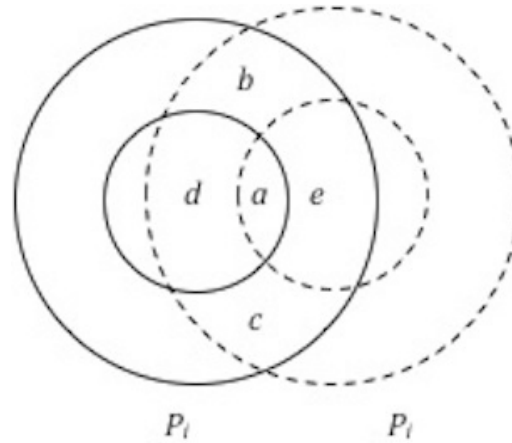


Figura 3: La intersección de dos anillos.

En la Figura 3 se muestran dos anillos, P_i (líneas sólidas) y P_j (líneas discontinuas). La intersección de estos anillos definen varias regiones de interés. Llámese a estas regiones a, b, c, d and e. La intersección de dos anillos forman a b and c, así que para calcular el área de estas regiones es necesario obtener el área de intersección de dos anillos. Una fórmula explícita para calcular estas áreas es muy complicada de obtener, pero se puede deducir una fórmula basada en la intersección de dos círculos. Para deducir esta fórmula es necesario introducir las siguientes definiciones.

Sean PR_i el círculo externo de P_i , Pr_i el radio interno de P_i , PR_j el círculo externo de P_j , Pr_j el círculo interno de P_j . Finalmente, sea $A(x)$ el área de la región x, por ejemplo $A(d)$ representa el área de la región d, $A(Pr_j)$ representa el área del círculo interno de P_j , etc.

Las regiones b y c pueden obtenerse con la siguiente fórmula:

$$A(b \cup c) = A(PR_i \cap PR_j) - A(PR_i \cap Pr_j) - A(Pr_i \cap PR_j) + A(Pr_i \cap Pr_j) \quad (2)$$

Donde \cap denota la intersección y \cup denota la unión. La demostración de la Fórmula (2) es sencilla de deducir. De la Figura 2, es evidente que:

$$\begin{aligned} A(PR_i \cap PR_j) &= A(a \cup b \cup c \cup d \cup e) \\ &= A(a) + A(b) + A(c) + A(d) + A(e) \end{aligned} \quad (3)$$

De forma similar:

$$\begin{aligned} A(PR_i \cap Pr_j) &= A(a \cup e) \\ &= A(a) + A(e) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} A(Pr_i \cap PR_j) &= A(a \cup d) \\ &= A(a) + A(d) \end{aligned} \quad (5)$$

$$A(Pri \cap Prj) = A(a) \tag{6}$$

Cuando (2), (3), (4), (5) y (6) son combinadas:

$$\begin{aligned} A(PRI \cap PRj) - A(PRI \cap Prj) - A(Pri \cap PRj) + A(Pri \cap Prj) \\ = A(a) + A(b) + A(c) + A(d) + A(e) - (A(a) + A(e)) \\ - (A(a) + A(d)) + A(a) = A(a) + A(c) \\ = A(b \cup c) \end{aligned} \tag{7}$$

La Fórmula (7) permite calcular la intersección de un par de anillos usando la intersección de cuatro círculos. La fórmula para calcular la intersección de dos círculos con radios R_i y R_j es:

$$A = 0.5 \cdot (\theta \cdot R_i^2 - R_i^2 \cdot \sin \theta + \varphi \cdot R_j^2 - R_j^2 \cdot \sin \varphi) \tag{8}$$

Donde:

$$\theta = 2 \cdot \arccos((R_i^2 + d_{ij}^2 - R_j^2) / (2 \cdot R_i \cdot d_{ij})) \tag{9}$$

$$\varphi = 2 \cdot \arccos((R_j^2 + d_{ij}^2 - R_i^2) / (2 \cdot R_j \cdot d_{ij})) \tag{10}$$

Y d_{ij} es la distancia Euclidiana entre los centros de los círculos. Otro cálculo importante es verificar si dos círculos se intersectan. Este cálculo es muy simple:

Si:

$$d_{ij} > R_i + R_j \tag{11}$$

entonces los círculos no se intersectan. Una característica importante del PETL es que no necesariamente todos los tubos serán colocados dentro del camión. Esto es evidente cuando el área de la caja del camión ($W \cdot H$) es menor que la suma de las áreas transversales de los tubos. Aún en casos donde el área de la caja es mayor, no siempre es posible acomodar todos los tubos dentro del camión. Es importante incluir una forma de reflejar esto dentro del modelo del problema. Una forma de lograrlo es introducir algunas variables artificiales b_i para $i = 1, 2, \dots, n$, donde n es el número de tubos a distribuir, con la siguiente propiedad:

$$\begin{aligned} b_i = 1, & \text{ si el tubo } P_i \text{ está en el camión} \\ & 0, \text{ de lo contrario} \end{aligned} \tag{12}$$

Esta variable es un artefacto que permite activar y desactivar tubos para evitar violar restricciones. La utilidad de esto puede verse en el siguiente ejemplo: en la Figura 4 se muestra un conjunto de tubos dentro de un camión. El acomodo de los tubos no es factible, porque dos de los tubos (aquellos con líneas discontinuas) intersectan a otros tubos. Pero si estos tubos son “desactivados”, se obtiene un acomodo como el mostrado en la Figura 4 (en la parte inferior), donde la solución es factible. Este mecanismo es una forma de “sacar los tubos del camión”, si $b_i=0$ entonces el tubo P_i no está cargado.

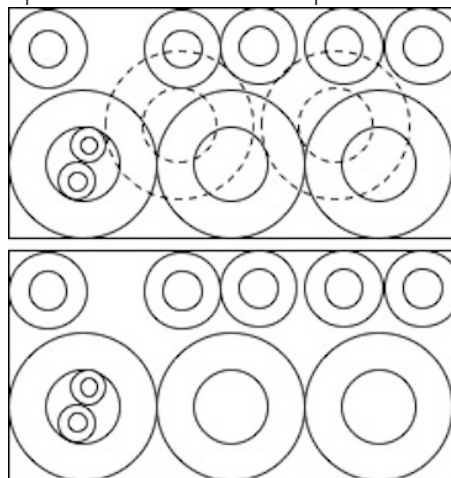


Figura 4. Las intersecciones en una solución pueden evitarse eliminando tubos.

A continuación se presenta un modelo matemático para el PETL. Dado un conjunto de n anillos P_i con radio externo R_i y radio interno r_i y centros (x_i, y_i) para $i=1,2,3,\dots,n$, y una caja rectangular B de ancho W y alto H :

Maximizar

$$\sum_{i=1}^n b_i \cdot \pi \cdot (R_i^2 - r_i^2) \quad (13)$$

Sujeto a:

$$b_i \cdot b_j \cdot ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2) \geq b_i \cdot b_j \cdot (R_i + R_j)^2 \quad (14)$$

ó

$$b_i \cdot b_j \cdot ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2) \leq b_i \cdot b_j \cdot (r_i - R_j)^2$$

$$\text{si } r_i \geq R_j \quad (15)$$

$$b_i \cdot b_j \cdot ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2) \leq b_i \cdot b_j \cdot (R_i - r_j)^2$$

$$\text{si } r_j \geq R_i \quad (16)$$

para $i = 1, 2, \dots, n - 1$ y $j = i + 1, \dots, n$.

$$0 \leq x_i - R_i \quad (17)$$

$$x_i + R_i \leq W \quad (18)$$

$$0 \leq y_i - R_i \quad (19)$$

$$y_i + R_i \leq H \quad (20)$$

para $i = 1, 2, \dots, n$

$$b_i \text{ es binario} \quad (21)$$

para $i = 1, 2, \dots, n$

La Fórmula (13) es la función objetivo a maximizar, y consiste en la suma de las áreas de los anillos dentro de la caja. En (14), se maneja la restricción de evitar el traslape de círculos. Un anillo puede estar completamente contenido dentro de otro anillo. Esta situación se expresa en (15) and (16). Las restricciones (17), (18), (19), (20) and (21) imponen la condición de que todos los círculos deben estar contenidos dentro de la caja.

En las restricciones (14), (15) y (16), el término $b_i \cdot b_j$ está presente en ambos lados de la desigualdad. Esto se debe a que este término previene la evaluación de intersecciones entre anillos que no estén cargados en el camión. Si b_i es igual a cero, or b_j es igual a cero, entonces ambos lados de la desigualdad (14), (15) y (16) son iguales a cero y la desigualdad no es violada.

El modelo de PETL es complejo, la función objetivo no es lineal y contiene restricciones con variables binarias. Las restricciones son no lineales y contienen variables enteras. Es difícil adaptar este modelo a métodos de gradiente u otros métodos clásicos de solución. Una opción viable es el uso de Estrategias Evolutivas (EE), ya que estos métodos de optimización son capaces de trabajar con funciones objetivo y restricciones complicadas. En la siguiente sección se da una introducción a esta técnica así como a la computación evolutiva en general.

III. COMPUTACIÓN EVOLUTIVA

3.1 INTRODUCCIÓN

La computación evolutiva abarca un conjunto de métodos de optimización, a los cuales llamaremos algoritmos evolutivo. Como su nombre lo indica, estos métodos están inspirados en la teoría de la evolución y otros fenómenos naturales. Estos algoritmos son heurísticos, es decir, se basan en reglas del sentido común para hacer búsquedas de la mejor solución a un problema y no tienen un fundamento teórico fuerte. Estos algoritmos

también son estocásticos, lo que significa que sus procedimientos de búsqueda dependen de la generación de números aleatorios. Esto tiene como consecuencia que si un algoritmo evolutivo es usado varias veces, es posible obtener resultados diferentes.

En la teoría de la evolución se mencionan diversos conceptos que tienen gran influencia en el desarrollo de las especies. Un ejemplo es "la supervivencia del más apto", que nos dice que aquellos individuos mejor adaptados a las condiciones del ambiente tienen más posibilidades de sobrevivir y tener descendencia. También tenemos el concepto de "mutación", que nos dice que, en ocasiones, los descendientes sufren pequeños cambios aleatorios que pueden modificar su aptitud. En ocasiones estos cambios son benéficos y otras ocasiones no, pero son un motor importante para la mejora de las especies.

Todos estos conceptos mencionados en el párrafo anterior, y otros más, son usados en computación evolutiva para crear poderosos métodos de optimización. Un algoritmo evolutivo es un procedimiento de optimización que busca resolver un problema planteado de la siguiente manera:

Minimizar/maximizar $f(x)$

sujeito a $g_i(x) \leq 0$, para $i = 1, \dots, I$

$h_j(x) = 0$, para $j = 1, \dots, J$

donde $f(x)$ es un función objetivo a optimizar, las $g_i(x)$ representan las restricciones de desigualdad y las $h_j(x)$ representan las restricciones de igualdad.

Para que un algoritmo evolutivo realice una optimización, uno de los pasos más importantes es codificar cualquier posible solución al problema como un vector de números x . Haciendo modificaciones aleatorias sobre los vectores x es como un algoritmo evolutivo realiza una exploración para buscar el mejor resultado posible.

El procedimiento general que realiza un algoritmo evolutivo se puede resumir como sigue:

1. Crear una población P de soluciones candidato al problema.
2. Evaluar la factibilidad de las soluciones numéricamente.
3. En base a su evaluación, seleccionar las soluciones más prometedoras.
4. Usando como base las soluciones más prometedoras, crear aleatoriamente una nueva población de soluciones.
5. Repetir el procedimiento a partir del Paso 2 hasta alcanzar el criterio de paro.

Existen muchas variantes de algoritmos evolutivos y no todos encajan totalmente con la descripción dada arriba. Sin embargo, esta descripción da una idea general del funcionamiento de estos algoritmos.

El paso de crear una población aleatoria puede ser tan simple como generar un conjunto de N vectores x (a estos vectores también suele llamárseles individuos) usando un generador de números aleatorios. De ahí la importancia de representar correctamente cualquier solución al problema como un vector de números. Una representación correcta permite que la mayoría de las soluciones tengan probabilidad de ser evaluadas, y todo vector x represente una posible solución.

El siguiente paso, evaluar la factibilidad de las posibles soluciones, consiste en evaluar que tan buena es una solución tomando como base si cumple con las restricciones del problema y su valor de la función objetivo. Esto nos permite comparar las soluciones "buenas" de las soluciones "malas".

La principal hipótesis de la computación evolutiva es que usando la información de las mejores soluciones encontradas, podemos generar soluciones aún mejores. Por eso el siguiente paso de un algoritmo evolutivo es tomar a las mejores soluciones de la población (que nos dan la mejor información) y descartar las peores soluciones (que nos dan información de poca calidad). Las mejores soluciones son usadas para crear una nueva población. Existen muchas técnicas de selección, como el método de "ruleta", el "torneo

binario" y otros, pero su descripción sobrepasa los objetivos de este trabajo.

Una vez seleccionadas las mejores soluciones, sigue el proceso de combinarlas y modificarlas para crear nuevas soluciones. Para esto se usan los procedimientos de cruce y mutación. En el procedimiento de cruce, se toman dos soluciones (los padres) y estas se recombinan para crear una o más soluciones nuevas (los hijos). En mutación, se toma un individuo y este es "alterado" de forma aleatoria. Existen muchos procedimientos de cruce y mutación y su descripción detallada va más allá del alcance de este reporte.

Los nuevos individuos generados formarán una nueva población que reemplazará a la anterior. A la nueva generación se le aplicarán los procesos de evaluación, selección y combinación. A este proceso se le llama "generación".

Se realizan generaciones hasta encontrar una solución satisfactoria o alcanzar algún criterio de paro. Los criterios de paro más comúnmente usados son: establecer un número máximo de generaciones; y detenerse cuando la aptitud promedio de la población no cambie significativamente de una población a otra.

3.2 OPTIMIZACIÓN MULTI-OBJETIVO

En la práctica, es muy común que cuando se aborda un problema de optimización se tenga interés en varias funciones objetivo. Por ejemplo: cuando se diseña una estructura de acero, se puede estar interesado tanto en minimizar el peso total de la estructura como en minimizar las deformaciones. Este tipo de problemas donde existen varias funciones objetivo a optimizar se conocen como problemas de optimización multi-objetivo o multi-criterio. Como son varias funciones objetivo las que se desean optimizar y no se conoce una manera de combinarlas en una única función objetivo, no es posible decidir en muchos casos cuando una solución es mejor que otra.

Para poder comparar dos soluciones es común usar el Criterio de Optimalidad de Pareto (COP). COP define una relación binaria entre dos vectores.

Decimos que un vector z en R^n domina a un vector w en R^n , si $z_i \leq w_i$ para $i = 1, \dots, n$ y además existe un índice k en $1, \dots, n$ tal que $z_k < w_k$. z_i representa el i -ésimo componente de z . En otras palabras, un vector z domina a un vector w si ningún componente de w es mejor que el correspondiente componente en z y existe al menos un componente de z que es mejor que su correspondiente componente en w .

De manera que dos soluciones x , y en R^n pueden compararse a través de COP usando sus valores en las funciones objetivo. Si tenemos m funciones objetivo $F(x) = \langle f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x) \rangle$, x es mejor que y si $F(x)$ domina a $F(y)$. y es mejor que x si $F(y)$ domina a $F(x)$.

Existe una tercera condición en la cual, bajo COP, x no es mejor que y , y y no es mejor que x . En estos casos se dice que x y y son incomparables. Existe un conjunto de soluciones para todo problema multi-objetivo, que contiene a todas las soluciones que no son dominadas por ninguna otra solución, pero al mismo tiempo estas soluciones son incomparables entre sí. A este conjunto de soluciones se le llama el conjunto de Pareto, y son las soluciones más eficientes para un problema multi-objetivo.

En optimización multi-objetivo, la meta es obtener una aproximación al conjunto de Pareto. A partir de esta aproximación se pueden elegir cuales son las soluciones más adecuadas según nuestros criterios personales. Debido a que los algoritmos evolutivos trabajan con varias soluciones de manera simultánea, ha sido fácil adaptarlos para aproximar el frente de Pareto. En los algoritmos evolutivos multi-objetivo, se trabaja sobre la población de soluciones para hacerla converger al conjunto de Pareto, de manera que en una sola corrida el algoritmo obtenemos un catálogo de soluciones que son incomparables entre ellas y nos muestran los diferentes compromisos entre funciones objetivo.

Este esquema de trabajo se ha aplicado para resolver diversos problemas prácticos y científicos. En la siguiente sección mostramos una selección de aplicaciones.

3.3 APLICACIONES DE LA COMPUTACIÓN EVOLUTIVA

En esta sección presentamos una revisión de algunas aplicaciones de casos reales en las que se ha usado optimización evolutivos y multi-objetivo. Se presenta una selección de los casos más significativos e interesantes para los efectos de este proyecto, ya que literalmente existen cientos de ejemplos de aplicaciones y buscar mencionarlos todos tomaría demasiado tiempo del proyecto.

3.3.1 ALGORITMOS PARA DISEÑO AERODINÁMICO

Branke et al. [12] describe el uso de algoritmos multi-objetivo para la solución de problemas de diseño aerodinámico y da varias recomendaciones para el uso de estos algoritmos. Primero, identifican tres de los problemas más importantes al trabajar con problemas de diseño aerodinámico:

- Generalmente existe un gran número de parámetros a optimizar.
- No hay una función analítica para evaluar el desempeño de un diseño.
- Es necesario hacer simulaciones con software de elemento finito, especial para el análisis de dinámica de fluidos. Ó, es necesario realizar costosos experimentos.
- La optimización aerodinámica involucra muchas disciplinas y se deben considerar varios objetivos.

Uno de los puntos más importantes al optimizar es la representación de las soluciones. En Branke et al [12]. se dan algunos criterios generales:

- Hay que elegir representaciones flexibles, capaces de describir estructuras complejas. Una representación muy restringida puede provocar que el óptimo no sea encontrado.
- La representación debe ser eficiente, es decir se debe usar el menor número de parámetros posible para reducir el espacio de búsqueda.
- La representación debe permitir hacer búsquedas más refinadas en el espacio de búsqueda. Muchas veces no es posible encontrar una representación que cumpla con todos los objetivos antes mencionados. Por lo tanto, un esquema muy común es usar múltiples representaciones. Se comienza con una representación que use pocos parámetros para realizar un optimización inicial y luego se usa un número reducido de parámetros para realizar un búsqueda más fina. Otro punto importante es el tiempo de cómputo. Los algoritmos evolutivos requieren de un alto número de evaluaciones de la función objetivo para realizar su exploración. El problema es que en diseño aerodinámico la evaluación de la función objetivo es muy costosa y no es factible realizar un alto número de evaluaciones. Por lo tanto, es importante tomar medidas para reducir el tiempo necesario para optimizar. A continuación se mencionan algunas recomendaciones:

- Deben usarse algoritmos que converjan con un número pequeño de evaluaciones de función y que puedan usarse con problemas de alta dimensión.
- Se debe paralelizar el proceso de búsqueda tomando ventaja de varios procesadores.
- Usar ocasionalmente simulaciones "reducidas" de la función objetivo.

Tomando en cuenta esta y otras consideraciones, se realizó un experimento para el diseño de un álabe del estator de una turbina de gas. Se consideraron dos objetivos: la pérdida de presión promedio y la presión de salida del estator. El álabe fue representado basándose en las sección transversal en la base y la punta del álabe. Estas secciones se representaron con B-splines usando 25 puntos de control por sección. Los primeros tres y los últimos

tres puntos de control coinciden, por lo que al final solo se tienen 22 puntos por sección para optimizar. Se supone que las caras transversales del álabe permanecen paralelas y a una distancia constante, por lo que se puede ignorar la coordenada y de los puntos de control. De manera que cada posible solución al problema está compuesta de 88 variables (dos coordenadas x y y para 22 puntos en dos caras).

Para evaluar la aptitud de cada solución candidato, los autores usaron un analizador de flujo de Navier–Stokes en 3D llamado HSTAR3D [3]. Se usaron cuatro procesadores dobles AMD opteron 2 GHz en paralelo. Para reducir los tiempos de cómputo, se usaron varios procesadores en paralelo.

El algoritmo de búsqueda elegido por Branke et al. [12] es una variación de los algoritmos de estimación de la distribución (EDAs por sus siglas en inglés) [13]. El nombre de este algoritmo es RM–MEDA [14]. Se usó una población de 20 individuos, con 100 generaciones. La población inicial no se creó al azar, sino que se usaron resultados de optimizaciones previas. Al final lograron obtenerse aproximaciones al Frente de Pareto bien distribuidas. En mi opinión, la optimización de la turbina realizada en Branke et al. [12] tuvo un objetivo más académico que práctico. No se informó cómo se usaron los Frentes de Pareto generados para identificar la solución final. Aparentemente la finalidad era la de mostrar cómo usar conceptos multi–objetivo en diseño aerodinámico pero no realizar una aplicación real.

3.3.2 ALGORITMOS MULTI–OBJETIVO PARA EL DISEÑO DE CONTENEDORES DE BEBIDAS CALIENTES

En Han et al. [15] se trabaja el problema de diseñar el contenedor de una bebida caliente, de manera que se reduzca el calor al tacto y se simplifique la producción. En lugares donde hace mucho frío, se han colocado máquinas expendedoras de bebidas que surten las bebidas calientes. El problema es que el contenedor, fabricado de aluminio, puede tener temperaturas de hasta 60 C, las cuales pueden resultar muy elevadas para el tacto. Una solución para este problema es agregar muescas a la botella, de manera que la superficie de contacto disminuya y se reduzca la cantidad de calor que se transfiere al usuario. Sin embargo, introducir dichas muescas complica el proceso de producción.

Como existe un claro compromiso entre simplificar el proceso de producción y reducir la temperatura de contacto de las botellas, los autores optaron por usar un algoritmo multi–objetivo. Las muescas son formadas forzando un cilindro de aluminio a través de un dado hueco con la forma de las muescas. De manera que las principales variables de búsqueda son los parámetros geométricos de las muescas, como la altura, número, ancho de base y ancho de cresta, así como el esfuerzo de formación de la pieza.

Las funciones objetivo a optimizar son:

- 1) La transferencia de calor al tacto.
- 2) La facilidad de conformado de la botella. Estas funciones objetivo se evaluaron usando un programa de análisis elemento finito MSC.MARC.

Como la evaluación de la función objetivo a través de elemento finito es computacionalmente costosa, Han et al. [6] optaron por usar el método de superficie de respuesta. Evaluaron las funciones objetivo con el método de elemento finito para varias configuraciones de las variables de búsqueda. Con esta información construyeron una superficie de respuesta que modela el comportamiento real del sistema.

Al final, no se usó un algoritmo evolutivo multi–objetivo para encontrar la solución óptima del problema. En vez de eso se usó un algoritmo de optimización mono–objetivo haciendo una suma pesada de las funciones objetivo. Asignado pesos cuidadosamente selecciona-

dos lograron detectar la solución más satisfactoria.

3.3.3 ALGORITMOS MULTI-OBJETIVO PARA DISEÑO DE UN ALA DE AVIÓN

Ray [16] presenta el diseño de un ala de avión usando optimización multi-objetivo. Para realizar esta optimización, Ray [16] diseña un algoritmo multi-objetivo, cuyo sistema de selección en el mecanismo de búsqueda se basa en los siguientes principios:

- Se debe dirigir al conjunto de soluciones hacia la región factible del espacio de búsqueda. Una vez alcanzada esta región, se procede a mejorar el valor de la función objetivo de las soluciones.

- Una solución factible es preferida sobre una no factible.

- Entre dos soluciones factibles, se prefiere aquella con mejor convergencia al Frente de Pareto.

- Entre dos soluciones no factibles, se elige aquella con mejor valor en las restricciones.

Haciendo uso de las ideas anteriores, se construye un algoritmo evolutivo capaz de manejar varias funciones objetivo y varias restricciones al mismo tiempo. El planteamiento del problema a resolver se hace de la manera siguiente. Se necesita diseñar un ala de avión con un coeficiente de levantamiento $CL = 0.7$ considerando un número de Mach (M) de 0.73 con un ángulo de ataque entre uno y tres grados. El coeficiente de arrastre y el coeficiente de lanzamiento deben ser minimizados al punto de operación y cuatro puntos cercanos. La formulación del problema queda de la siguiente manera: $f1(x) = [CD(M-0.05, \alpha) + CD(M+0.05, \alpha) + CD(M, \alpha-0.05) + CD(M, \alpha+0.05) + CD(M, \alpha)]/5$,

$$f2(x) = [CM(M-0.05, \alpha)^2 + CM(M+0.05, \alpha)^2 + CM(M, \alpha-0.05)^2 + CM(M, \alpha+0.05)^2 + CM(M, \alpha)^2]/5$$

Sujeto a:

$CL = 0.7$ en (M, α) (4)

Para representar el ala de avión se usaron dos polinomios: uno para el contorno superior del ala y otro para el contorno inferior.

Para calcular el flujo a través del ala, se usó el código de Euler. Algo muy remarcado por los autores del estudio, es que este problema incluye una restricción de igualdad, lo cual es muy complicado de trabajar con algoritmos genéticos. Por esto, se introduce una corrección en las soluciones, con el fin de forzar el cumplimiento de la restricción de igualdad.

Se usó una población de 30 individuos durante 10 generaciones. Al final se obtuvieron una buena convergencia y diversidad al Frente de Pareto.

3.3.4 ALGORITMOS PARA DISEÑO ESTRUCTURAL

Un uso interesante de la optimización multi-objetivo es el que reportan Fragiadakis et al. [17]. Ellos diseñan estructuras de acero usando como función objetivo el costo de construcción, pero además consideran el costo de la construcción a lo largo de toda su vida útil. Cuando se construye un edificio, es importante considerar el costo de construcción inicial como principal criterio de decisión. Sin embargo, a lo largo de la vida útil de una construcción pueden presentarse fenómenos como: terremotos, tormentas, inundaciones, etc. que producen un costo adicional de mantenimiento y reparación. Si estos costos de mantenimiento no se consideran, un diseño barato puede resultar muy caro a largo plazo. El costo inicial y el costo de mantenimiento y reparación son objetivos que se encuentran en conflicto, por lo que encajan muy bien en el esquema de optimización multi-objetivo.

El problema de optimización fue planteado de la siguiente manera [17]:

Minimizar $\{CIC(x), CLC(x)\}$

sujeto a $g_j(x) \leq 0, j = 1, \dots, k,$

donde CIC es el costo inicial de la construcción, CLC es el costo a lo largo del ciclo de vida, x es el vector de variables de búsqueda y g_j son las restricciones. Las restricciones para este problema son una serie de comprobaciones de que los elementos de la estructura de acero del edificio, no sobrepasen su carga máxima permisible (la carga a partir de la cual el elemento se vence). Estas comprobaciones se hicieron utilizando las condiciones de carga normales del edificio y condiciones de carga de "empuje" que se usan para simular el efecto de los terremotos.

El costo inicial se calcula de manera convencional, considerando este gasto como proporcional a la cantidad de acero que se usa en el diseño. Para calcular el costo a lo largo del ciclo de vida, se usa un modelo propuesto en [18].

Para resolver el problema multi-objetivo, se usó una adaptación de las estrategias evolutivas conocida como ESMO [19]. Los pasos generales de ESMO se resumen a continuación:

1. Inicialización: generar μ padres para la primera generación. (a) Diseño: análisis estructural y verificación de restricciones. (b) Evaluar funciones objetivo.
2. Búsqueda de no dominados: obtener una aproximación del Frente de Pareto.
3. Generación de descendientes: generar λ hijos para la generación actual. (a) Diseño: análisis estructural y verificación de restricciones. (b) Evaluar funciones objetivo.
4. Revisión de diversidad: se aplica un procedimiento conocido como "fitness sharing" para evaluar que tan diversos son los padres e hijos.
5. Selección: seleccionar a los padres de la generación siguiente.
6. Búsqueda de no dominados: obtener una nueva aproximación del Frente de Pareto.
7. Revisión de convergencia: si el criterio de paro es satisfecho, terminar. De lo contrario regresar al paso 3.

Como caso de prueba se analizó un edificio bidimensional con 110 barras. Ciertos grupos de barras estaban restringidas a usar el mismo perfil de acero, así que en total se tienen 13 perfiles de acero diferentes en el edificio. Los perfiles de acero disponibles se escogieron de un catálogo del American Institute of Steel Construction (AISC 2001). Se usó una población de 50 padres que generan 50 hijos en cada iteración. En total se usaron 42 generaciones.

Al final se obtuvo un Frente de Pareto que comparaba el costo inicial contra el costo del ciclo de vida. Gracias a este Frente de Pareto, se pudieron comparar las ventajas y desventajas de diferentes diseños dependiendo de sus costos. Con esta información se tuvieron elementos para tomar decisiones más acertadas.

3.3.5 ALGORITMOS MULTI-OBJETIVO PARA DISEÑO DE PRUEBAS DE ADN

Una parte fundamental en medicina genética es el estudio de ADN. En la actualidad se han realizado muchos esfuerzos para descifrar el código genético de diversas especies, incluyendo el hombre. Para estudiar la composición de un genoma, es importante ver si están presentes ciertas cadenas de ADN. Esta tarea no es fácil. Una de las técnicas utilizadas es la de crear pequeñas cadenas de moléculas conocidas como "probes". Estos probes se crean de manera que complementan una cadena de ADN y reaccionan fusionándose a esta cuando se ponen en contacto. De manera que se puede detectar la presencia de ciertas cadenas de ADN al poner esta en contacto con probes diseñados para complementar dichas cadenas.

Los probes deben ser diseñados cuidadosamente para reducir el ruido en los experimentos. Por un lado, los probes deben ser poder fusionarse fácilmente con las cadenas de ADN a las que están dirigidas. Por otro lado, debe evitarse el fenómeno de hibridación, en

el cual un probe se fusiona con una cadena diferente a la que se deseaba. Shin et al. [20] trabajaron este problema usando un algoritmo multi-objetivo. El algoritmo utilizado fue el ϵ -MOEA [21], el cual es uno de los algoritmos multi-objetivo más interesantes, pues es fácil de escalar a altas dimensiones, tiene muy pocos parámetros que ajustar y combina convergencia y diversidad de manera natural.

La técnica más común para generar conjuntos de probes es la llamada técnica de filtrado, donde se evalúan grupos grandes de probes y se descartan aquellos que no cumplen restricciones. De los probes restantes se elige el que es considerada al mejor opción, según los expertos. Shin et al. [20] logró general un conjunto de soluciones no dominadas. Al examinar este conjunto, lograron identificar conjuntos de probes que superaban en varios aspectos a las soluciones obtenidas usando técnicas de filtrado.

Este artículo es un trabajo muy completo sobre el uso de optimización evolutiva multi-objetivo para manejar de restricciones. Los autores son todos médicos, no programadores ni expertos en computación. Aún así pudieron aplicar los algoritmos multi-objetivo en su trabajo. Inclusive desarrollaron una página web que permite a cualquier usuario usar su programa.

3.3.6 ALGORITMOS MULTI-OBJETIVO PARA LA CONFIGURACIÓN DE PRODUCTOS

En muchas industrias es común utilizar una serie de componentes ya existentes, para ensamblar un nuevo producto que cumpla con los requerimientos del cliente. Un ejemplo muy ilustrativo es el ensamble de computadoras, donde se pueden armar computadoras con poca capacidad de cómputo y memoria, además de un monitor barato, cuando éstas se van usar en un cibercafé y tareas simples de oficina. Para computadoras que serán usadas para jugar video-juegos, se necesita mucha memoria RAM y un procesador gráfico poderoso, y también un monitor de la mayor calidad. Computadoras para cálculos matemáticos necesitan mucha memoria RAM y un procesador matemático rápido, y probablemente no ocupen un monitor. Hay que notar que todas estas computadoras se ensamblan a partir de un catálogo de piezas ya existente, es decir, los monitores, tarjetas gráficas, procesadores, teclados, etc. ya existen en diferentes tipos y con diferentes atributos. Solamente se eligen aquellos componentes que, trabajando juntos, cumplen con todos los requerimientos necesarios.

A este tipo de problemas se les llama "configuración de producto", y es un caso especial del proceso de diseño. Este problema es complicado pues pueden existir un número muy alto de posibles configuraciones para un mismo producto; el espacio de búsqueda es, en general, discreto, por lo que no se pueden usar algoritmos de búsqueda que usan gradiente. Además existe un número alto de restricciones, que vuelven muy complicado el encontrar soluciones factibles.

Bind et al. [22] trabajaron el problema de configuración de producto, y detectaron dos principales problemas con los métodos actuales para resolver este problema: (1) es casi imposible optimizar el diseño del producto de acuerdo a un criterio, o a múltiple criterios requeridos por el cliente; (2) cuando el problema tiene pocas restricciones, su complejidad explota. Para resolver este problema, Bind et al. [22] decidieron probar con optimización multi-objetivo. Primero definen la estructura de la configuración de un producto y manejan dos conceptos principales: Función, que es una característica abstracta del producto que nos dice lo que el producto hace; y Componente, que es una parte del sistema que es capaz de hacer una función y es una pieza del sistema completo. Con estos dos conceptos básico se puede representar cualquier sistema como un árbol, donde cada nodo es un componente, y las funciones de todos los componentes realizadas de acuerdo a la estruc-

tura del árbol logran el objetivo principal del sistema.

Las restricciones para crear un sistema son básicamente de compatibilidad (deben escogerse componentes que son compatibles entre ellos); y de requerimientos del cliente (el sistema completo debe ser capaz de realizar todas las funciones que el cliente necesita). Las funciones objetivo que se desean minimizar son también dos: (1) el costo total de todas las piezas y (2) el tiempo de fabricación.

Para obtener los Frentes de Pareto del sistema, se usó el método NPGAll. Se corrieron una serie de problemas de con diferentes grados de complejidad. Al final, las soluciones obtenidas con la propuesta de Bind et al. [22] fueron superiores a aquellas obtenidas con otros métodos.

3.3.7 ALGORITMOS MULTI-OBJETIVO PARA PLANEAR LA EXPLOTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Un grave problema a futuro, es la disponibilidad de agua para consumo humano e industrial. Con el constante crecimiento de la población y la industria, la demanda de agua crece constantemente. Debido a que las fuentes de abastecimiento superficiales, como ríos, lagos y presas, se han explotado a su máxima capacidad, la opción más factible para satisfacer la creciente demanda es usar aguas subterráneas. Existe una gran disponibilidad de agua en el subsuelo, de manera que colocar pozos de extracción en diversos puntos permite satisfacer la demanda. Por desgracias, el agua subterránea también está limitada y su uso irracional puede provocar que este recurso se agote. Sobreexplotar el agua subterránea con un pozo puede provocar que la disponibilidad de agua en ese punto se reduzca hasta hacer imposible su extracción por un tiempo, o incluso provocar la salinización del agua cuando el pozo se encuentra cerca del mar.

La solución es colocar diversos pozos, y repartir la extracción de agua en todos ellos, de manera que el nivel freático se mantiene elevado todo el tiempo. La colocación de estos pozos es un problema que contiene muchas variables a considerar y mucha planeación. Siegfried et al. [23] trabajaron este problema usando optimización multi-objetivo. Entre las muchas consideraciones que se contemplaron están las siguientes:

- ¿Cuántas estaciones de bombeo se van a instalar?
- ¿Dónde deben colocarse estas instalaciones?
- ¿Cómo debe programarse el bombeo en esas instalaciones?
- ¿Cuál es la estructura del sistema de distribución que lleva el agua de los pozos a las tomas? El problema se torna más complejo cuando consideramos otros conceptos como la topografía y los accidentes del terreno, que dificultan la colocación de pozos y de las redes de distribución. También las limitaciones económicas y de disponibilidad de materiales. A todo lo anterior hay que sumar cuestiones políticas y legales. Los mantos acuíferos suelen estar distribuidos en grandes extensiones de terreno, que pueden pertenecer a más de un municipio, o de más de un estado e incluso, más de un país. La extracción de agua en un pozo puede afectar a grandes zonas del acuífero, por lo que en la planeación de la explotación debe considerarse tanto la manera en que podemos afectar a otros, así como la manera en que se puede ser afectado en el futuro. En el modelo que manejan Siegfried et al. [23], se considera que m tomadores de decisiones tienen que alimentar a K tomas de agua, donde $1 \leq m \leq K$ ya cada tomador de decisiones le corresponde al menos una toma de agua. Se tienen en total I pozos, y cada pozo alimenta solamente a una toma de agua. El planteamiento del problema consiste en minimizar el costo de satisfacer la demanda de cada una de las m tomas sujetas a restricciones de uso. El problema se resolvió programando algoritmos multi-objetivos en MatLab. Se programaron cuatro algoritmos: SPEA

II, NSGA II, ABEA e IBEA. Estos algoritmos fueron capaces de generar aproximaciones al Frente de Pareto del problema. El resultado fue muy interesante, pues al analizar las diferentes opciones se pudo apreciar el compromiso entre las funciones objetivo. Fue evidente como para reducir los gastos de una toma, era necesario aumentar el costo en otras tomas. Los Frentes de Pareto finales resultaron herramienta útil para análisis y toma de decisiones.

3.4 ESTRATEGIAS EVOLUTIVAS

Las Estrategias Evolutivas [5] son un paradigma de la Computación Evolutiva (CE)[6]. Otros paradigmas son los Algoritmos Genéticos [7], Evolución Diferencial y muchos otros [8]. La Computación Evolutiva se ha usado para resolver varios problemas en la industria. Por ejemplo, en [9] los autores usan Optimización con Enjambre de Partículas para optimizar redes de dispositivos móviles. En [10] los autores usan Algoritmos Meméticos para resolver problemas de optimización entera mixta.

La CE está inspirada en la Teoría de la Evolución de las Especies por Selección Natural, y toma conceptos como mutación, población, sobrevivencia del más apto, etc., para crear poderosas herramientas de optimización. En CE, un candidato a solución de un problema se codifica como un vector de números, y varios de estos vectores son generados aleatoriamente. A un conjunto de estos vectores se le conoce como población y a un vector individual se le conoce como un individuo. Los miembros de una población son mutados y recombinados para obtener nuevos vectores que representan una mejor solución al problema. Los vectores usados para mutarse y recombinarse son seleccionados de entre los mejores elementos de la población original. La idea es que los mejores miembros de una población pueden ser usados para obtener soluciones mejores que sus "padres". Los métodos usados para representar a una solución como un vector de números, para seleccionar a los mejores individuos, para mutarlos y recombinarlos son diferentes dependiendo del algoritmo evolutivo.

En EE, los candidatos a solución de un problema se codifican como un vector de números de punto flotante y el proceso de mutación es más importante que el proceso de recombinación. Las mutaciones se realizan sumando números aleatorios a los valores de un individuo; estos números aleatorios se generan a partir de funciones exponenciales. El proceso de recombinación consiste en una suma pesada de dos individuos. Para seleccionar a los mejores elementos de una población, se usa el valor de la función objetivo de los miembros de la población como criterio de selección. Los miembros de la población se ordenan respecto a su valor de funciones objetivo, y aquellos con los mejores valores son seleccionados. El algoritmo general es el siguiente:

1. Generar aleatoriamente una población inicial.
2. Evaluar la función objetivo para cada elemento de la población.
3. Seleccionar a los mejores elementos de la población.
4. Recombinar a los mejores elementos de la población.
5. Mutar a los elementos recombinados para crear a la nueva población.
6. Sustituir a la población anterior con la nueva población.
7. Repetir desde el Paso 2 hasta alcanzar el criterio de paro.

Cada ciclo en el cual una población es creada a partir de la anterior se le conoce como una generación. El número de individuos seleccionados por recombinación es usualmente 1/70 de la población original. El criterio de paro es un número máximo de generaciones. Las Estrategias Evolutivas se diseñaron para optimización global sin restricciones. Para hacerlas funcionar con problemas con restricciones se han desarrollado varias propues-

tas. Una de las mas exitosas es el Ranqueo Estocástico (RS)[11]. En RS, para seleccionar a los mejores individuos de una población, primero se ordena esta basándose en la función objetivo y en el grado de violación de las restricciones. Dos individuos son comparados en base a la función objetivo o en base a las restricciones dependiendo de una probabilidad. Este método ha sido muy exitoso para resolver problemas de optimización con restricciones.

EE combinadas con RS es el método usado en este trabajo para optimizar PETL. Los experimentos y resultados se muestran en la siguiente sección.

IV. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Con el objetivo de probar la efectividad de la Estrategia Evolutiva (EE) combinada con la Clasificación Estocástica (CS), tres instancias del PETL fueron usadas. Una caja Se consideró una caja con un ancho de 400 cm. y una altura de 300 cm. Hay tres tamaños de tubos: i) Tubo 1, con un radio exterior de 50 cm. y el radio interno de 45 cm; ii) Tubo 2, con un radio exterior de 25 cm. y el radio interno de 20 cm; iii) Tubo 3, con un radio exterior de 10 cm. y un radio interno de 8 cm. Las diferencias entre las instancias del problema equivalen al número de tuberías. Los números de tubos para cada instancia del problema se muestran en la Tabla 1.

EE es un algoritmo estocástico, consecuentemente, diferentes resultados son obtenidos para diferentes corridas del algoritmo. Por esta razón, con el fin de verificar la consistencia del algoritmo, se realizaron 30 corridas para cada instancia del problema. Los parámetros del algoritmo son las siguientes: tamaño de la población = 40, el número de individuos elegidos para la reproducción = 6, el número máximo de generaciones = 2000. Los resultados de los experimentos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1. Numero de tubos para cada instancia del problema.

Instancia	# Tubo 1	# Tubo 2	# Tubo 3
1	3	5	5
2	5	5	10
3	10	10	15

Tabla 2. Resultados de los experimentos.

Instancia	Número total de corridas	Número encontrado de soluciones factibles
1	30	27
2	30	15
3	30	0

La Tabla 2 muestra que el número de soluciones factibles reportado por la EE depende del tamaño del problema. Para la primera instancia del problema, la EE es el tiempo. Pero, para la segunda instancia del algoritmo, la EE encuentra soluciones viables en la mitad de las corridas. Para la instancia más difícil del problema (la tercera instancia), no se encontró ninguna solución factible. La Figura 5 muestra un ejemplo de una solución para la segunda instancia del problema obtenida por medio de la EE.

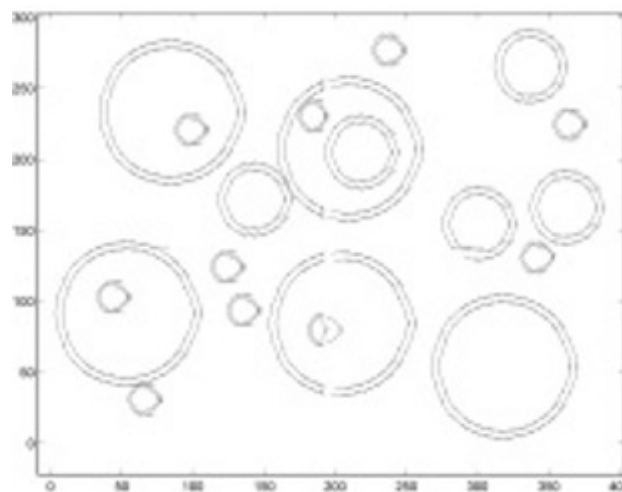


Figura 5. Solución reportada por el experimento

V. CONCLUSIONES

En este trabajo, el problema de empaque de tubos ligeros o PETL ha sido estudiado. La solución a este problema tiene importantes aplicaciones prácticas. En éste trabajo, un modelo matemático para el PETL fue expuesto con el fin de manejarlo como un problema de optimización. Este modelo matemático puede ser útil tanto para resolver el problema práctico PETL, así como para ser utilizado como un punto de referencia para probar nuevos algoritmos de optimización.

Se utilizó una EE combinada con una CE a fin de encontrar una solución al problema. Los resultados no fueron satisfactorios debido a que el algoritmo de optimización no es consistente en la búsqueda de soluciones factibles. De hecho, en cuanto a la más compleja de las instancias del problema, éste no fue capaz de encontrar una solución factible. Es importante tener en cuenta que los problemas prácticos son más complejos que el aquí analizado. En la práctica puede ser necesario distribuir más de un centenar de tubos.

También es importante señalar que se trata de una investigación en curso y muy poco se ha probado todavía. Estas son experimentaciones iniciales y sin duda muchos otros enfoques pueden ser utilizados para resolver el problema. Algunas ideas para resolver el problema se presentan a continuación.

Conjeturamos que una de las razones por la que la EE no encuentra mejores soluciones es el diseño de la función objetivo. Las fórmulas (13) - (21) se utilizaron directamente en el algoritmo, pero es posible hacer algunas modificaciones a la función objetivo y a las restricciones con el fin de guiar la exploración a la solución deseada. Es conveniente dar una penalización más fuerte a los círculos que se cruzan con otros círculos, y la función objetivo debe ser diseñada para dar una mejor puntuación a las soluciones que contienen círculos completamente dentro de otros.

Otra idea para continuar con la investigación es el uso de otros algoritmos, como los Algo-

ritmos Genéticos, Recocido Simulado, etc. Hay muchas opciones que se pueden probar, de forma que se pueda evaluar su desempeño. Por otra parte, una combinación de diferentes algoritmos y heurísticas puede dar lugar a mejores soluciones. Por ejemplo, un algoritmo evolutivo se puede utilizar para encontrar la mejor solución para los tubos de mayor radio, fijar su posición y luego utilizar nuevo los algoritmos evolutivos para arreglar los tubos con el segundo mayor radio, evitando la intersección con los tubos que ya están en el área. Este procedimiento puede repetirse hasta que se encuentren todos los tubos.

La eficiencia del algoritmo se puede mejorar también. Con el fin de calcular el valor de las limitaciones, cada tubo se compara con todo el resto de ellos. Este procedimiento es cuadrático con respecto al número de tubos y es muy costoso en tiempo de cálculo computacional. Buscar una manera más rápida para calcular la intersección puede ser muy útil. Una posible solución es el uso de un diagrama de Voronoi con el fin de ser capaz de identificar qué círculo está más cerca del otro y calcular intersección sólo con los círculos más cercanos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos al Programa de Laboratorios Nacionales del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo para la realización de la presente investigación.

VI. REFERENCIAS

- [1]M. Cedillo, & C. Sánchez. "Dynamic analysis of industrial systems," Mexico: Trillas Publisher, (2008).
- [2]S. Chopra and P. Meindl. "Administración de la cadena de suministro." México. Pearson. (2008).
- [3]P. G. Szabó, M. C. Markót, T. Csendes, E. Spetch, L.G. Casado and I. García "New Approaches to circle packing in a square," Springer, vol. 6, pp. 13–18, 2007.
- [4]B. Addis, M. Locatelli and F. Schoen, "Efficiently packing unequal disks in a circle," Operations Research Letters 36 (2008), 37–42.
- [5]H.P. Schwefel. "Evolution and Optimum Seeking: The Sixth Generation." John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, (1993).
- [6]Nazmul Siddique, Hojjat Adeli,"Computational Intelligence: Sinergies of Fuzzy Logic, Neural Networks and Evolutionary Computing", Wiley, (2013).
- [7]D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning ", ADDISON WESLEY, (1989),
- [8]S. Das, "Differential Evolution: A Survey of the State-of-the-Art", IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 15 , No. 1, (2010).
- [9]Shahram Jamali, Rezaei Leila, Sajjad Jahanbakhsh Gudakahriz, "An Energy-efficient Routing Protocol for MANETs: a Particle Swarm Optimization Approach", JART, Vol. 11, No. 6, pp. 803-812, 2013.
- [10]Y. C. Lin. "Mixed-Integer Constrained Optimization Based on Memetic Algorithm", JART, Vol. 11, No. 2, pp. 242-250, 2013.
- [11]Samrat L. Sabat, Layak Ali, Siba K. Udgata, "Stochastic Ranking Particle Swarm Optimization for Constrained Engineering Design Problems", Swaarm, Evolutionary and Memetic Computing, Vol 6466, pp. 672--679, (2010).
- [12]Theodor Stewart, Oliver Bandte, Heinrich Braun, Nirupam Chakraborti, Matthias Ehrhoff, Mathias Gobelt, Yaochu Jin, Hirotaka Nakayama, Silvia Poles, and Danilo Di Stefano. "Real-world applications of multiobjective optimization". pages 285–327. Springer-Verlag,

Berlin, Heidelberg, 2008.

[13]P. Larranaga and J.A. Lozano. "Estimation of Distribution Algorithms: A New Tool for Evolutionary Computation". Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2001.

[14]Q. Zhang, A. Zhou, and Y. Jin. "A regularity model-based multi-objective estimation of distribution algorithm". IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 12(1):41–63, 2008.

[15]Jing Han, Koetsu Yamazaki, Ryouiti Itoh, and Sadao Nishiyama. Multi-objective optimization of a two-piece aluminum beverage bottle considering tactile sensation of heat and embossing formability. In Structural and Multidisciplinary Optimization, pages 141–151. Springer Berlin / Heidelberg, 2006.

[16]Tapabrata Ray. "Applications of multi-objective evolutionary algorithms in engineering design". pages 29–52. World Scientific, New Jersey, 2004.

[17]Michalis Fragiadakis, Nikos D. Lagaros, and Manolis Papadrakakis. "Performance-based multiobjective optimum design of steel structures considering life-cycle cost". In Structural and Multidisciplinary Optimization, pages 1–11. Springer Berlin / Heidelberg, 2006.

[18]Y. K. Wen and Y. J. Kang. Minimum building lifecycle cost design criteria. Journal of Structural Engineering, 127(3):330–337, 2001.

[19]M. Papadrakakis, N.D. Lagaros, and V. Plevris. Multi-objective optimization of space structures under static and seismic loading conditions. Eng Opt J, 1(34):645–669, 2002.

[20]Soo-Yong Shi, In-Hee Lee, Young-Min Cho, Kyung-Ae Yang and Byoung-Tak Zhang}, "EvoOligo: Oligonucleotide Probe Design With Multiobjective Evolutionary Algorithms, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B, volume 39, number 6, 2010, pages 1606–1616.

[21]Marco Laumanns, Lothar Thiele, Kalyanmoy Deb, and Eckart Zitzler. "Combining convergence and diversity in evolutionary multi-objective optimization". Evolutionary Computation, 10:263–282, 2002.

[22]Bin Li, Liping Chen, and Zhengdong Huang. "Product configuration optimization using a multiobjective genetic algorithm". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (30):20–29, 2006.

[23]Tobias Siegfried, Stefan Bleuler, Marco Laumanns, Eckart Zitzler, and Wolfgang Kinzelbach. Multiobjective Groundwater Management Using Evolutionary Algorithms. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 13(2):229–242, 2009.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS LOGÍSTICO EN LA INDUSTRIA DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA EN SERIE: UN ESTUDIO DE CASO EN MÉXICO.

Giulia Arduino^a, David Guillermo Carrillo Murillo^b, Isidro Enrique Zepeda Ortega^c

Universidad Degli Studi Di Genova, Italia^a.
Karlsruhe Institute of Technology, Alemania^b.
Instituto Politécnico Nacional, México^c.

RESUMEN

El suministro de materiales para la construcción de vivienda masiva enfrenta diversas dificultades en los distintos procesos que involucra, lo que tiene efectos significativos en su productividad y en el costo de sus proyectos. En este trabajo se plantea que la integración de las actividades, referentes al suministro de materiales en la industria de la construcción de viviendas, puedan ser organizadas desde la perspectiva de la logística y de la cadena de suministro para incrementar la productividad y reducir los costos inherentes. Con información de una de las empresas más importantes de desarrollo de viviendas en México, se elaboró un estudio de caso que permitió analizar las actividades de suministro de materiales, y evidenció el rezago en la integración y organización de la cadena de suministro en este tipo de industria, además un análisis de costo logístico total mediante Activity Based Cost permitió determinar el impacto de las operaciones logísticas de las empresas en el costo de los materiales así como el factor de costo logístico más importante. La evaluación de indicadores de desempeño de la cadena permitió hacer visible el apalancamiento financiero en inventario y los beneficios que pueden brindar a la administración de la construcción de viviendas en serie.

Palabras clave:

Cadena de suministro, construcción, viviendas, costos ABC, logística

ABSTRAC

Material's supply for massive housing construction is facing anomalies for the various processes involved. Thus, it has significant effects on productivity and project costs for firms. In this paper, it is argued that the integration of activities, concerning the supply of materials for the housing construction industry, can be organized from the perspective of logistics and supply chain to increase productivity and reduce the inherent costs. With information from one of the most important companies for housing development in Mexico, a case study has been structured to allow the analysis of activities for the supply of materials that demonstrated the trade-off between the integration and the organization of the supply chain in this kind of industry. Besides, an analysis of the total logistics cost using the Activity Based Cost allowed to determine the impact of logistics operations within firms inside the cost of materials and the most important logistics cost factor. The evaluation of performance indicators inside the supply chain revealed the financial leverage for the inventory and the benefits of good practices within the administration of massive housing construction.

Keywords:

Supply Chain, housebuilding, Activity Based Cost, logistics cost

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, las empresas de construcción de viviendas han mejorado sus procesos de construcción alrededor del mundo y en particular en México, basados en la búsqueda de obtener los mayores beneficios de la producción masiva de vivienda a través de la práctica de economías de escala.

Estandarización en los procesos constructivos y en los diseños de viviendas llamados "productos de vivienda", simplificación de los materiales empleados y cambios en los procesos administrativos, son sólo ejemplos de cómo la construcción masiva de viviendas tiende a industrializarse estableciendo líneas de producción como la industria de la manufactura. Dichos cambios no son generados sino exigidos por el mercado y la competencia existente.

La logística, constituye un factor decisivo de diferenciación competitiva, sin embargo, a pesar de que la logística ha demostrado ser una herramienta potencial de integración de los procesos de trabajo dentro de cualquier empresa, las empresas de construcción de vivienda en México no la han aplicado. La logística que debería aplicar la empresa de construcción de viviendas, se caracteriza por jugar un papel de integración de todas las actividades dirigidas a suministrar materiales a cada punto de los desarrollos dispersos en el mercado o de demanda¹, es decir, el papel de proveer los productos y servicios que se demandan en el momento en que se requieren, con la calidad exigida y al costo más bajo posible. Dicha función consiste en asegurar el flujo de insumos que garantice un nivel de servicio y de reducción de costos. Para ello, sus actividades de planeación se deben centrar en la coordinación de las actividades siguientes: 1) demanda, 2) compras, 3) aprovisionamiento, 4) almacenaje, 5) transporte interno 6) distribución de los suministros o materiales, así como 7) reciclaje de residuos.

Los objetivos de la planeación de la cadena de suministro para las empresas de construcción de viviendas se enfocan en formar redes estratégicas de recursos que brinden a la empresa:

- Información e insumos rápidamente,
- presencia en mercados nuevos y distantes de sus áreas originales de acción,
- reacción para enfrentar las altas inversiones que demandan los volúmenes de construcción que oscilan entre 1000 y 60,000 viviendas anuales,
- gran variedad de insumos requeridos en cantidades distintas y desde su origen en diversos puntos de distribución a lo largo de un país y
- suministro hacia a los distintos trenes o líneas de producción dispersos.

La falta de insumos en la empresa de construcción de vivienda genera ineficiencia de mano de obra y maquinaria (paros temporales de trabajo), así como retrasos en actividades secuenciales posteriores. Por otro lado, su exceso genera desperdicios o inversiones altas por materiales almacenados, mermas, consume tiempo y recursos humanos que no son controlados.

Costos como los generados por adquisiciones, almacenes centrales y almacenes locales, transportes foráneos y locales, manipulación de materias primas, nóminas para el control y la gestión, entre otros, son concebidos como un costo indirecto sin establecer medidas

1 (Acción, América, Rolando, Vargas, & Morales, 2014; Banco Interamericano de Desarrollo., 2000, 2003, 2014; CEPAL, México, & Desastres., 2011; Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2003; Naciones Unidas, 2008; OCDE, 2008).

(Banco Interamericano de Desarrollo., 2005; Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2000, 2014; ONU/EIRD, 2008; United Nations Publication, 2010, 2014a). (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2010; OCDE, 2010, 2013b; Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2013; United Nations Publication, 2002, 2014b). (OCDE, 2013a, 2013c)

2 Porcentaje relativo del valor de los materiales empleados en una vivienda de interés social respecto al valor de costo total de su construcción, a costo directo. Calculado a partir de presupuestos de obra proporcionados por la empresa, mediante la realización de una explosión de insumos típica.

concretas para minimizarlos y controlarlos.

Dado que los materiales representan aproximadamente el 65% del costo de las viviendas², que se requieren al menos 350 materiales diferentes para su construcción, que estas empresas realizan operaciones en diversos lugares en la república mexicana y que producen miles de viviendas anuales podemos preguntarnos: ¿Cuáles son los problemas que enfrentan actualmente las empresas al realizar sus suministros? ¿Cuáles son los procesos involucrados en el suministro de materiales? ¿Pueden analizarse mediante el concepto de logística y de cadena de suministro? y ¿Cuáles son sus costos?

Esta investigación pretende identificar los problemas que se enfrentan en la cadena logística de los suministros para las empresas de construcción de viviendas, describir una metodología para evaluar los costos logísticos y aplicarla para examinar y analizar las prácticas de gestión actual de suministros de una empresa de construcción de viviendas en México.

MARCO TEÓRICO

Desde principios del siglo pasado, se ha trabajado en la idea de mejorar los procesos empleados en todas las industrias a través de las prácticas de economías de escala, y en la industria de la construcción masiva de viviendas, la mayor influencia de esta preocupación se ha reflejado en el intento por industrializar la construcción utilizando la experiencia y técnicas brindadas por la industria de la manufactura (Gann, 1996; Ball, 2003; Barlow et al., 2003; Naim y Barlow, 2003; Barlow, 2005).

Si bien es cierto que los procesos de manufactura proveen ciertas ventajas en cuanto a organización, es importante reconocer las diferencias sustanciales que existen entre la manufactura y la construcción: el tamaño y la inmovilidad del producto en la construcción implican que la casa tenga que ser construida generalmente en el punto de consumo, a diferencia de otras industrias en las cuales el producto terminado es llevado hacia los mercados. Esta diferencia implica una distribución de la infraestructura, de los recursos materiales y del proceso "per se" de manera distinta a los arreglos funcionales y de producto utilizados en manufactura.

Por otro lado, la necesidad de una larga vida del producto y el alto costo del mismo, crean problemas para intentar introducir nuevos materiales, componentes o técnicas de producción. El costo asociado a la innovación en la industria de la construcción, puede convertir la alternativa en algo prohibitivo, de ahí que algunas empresas prefieran no correr riesgos y optar por los sistemas y procesos tradicionales.

Tres características principales que deben existir para considerar la construcción de vivienda de manera industrializada son: estandarización, prefabricación y sistemas constructivos. Bajo estos conceptos se ha empezado a utilizar el término de "producción de viviendas" para referirse a la construcción secuencial y programada de viviendas estandarizadas, de la misma manera se ha utilizado el término de "producto", para referirse a este tipo de vivienda (Skibniewski y Molinski, 1989; Gann, 1996; Nicol y Hooper, 1999; Barlow et al., 2003). En este sentido industrializador, el diseño de viviendas ha pasado de ser un diseño de hogares, al típico diseño industrial que se lleva a cabo para la producción orientada al consumo masivo (Hooper y Nicol, 2000). Lo anterior implica la simplificación del producto mediante la modulación de componentes, la reducción de partes distintas, el empleo de dichas partes en el mayor número de productos, la repetición masiva del diseño del producto y del proceso de producción.

En México, la estandarización de los procesos de producción de vivienda ha sido solo uno de los pasos en el camino hacia la industrialización de las actividades que ha sido imple-

mentado exitosamente (Ara, 2003; Geo, 2003; Hogar, 2003; Homex, 2004; Javer, 2013; Urbi, 2012; Ruba, 2012; SARE, 2012; Vinte, 2013).

En Japón, prácticas similares en cuanto a desarrollo de producto, diseño del mismo, coordinación de la cadena de suministro, marketing y ventas han sido usadas para producir gran variedad de productos, desde automóviles hasta casas industrializadas. Los principios de la manufactura derivados de la industria automovilística, han sido usados exitosamente para producir casas (Gann, 1996).

Otras herramientas de gestión de manufactura que han sido empeladas en la construcción son:

- técnicas de gestión y herramientas de la filosofía justo a tiempo (JIT) (Naim et al, 1999) y kanban (Sohan et al, 1993 y Gann, 1996);
- modelo de balanceo de líneas usado en producción de bienes como estrategia de industrialización para la construcción de viviendas (Skibniewski y Molinski, 1989);
- gestión de los procesos de construcción como sub-ensambles de un producto mayor llamado vivienda (SARE, 2003) o la incorporación de elementos prefabricados (Geo, 2003; Geo 2014) y
- empleo de un planeador de requerimientos de materiales, (Wong y Norman, 1997; Geo, 2014).

En general, la construcción de vivienda en el ámbito mundial esta constituida por un gran número de pequeñas empresas que construyen pequeños volúmenes de viviendas, mediante el empleo de gran cantidad de mano de obra, bajo los sistemas constructivos tradicionales y en las cuales, los beneficios por economías de escala son marginales. En México más de 2200 empresas producen vivienda.

Sin embargo, la industria de la construcción de vivienda ha evolucionado para posicionar un nicho de mercado en el cuál el número de empresas es reducido y se ha aumentado el volumen de producción de cada una de ellas. En México 10 empresas construyen el 30% del mercado y un pequeño segmento construye más de 10,000 viviendas anuales.

Adicionalmente, el mercado de construcción de viviendas mundial tiende a crecer incluso en países donde la disponibilidad territorial pudiera parecer un límite como Gran Bretaña, pero son los características de mercado las que conservan las necesidades de creación de vivienda a la alza (Ball, 2003; NHBC, 2004). En México, el mercado para esta industria es alto y creciente, en 2004 se estimaba un déficit de vivienda en todo el país igual a 4.3 millones de viviendas (Urbi, 2004), por lo que se requieren construir al menos 650,000 viviendas anuales.

La producción de las empresas más importantes de vivienda en México en los años 2003 y 2012 se muestra en la figura 1, en la cual se observa el crecimiento del sector en dicho periodo.

Estas cifras, son considerablemente importantes en relación al volumen total construido en otros países. En 2012, estas empresas construyeron en México 193,182 viviendas, mientras que en Reino Unido en el mismo periodo se construyeron en total tan solo 117,870 viviendas³. También representa una oportunidad, considerando que empresas japonesas Sekisui y Misawa producen anualmente cerca de 70,000 viviendas (Gann, 1996; Sekisui, 2003).

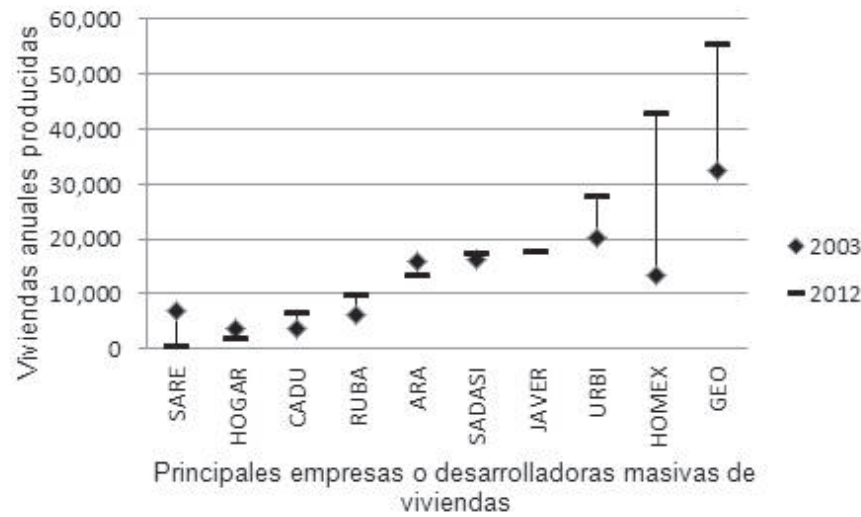


Figura 1. Producción de viviendas de las principales constructoras en México, basado en los informes anuales de cada empresa al 2003 y 2012. (Elaboración propia)

Las métricas de desempeño han sido estudiadas y usadas todas las industrias y especialmente en la manufactura, sin embargo en las cadenas de suministro se han hecho propuestas exhaustivas (Byrme y Markhan, 1991). No obstante, en la industria de la construcción su estudio ha sido reciente (Langford et al., 2000; Wegelius-Lehtonen, 2001; Halman y Voordijk, 2012) y su uso muy escaso.

Uno de los problemas para implementar métricas de desempeño es el hecho de que cada proyecto de construcción es único, no obstante en el caso de la construcción de vivienda se proponen focalizarse más en las similitudes que en las diferencias. Las métricas en la cadena de suministro de la industria de construcción de vivienda deben concentrarse en el hecho de que los procesos de suministro son muy similares, particularmente en los siguientes casos:

- a) viviendas similares en los distintos desarrollos
- b) productos de vivienda con insumos similares.
- c) cadena de suministro gestionada de forma centralizada en forma total o parcial.

La medición del desempeño de la cadena de suministro en las empresas de construcción de vivienda puede servir de parámetro de referencia en caso de que se deseen implementar nuevos procesos de suministro, y como retroalimentación o información sobre las actividades de la empresa en relación con el cumplimiento de las expectativas y los objetivos estratégicos. Las métricas deben intentar responder dos preguntas básicas: ¿Los departamentos y las funciones son adecuadas? ¿Se están haciendo bien las cosas? ¿Cómo puedo saber el impacto de una decisión o un cambio en los procesos?

La integración de los subcontratistas y proveedores para mejorar las cadenas logísticas de la industria de construcción ha sido estudiada como una opción brindando algunos buenos resultados, sin embargo, existen varias razones para no optar por esta conclusión, debido a que no todas las causas de los desperfectos de las cadenas de las empresas de construcción de viviendas son atribuibles a los contratistas, y por otro lado existen algunas desventajas respecto a la inclusión de subcontratos en la construcción los cuales han sido documentados (Formoso e Isatto, 2009) y dan como resultado la pérdida de control

del proceso ya que es entregado a los contratistas.

METODOLOGÍA

El resultado de la revisión de la literatura permitió tanto identificar las brechas de conocimiento relacionadas con la integración de los procesos logísticos dentro de la industria de la construcción, particularmente en la de construcción de viviendas en serie, como identificar los conceptos logísticos que se han aplicado en la industria de la manufactura y que pueden ser aplicados por la industria de la construcción, permitiendo el desarrollo de principios, recomendaciones y pautas, particularmente aquellas referentes a la identificación de costos, para guiar a las empresas de construcción de viviendas en el establecimiento de cadenas eficaces de suministros.

La investigación del estudio de caso, se centró en recopilar la información referente al modo en que la empresa realiza actualmente las prácticas logísticas. Inicialmente se realizaron entrevistas y visitas técnicas para recopilar la información organizacional y definir los flujos de información, económicos y físicos dentro de la cadena de suministro. Después se seleccionaron cinco centros de producción de vivienda en la República Mexicana y se realizó un análisis de Benchmarking interno para identificar las mejores prácticas logísticas para obtener los datos operativos históricos referentes a los flujos de insumos. Se obtuvieron los datos operativos de 15 meses, con ellos se calcularon los indicadores clave de desempeño logístico y el costo total basado en actividades para finalmente plantear pautas de integración los conceptos logísticos en la industria de construcción de viviendas en serie.

El Costeo Basado en Actividades (ABC, por sus siglas en inglés), ofrece una metodología que permite tratar en forma integral los costos de la empresa y llegar a determinar en un modelo consistente el costo de cada producto, el canal de distribución, el tipo de cliente, etc.

A través del ABC como un sistema de análisis de costos integral, se reconoce como generadores de costos, a las actividades que lleva a cabo la empresa constructora de vivienda para suministrar sus insumos desde que el material es comprado hasta su entrega a la línea o tren de producción de vivienda. La definición de elementos de costos (E) para la empresa de construcción de viviendas que se sugiere es la que se presenta en la tabla 1. Una vez establecidas las actividades (a), se utilizan como base de asignación para el análisis de costos, que son precisamente las actividades logísticas, para ello se requiere emplear las medidas de consumo $(faEi=q_{Eiat}/(\sum_a^A q_{(E,ait)}))$ específicas por actividad que se hayan observado o medido a través de indicadores de desempeño.

La idea central del ABC es analizar los costos en función de “qué” los genera, y no “dónde” se generan (centros de costo) de esta forma, se pueden identificar las medidas de consumo de los costos por parte de los productos, y evitar la adopción de criterios arbitrarios que sirven para distribuir a productos el monto de los gastos generales.

Tabla 1. Actividades, Tareas y Elementos de costo de una empresa de construcción de vivienda para rastrear los costos logísticos. (Elaboración propia)

ACTIVIDAD	TAREA	ELEMENTOS DE COSTO
PLANEACION DE REQUERIMIENTOS	Planeación de requerimientos	Gastos telefónicos Nómina de mano de obra administrativa
		Arrendamiento de terreno para oficina del almacén

	Emisión de orden de surtido	Nómina del área de producción
		Gastos telefónicos
COMPRAS	Evaluación de proveedores	Gastos telefónicos
		Costos por ausencia de inventario
	Mercadeo	Nómina de mano de obra administrativa
		Gastos telefónicos
		Costos por ausencia de inventario
	Seguimiento de pedido	Nómina de mano de obra administrativa Gastos telefónicos
		Costos por ausencia de inventario
ACTIVIDAD	TAREA	ELEMENTOS DE COSTO
TRANSPORTACION DESDE ALMACEN	Carga	Renta de maquinaria para la carga
		Nómina de mano de obra administrativa to de terreno para oficina del almacén
		Destajos de personal extraordinario
		Arrendamiento de terreno para patios de maniobras
		Gastos telefónicos
		Nómina de mano de obra auxiliares de almacén
		Arrendamiento de terreno para oficina del almacén
	Transporte y descarga	Renta de vehículo para transporte
		Destajos de personal extraordinario
		Valor de materiales dañados
		Nómina de personal para la conducción del vehículo
		Costos de capital por inventario
		Costos por ausencia de inventario
ALMACENAMIENTO-MANEJO	Descarga de suministros	Renta de maquinaria para la descarga
		Nómina de mano de obra administrativa
		Destajos de personal extraordinario
		Arrendamiento de terreno para patios de maniobras
		Gastos telefónicos
		Nómina de mano de obra auxiliares de almacén
		Arrendamiento de terreno para oficina del almacén
	Acomodo y distribución	Construcción de racks- mantenimiento
		Nómina de mano de obra auxiliares de almacén

		Valor de materiales dañados
		Arrendamiento de terreno para almacén
		Costo de la infraestructura de almacenamiento
	Revisión	Nómina de mano de obra administrativa
INVENTARIOS	Mantenimiento del stock	Nómina de mano de obra auxiliares de almacén Valor de materiales dañados Nómina de mano de obra administrativa
		Costos de capital por inventario
		Costos por ausencia de inventario
		Costos de capital de la infraestructura de almacenamiento
	Sistema de información	Nómina de mano de obra auxiliares de almacén Nómina de mano de obra administrativa
		Arrendamiento de terreno para oficina del almacén
DISTRIBUCION FISICA	Despacho	Nómina de mano de obra administrativa
		Arrendamiento de terreno para oficina del almacén
		Gastos telefónicos
		Nómina de mano de obra auxiliares de almacén
	Carga	Renta de maquinaria para la carga
		Destajos de personal extraordinario
		Renta de vehículo para transporte
ACTIVIDAD	TAREA	ELEMENTOS DE COSTO
		Nómina de mano de obra auxiliares de almacén
		Valor de materiales dañados
	Transporte y descarga	Renta de vehículo para transporte
		Destajos de personal extraordinario
		Valor de materiales dañados

El Costo logístico de la cadena de suministro en la empresa de construcción de vivienda se puede expresar de la siguiente forma:

$$CL_t = \sum_a^z \sum_t^l E_{iat} \times \frac{q_{Eiat}}{\sum_a^A q_{Eait}}$$

Donde:

CL_t es el costo logístico de la cadena de suministro del desarrollo en el periodo de tiempo t
 $a = \{a: a \in a...z\}$ es la actividad generadora de costo

E_{ia} $\forall i \in i...I$ es el costo del elemento de costos i para cada actividad a en el periodo t
 a_t es la cantidad de actividad generadora a producida en el periodo t
 q_E es la cantidad q del elemento de costo E_i empleado en producir las actividades $a = \{a: a \in a...z\}$ en el periodo t

La metodología de análisis de costos ABC se aplicó a una empresa productora de vivienda con amplia experiencia ubicada en el Distrito Federal, y se encuentra dentro de las diez empresas más importantes del sector con un rango de producción de 8,000 a 15,000 viviendas anuales y actualmente cuenta con 19 centros de desarrollo de vivienda en la República Mexicana.

A fin de poder establecer medidas de desempeño para comparar cuantitativamente el desempeño de las actividades logísticas dentro de la cadena de suministro, se recurrieron a las minutas, oficios y relaciones de embarque y entrega, así como a las solicitudes de compra de la empresa.

Debido a que el sistema de costos empleado actualmente por la empresa, combina los costos logísticos con otros costos, fue necesario realizar un rastreo de datos para ubicar el origen de los generadores de costo logísticos. Esto nos llevó a las fuentes de información de arrendamientos (pagos de maquinaria utilizada para traslado y descarga de material, así como para la construcción de accesos y plataformas de tránsito), mano de obra indirecta (listas de del personal ocupado en los almacenes y en las actividades logísticas), mano de obra directa (pagos a destajistas sobre trabajos de construcción o mantenimiento de almacenes, descarga y acomodo de material dentro del almacén), pago de teléfonos y equipos de comunicación, subcontratos para la construcción y mantenimiento de almacenes entre otros. Este proceso es conocido como definición de los elementos de costo, es decir, agrupaciones de los costos en que incurre la empresa clasificados de acuerdo a su naturaleza. Estos costos se generan en el desarrollo de actividades que se realizan con el objetivo último de suministrar y aprovisionar materiales de construcción para la edificación de viviendas.

Posteriormente, se procedió al trazado o asignación de costos. Para ello fue necesario identificar tanto la forma en que se llevan a cabo las actividades como las medidas más adecuadas de consumo para cada elemento de costo. Dado que puede resultar muy complejo evaluar cada elemento de costo a nivel de operación o de tarea, el análisis se centró en las actividades generales. Por ello, se recomienda inicialmente realizar un análisis de costos a nivel de actividad y no a niveles más específicos. Asimismo es recomendable llevar un registro histórico de los costos obtenidos analizando periodos mensuales, y evaluar los costos para toda la duración del proyecto.

En este estudio se ha considerado relevante que los indicadores proporcionen información rápida para la toma de decisiones, ya que los proyectos de vivienda tienen una duración breve, por tanto, se proponen establecer indicadores que permitan tomar decisiones hacia la mejora de las actividades de suministro que impacten directamente con las afectaciones y problemas de suministro que tienen las empresas de construcción de vivienda. Por ello se propone que estén basadas en medidas para procesos logísticos (Byrme y Markhan, 1991) y que cubran dos grupos: medidas de calidad y medidas de productividad.

Para las medidas de calidad, las empresas de construcción de vivienda deben considerar como sus clientes a los ejecutores y responsables de un tren de producción, y deberán de brindarles el servicio desde la perspectiva de este último, al menos proponemos cuatro consideraciones básicas: ordenes completas, a tiempo, libre de daños y con la documentación y comunicación apropiada. Se recomienda tener un número limitado de métricas o

indicadores, se puede empezar con las siguientes:

Tabla 2. Métricas de calidad y productividad para las cadenas de suministro de las empresas de construcción de vivienda. (Elaboración propia)

ACTIVIDAD	CALIDAD	PRODUCTIVIDAD
PLANEACION DE REQUERIMIENTOS	Porcentaje de suministros planeados e improvisados	Valor de los materiales planeados / costos del departamento
	Numero de materiales sin especificación	
COMPRAS	Porcentaje de proveedores evaluados y certificados	Número de requisiciones procesadas por hora del equipo
	Porcentaje de ordenes entregadas a tiempo	Número de SKU controlados/horas laborales
	Porcentaje de ordenes entregadas con las características de cantidad y producto solicitadas	Ahorros logrados / recursos empleados
	Tiempo de “feedback” sobre compras canceladas.	
TRANSPORTACION HACIA ALMACEN	Porcentaje de envíos libre de daños	Costos por tonelada transportada
	Tiempo de transito	Distancia recorrida respecto a los tiempos de ocio
	Tiempo de respuesta ante reclamaciones	Ton/km transportada / hora laboral
ALMACENAMIENTO-MANEJO	Tiempo de descarga / carga	Número de despachos realizados por periodo de tiempo
	Valor de la mercancía consolidada	Valor de materiales movidos / horas laborales
	Porcentaje de mermas por línea	Costo de almacenamiento / numero de operaciones
INVENTARIOS	Valor de los ajustes de almacén / mercancía desplazada	Rotación de inventario global
	Ruptura de stock	Rotación de inventario por periodo
	Numero de SKU sin movimiento	Valor de inventario/costo de mantenimiento del inventario
DISTRIBUCION FINAL	Tiempo de atención a las solicitudes de despacho	Costo de despacho de material/valor del material
	Porcentaje de mermas	Numero de despachos por vehículo

Resulta relevante considerar que estas medidas deben ser evaluadas en periodos mensuales en las empresas de construcción de vivienda debido a la velocidad con que los desarrollos deben ser construidos, ya que en caso contrario, las decisiones que pueden tomarse perderían oportunidad y difícilmente tendrían efectos en los resultados globales de los desarrollos.

RESULTADOS

Al efectuar el análisis de las operaciones de suministros de la empresa, se pudo establecer un modelo conceptual de la cadena de suministro de la empresa de construcción de viviendas, la cual administra contratistas y gestiona sus insumos mediante almacenes locales y un almacén central. El modelo conceptual de la cadena incluye la visión de complejidad de O'Brien (Azambuja y O'Brien, 2009) y se observa en la figura 1.

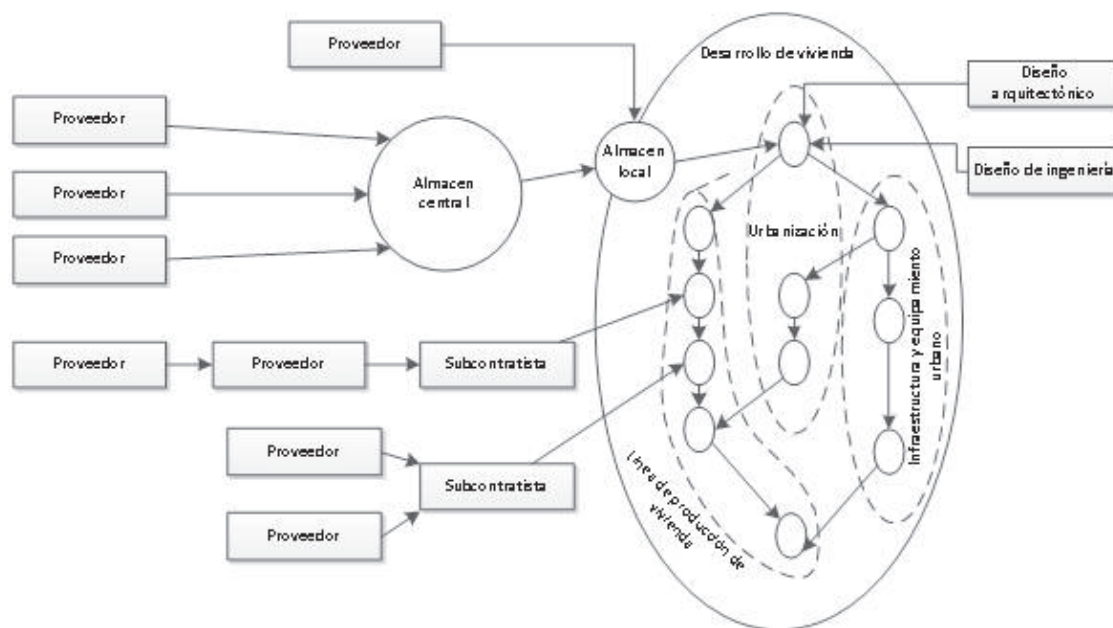


Figura 1. Modelo conceptual de la cadena de suministro de la empresa de construcción de vivienda en México

Las empresas constructoras de viviendas en serie por lo general no tienen claridad sobre los costos de su cadena de suministro debido a que el sistema de costos empleado no es un sistema organizado para evidenciar los costos logísticos. Por el contrario, estos últimos se encuentran en un factor de costo indirecto que incluye otros costos. Tras analizar los costos de cinco desarrollos en la República Mexicana, se observaron diversas anomalías:

- duplicidad en el cálculo de costos por falta de confianza entre los distintos departamentos funcionales por la ausencia de claridad en la distribución del costo indirecto,
- márgenes de rentabilidad difíciles de explicar para ciertos periodos o para viviendas difíciles de fabricar,
- viviendas con grandes utilidades para la empresa que requerían un alto grado de re-procesos y
- costos logísticos como compras, transportación, almacenamiento, distribución y gestión, son considerados en el sistema de la constructora como gasto indirecto combinados con gastos administrativos, gastos de supervisión, gastos de mantenimiento de las oficinas y

de las propias viviendas, viáticos, sindicatos, personal de nómina técnica y administrativa, papelería, sanitarios portátiles, vigilancia, teléfonos, seguros y otros costos.

Dicha situación nos permite afirmar que el sistema de costos empleado por las constructoras de vivienda no es el más idóneo para transparentar la cadena de suministro de los materiales de construcción que se emplean.

El resultado de los costos obtenidos, mediante el ABC, de las actividades de almacenamiento, inventarios y distribución, así como de los costos logísticos totales históricos para los cinco desarrollos de la empresa en estudio se presenta en la tabla 3.

Al realizar el análisis de la información disponible en la empresa, no fue posible localizar información documentada sobre los costos de los procesos de planeación de requerimientos, compras y transporte desde almacén central a almacén local que pudieran ser útiles, lo que nos permite afirmar que los costos y el desempeño de estas actividades no parece ser relevantes para la empresa. No obstante lo anterior, fue posible determinar los costos logísticos totales a partir de las actividades de almacenamiento, inventarios y distribución final, por lo que es importante tener presente que los costos logísticos totales de la empresa son superiores a los reportados a continuación.

Tabla 3. Costos de las actividades logísticas obtenidos mediante ABC para cinco desarrollos de la empresa.

DESARROLLO/ACTIVIDAD	TOTAL
ESTADO DE MEXICO 1	
ALMACENAMIENTO-MANEJO	4.4%
INVENTARIOS	4.6%
DISTRIBUCION	2.2%
TOTAL	11.2%
ESTADO DE MEXICO 2	
ALMACENAMIENTO-MANEJO	3.5%
INVENTARIOS	7.1%
DISTRIBUCION	2.3%
TOTAL	12.9%
MICHOACAN	
ALMACENAMIENTO-MANEJO	11.9%
INVENTARIOS	18.0%
DISTRIBUCION	4.2%
TOTAL	34.1%
JALISCO 1	
ALMACENAMIENTO-MANEJO	2.5%
INVENTARIOS	4.8%
DISTRIBUCION	1.8%
TOTAL	9.1%
JALISCO 2	
ALMACENAMIENTO-MANEJO	17.2%
INVENTARIOS	18.7%
DISTRIBUCION	4.7%
TOTAL	40.5%

Dependiendo del desarrollo de vivienda observado, los costos de almacenamiento calculados varían desde el 2.5% hasta el 17.2%, los costos de inventario varían de 4.6% al 18.7%,

los costos de distribución desde el almacén local hacia las líneas de producción varían desde 1.8% a 4.7%, respecto del valor de los materiales.

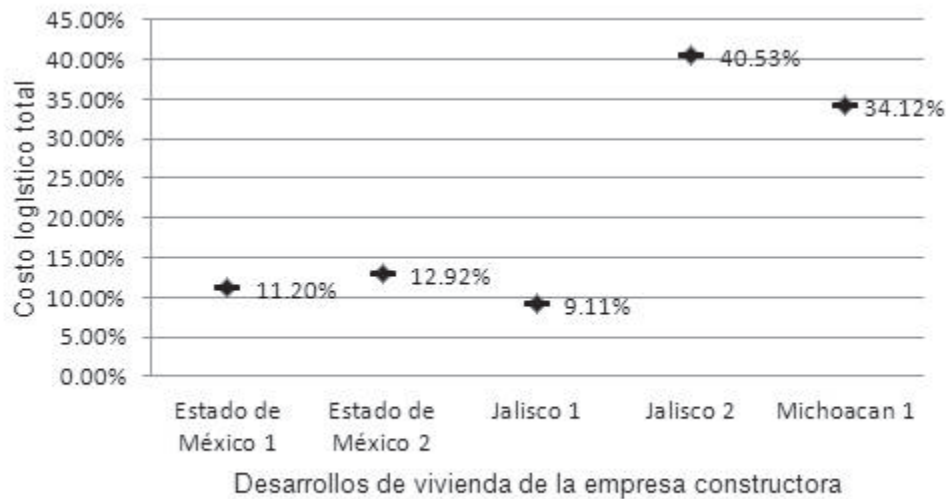


Figura 2. Costos logísticos totales obtenidos por el ABC para cinco desarrollos de la empresa, calculados como un porcentaje del valor total de los materiales. (Elab. Propia)

A partir de los costos logísticos por actividad es posible calcular los costos logísticos totales del desarrollo de vivienda, los cuales se muestran en la figura 2. Obsérvese que los costos logísticos totales para el desarrollo Jalisco 2 representan un sobre costo superior al 40% del valor del material, mientras que el costo más bajo fue de 9.1% para el desarrollo Jalisco 1.

De manera general, el costo logístico total es un parámetro inmediato para observar que en los desarrollos Michoacán 1 y Jalisco 2 las operaciones logísticas son costosas o se están realizando de manera inadecuada. Además, al calcular el costo logístico total y el porcentaje de costo logístico respecto al costo de los materiales, se cuenta con un parámetro para decidir si conviene o no realizar un outsourcing de las actividades logísticas de suministro de materiales o para reestructurar los procesos actuales. Es decir, si existe un proveedor capaz de absorber todas las operaciones logísticas en el desarrollo y ofrecer el producto a un precio inferior a este costo, es conveniente realizar el outsourcing debido a las ventajas económicas, de riesgo y de certidumbre en el suministro de los materiales. El resultado del análisis de la composición de los costos logísticos para los cinco desarrollos a lo largo del periodo de duración del estudio, se muestra en la figura 3. Los costos generados por el almacenamiento representan el mayor porcentaje de costo logístico para las empresas de construcción de vivienda en los primeros meses de obra, mientras que a medida que transcurre el tiempo, el costo de los inventarios adquiere mayor importancia. Los administradores de la obra construyen los almacenes con la concepción de ser una obra provisional o temporal. Dado que las operaciones logísticas se comportan como un sistema, el posible ahorro que genera la obra provisional, se ve contrarrestado con el costo de las operaciones deficientes del almacén, los daños y las mermas.

En algunos casos, los costos logísticos sobrepasan el 100% del valor de los materiales, esto se puede explicar por un manejo inadecuado del almacén, inversiones o gastos injustificados dentro del proceso de suministro o por daños derivados de fenómenos meteorológicos. Por lo que se evidencia la falta de capacidad de la administración de la obra de observarlos y actuar para reducirlos.

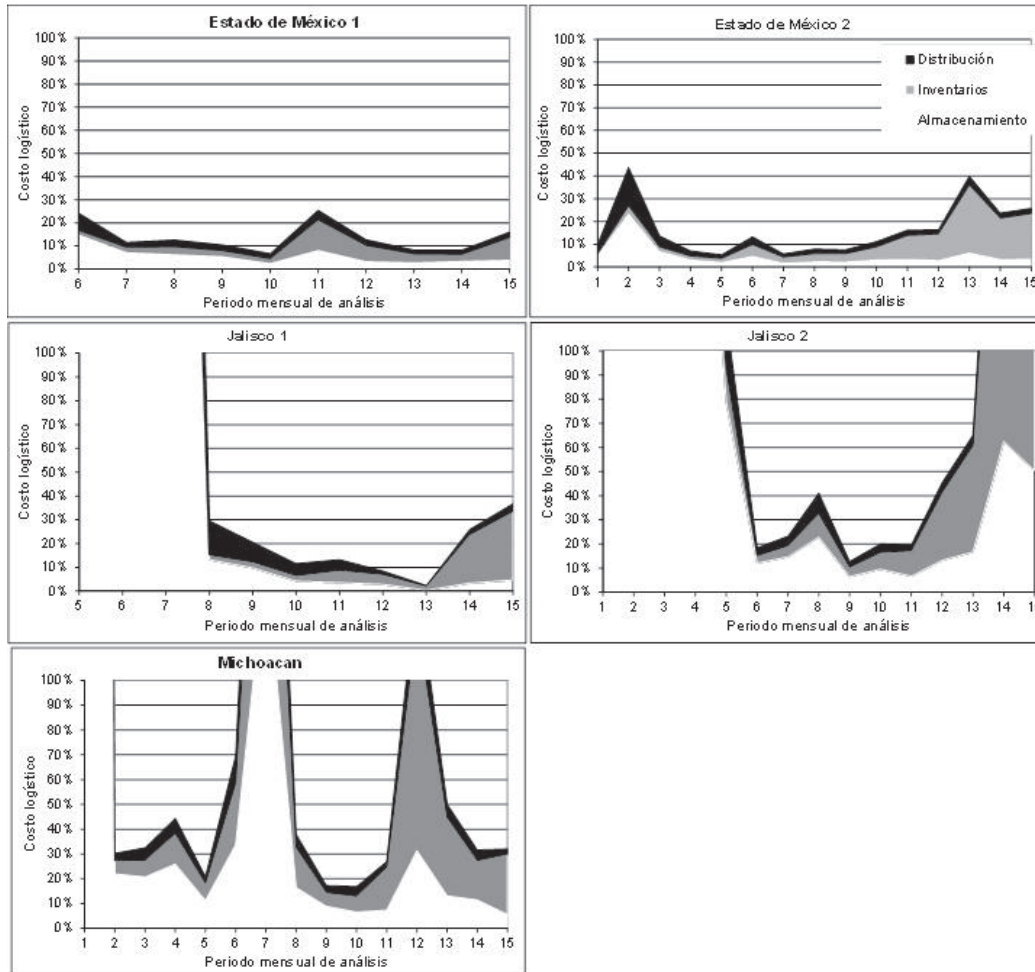


Figura 3. Composición de los costos logísticos de la empresa a lo largo de la duración del estudio, según las actividades de almacenamiento, inventarios y distribución para cinco desarrollos de la empresa. (Elab. Propia)

PROCESOS

Por otra parte, el Benchmarking interno es una herramienta útil de gestión para las empresas de construcción de vivienda, ya que permitió observar las actividades de la empresa relacionadas con el suministro de materiales, su nivel de integración, y la responsabilidad dentro de la estructura organizacional, así como determinar las mejores prácticas al comparar los distintos desarrollos de vivienda.

En los procesos de planeación de los requerimientos de materiales y compras las empresas constructoras de vivienda en serie pierden oportunidades, poder de mercado y beneficios derivados de la práctica de economías de escala, debido a que las decisiones de compra se basan únicamente en el costo unitario sin analizar el costo logístico total, la complejidad de la cadena de suministro y sin establecer criterios serios de evaluación de proveedores. El empleo de un planeador de requerimientos de materiales o un planeador de requerimientos de la empresa (MRP o ERP por sus siglas en inglés) son factibles dada la complejidad de los suministros y la planeación que debe hacerse en cada uno de los desarrollos dispersos en la República Mexicana.

Al observar un total de 54 almacenes resulta claro que en la industria de construcción de vivienda los almacenes son considerados “obras provisionales”, lo que hace que la admi-

nistración de obra no proporcione la infraestructura necesaria para realizar las operaciones de almacenamiento en forma adecuada. La baja calidad de los procesos de almacenado se suman a la pobre infraestructura facilitando el daño y la merma de los materiales durante la descarga, la estiba y el manejo en el almacén y los trenes de producción. Los procesos clave de los almacenes centrales, como funciones de consolidación, desconsolidación, cross-dock, disponibilidad de surtido, mezcla de materiales, etc., no se conocen y no son empleados para incrementar la eficiencia operativa del almacén y agregar valor a los procesos de compra, por lo que solo son estructuras que incrementan el costo logístico.

El manejo de los inventarios de materiales es desconocido o poco aplicado y no existen medidas para revisar el nivel de apalancamiento de inversión en inventarios, las rotaciones son mínimas o nulas por periodos prolongados. El benchmarking también permitió observar la ausencia de medidas de desempeño a lo largo de las actividades logísticas que realiza la empresa.

Por lo anterior, se calcularon los indicadores operativos y las métricas de desempeño para los distintos periodos y desarrollos, las cuales se muestran en la tabla 4.

A pesar del tamaño de la empresa, se observó la carencia de información referente a los procesos de planeación de requerimientos, compras, y transportación que pudiera ser empleada para evaluar los indicadores operativos y de calidad de dichos procesos. No obstante, fue posible calcular el tiempo de entrega del material considerando un tiempo de 7 días como un nivel de servicio oportuno y se construyó la gráfica mostrada en la figura 4.

Tabla 4. Indicadores de desempeño de la cadena de suministro de la empresa de vivienda calculados para el periodo de estudio.

	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5
MEDIDAS DE CALIDAD					
COMPRAS	Porcentaje de ordenes concretadas sin retraso				
ESTADO DE MEXICO 1					
ESTADO DE MEXICO 2	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
MICHUACAN	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
JALISCO 1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
JALISCO 2	0.0%	100.0%	50.0%	0.0%	1.1%
MEDIDAS DE PRODUC- TIVIDAD					
ALMACENAMIENTO	Valor de materiales movidos / horas laborales				
ESTADO DE MEXICO 1					
ESTADO DE MEXICO 2	\$763	\$180	\$645	\$1,447	\$2,083
MICHUACAN	\$4	\$420	\$657	\$528	\$1,224
JALISCO 1		\$10			\$10
JALISCO 2	\$20	\$19	\$59	\$62	\$146
INVENTARIO	Valor de material movido (semanal) / Valor de los materiales en inventario				
ESTADO DE MEXICO 1					
ESTADO DE MEXICO 2	34.6%	10.3%	16.5%	17.4%	26.4%
MICHUACAN	0.2%	3.7%	4.3%	3.0%	8.9%
JALISCO 1					18.7%
JALISCO 2	0.8%	0.8%	1.8%	1.5%	3.0%
	Valor de material movido (mensual) / Valor de los materiales en inventario				

ESTADO DE MEXICO 1					
ESTADO DE MEXICO 2	138.4%	41.1%	66.1%	86.8%	105.5%
MICHOACAN	0.3%	14.8%	17.3%	15.2%	35.7%
JALISCO 1					74.7%
JALISCO 2	2.5%	2.3%	7.2%	7.6%	12.0%
DISTRIBUCION FINAL	Valor agregado de la distribución al tren de producción				
ESTADO DE MEXICO 1					
ESTADO DE MEXICO 2	25	6	21	47	68
MICHOACAN	0.3	35	20	16	38
JALISCO 1					1
JALISCO 2	1	1	3	3	5

	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12	MES 13	MES 14	MES 15
MEDIDAS DE CALIDAD										
COMPRAS	Porcentaje de ordenes concretadas sin retraso									
ESTADO DE MEXICO 1	100.0%	34.0%	39.3%	47.2%	37.8%	26.0%	21.0%	37.6%	16.8%	76.0%
ESTADO DE MEXICO 2	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	74.7%	97.4%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
MICHOACAN	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	56.3%	36.7%	97.4%	41.8%	20.2%	85.7%
JALISCO 1	0.0%	0.0%	0.0%	21.4%	3.3%	17.2%	26.1%	0.0%	20.4%	14.3%
JALISCO 2	7.7%	14.6%	24.2%	0.0%	22.7%	25.0%	18.2%	0.0%	12.5%	0.0%
MEDIDAS DE PRODUCTIVIDAD										
ALMACENAMIENTO	Valor de materiales movidos / horas laborales									
ESTADO DE MEXICO 1	\$510	\$1,002	\$1,132	\$1,842	\$3,071	\$1,439	\$3,078	\$3,161	\$4,688	\$1,549
ESTADO DE MEXICO 2	\$904	\$2,263	\$1,351	\$1,596	\$1,159	\$1,198	\$1,416	\$588	\$1,061	\$1,038
MICHOACAN	\$410	\$95	\$600	\$1,337	\$1,405	\$1,708	\$351	\$747	\$1,650	\$1,202
JALISCO 1	\$0	\$14	\$518	\$702	\$1,235	\$1,195	\$1,664	\$1,246	\$1,643	\$980
JALISCO 2	\$959	\$564	\$200	\$815	\$560	\$815	\$501	\$566	\$151	\$188
INVENTARIO	Valor de material movido (semanal) / Valor de los materiales en inventario									
ESTADO DE MEXICO 1	16.5%	9.1%	10.6%	18.5%	24.3%	8.6%	15.3%	23.5%	45.5%	26.3%
ESTADO DE MEXICO 2	10.7%	24.6%	23.1%	20.9%	18.6%	20.5%	17.1%	16.6%	16.6%	15.6%
MICHOACAN	3.5%	0.7%	4.9%	11.3%	10.5%	14.7%	2.7%	7.3%	15.4%	12.8%
JALISCO 1	0.0%	0.8%	11.4%	10.1%	12.7%	13.1%	16.0%	26.7%	13.8%	6.1%
JALISCO 2	13.6%	7.8%	4.7%	16.3%	8.1%	10.9%	4.0%	3.7%	0.9%	2.8%
	Valor de material movido (mensual) / Valor de los materiales en inventario									
ESTADO DE MEXICO 1	32.9%	45.7%	42.6%	73.8%	121.5%	43.1%	92.1%	93.9%	182.1%	52.6%

ESTADO DE MEXICO 2	42.7%	123.2%	92.5%	104.6%	74.3%	81.8%	102.7%	49.9%	66.5%	62.6%
MICHOACAN	14.0%	3.3%	19.4%	45.1%	52.4%	58.9%	13.7%	29.3%	61.8%	38.5%
JALISCO 1	0.0%	3.9%	34.2%	40.3%	63.5%	52.6%	96.2%	106.8%	41.3%	30.4%
JALISCO 2	54.4%	39.1%	18.6%	65.3%	40.7%	43.7%	19.8%	14.7%	3.7%	8.3%
DISTRIBUCION FINAL	Valor agregado de la distribución al tren de producción									
ESTADO DE MEXICO 1	14	51	36	43	49	25	44	66	59	46
ESTADO DE MEXICO 2	30	75	53	61	44	45	61	26	47	46
MICHOACAN	9	2	19	37	26	42	7	19	24	51
JALISCO 1	0	1	7	12	20	23	72	440	46	32
JALISCO 2	31	26	12	42	29	42	25	23	6	8

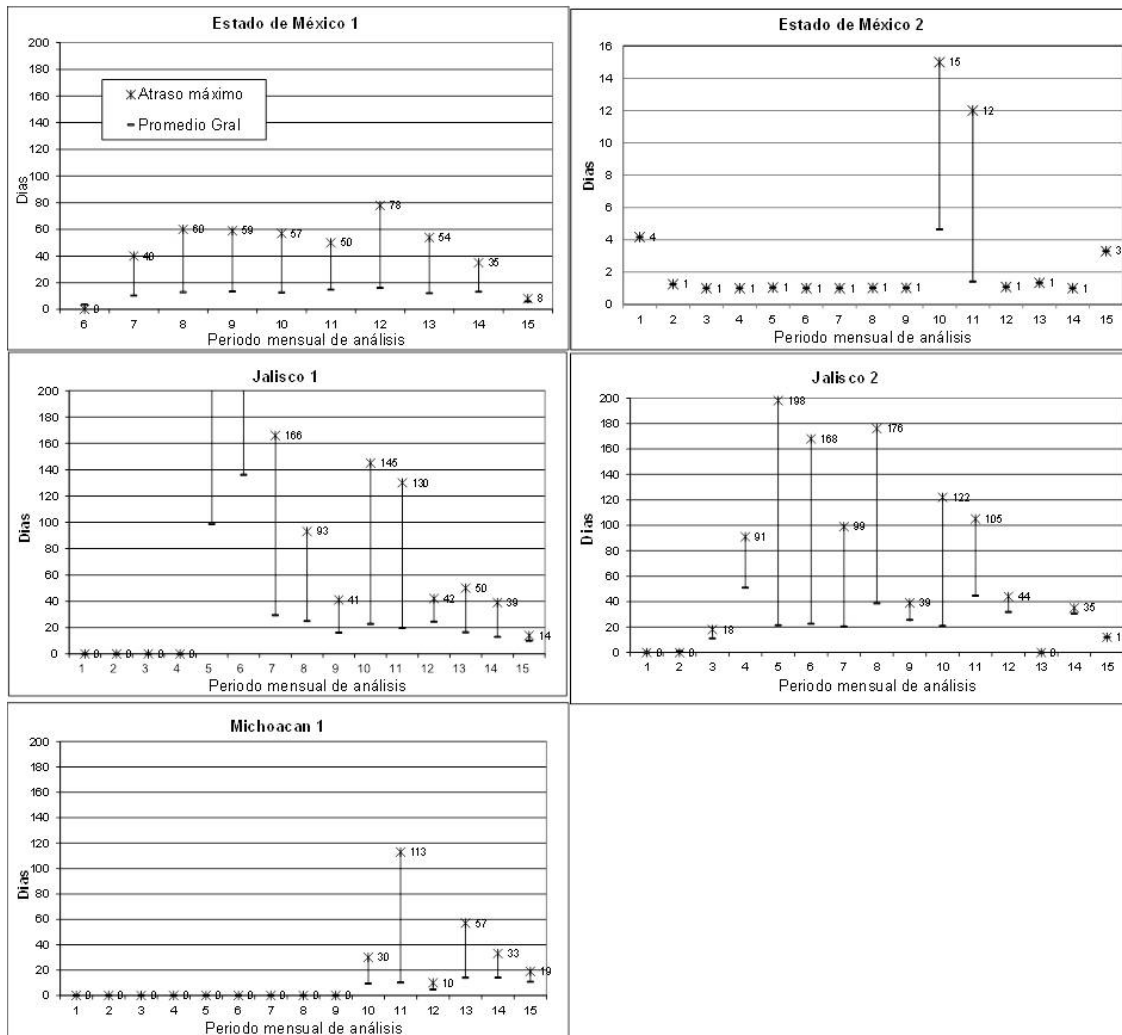


Figura 4. Tiempos de entrega de los materiales (días), desde que es realizada la requisición hasta que es completada (Elab. Propia).

En la figura 4, se puede observar que el área de compras solo abasteció de manera oportuna al desarrollo del Estado de México 2, mientras que los otros desarrollos presentan un

nivel de abastecimiento con retrasos excesivos, en el caso de Jalisco 2, el tiempo promedio de los suministros atrasados es igual al tiempo promedio de los suministros generales, lo que implica que prácticamente todos los suministros fueron atrasados con entregas que superan en promedio los 100 días.

Otros indicadores que se evaluaron corresponden a las actividades de almacenamiento, manejo de inventarios y distribución física hacia los trenes de producción. Se observaron rupturas de inventarios e inventarios que rebasan la capacidad de almacenamiento.

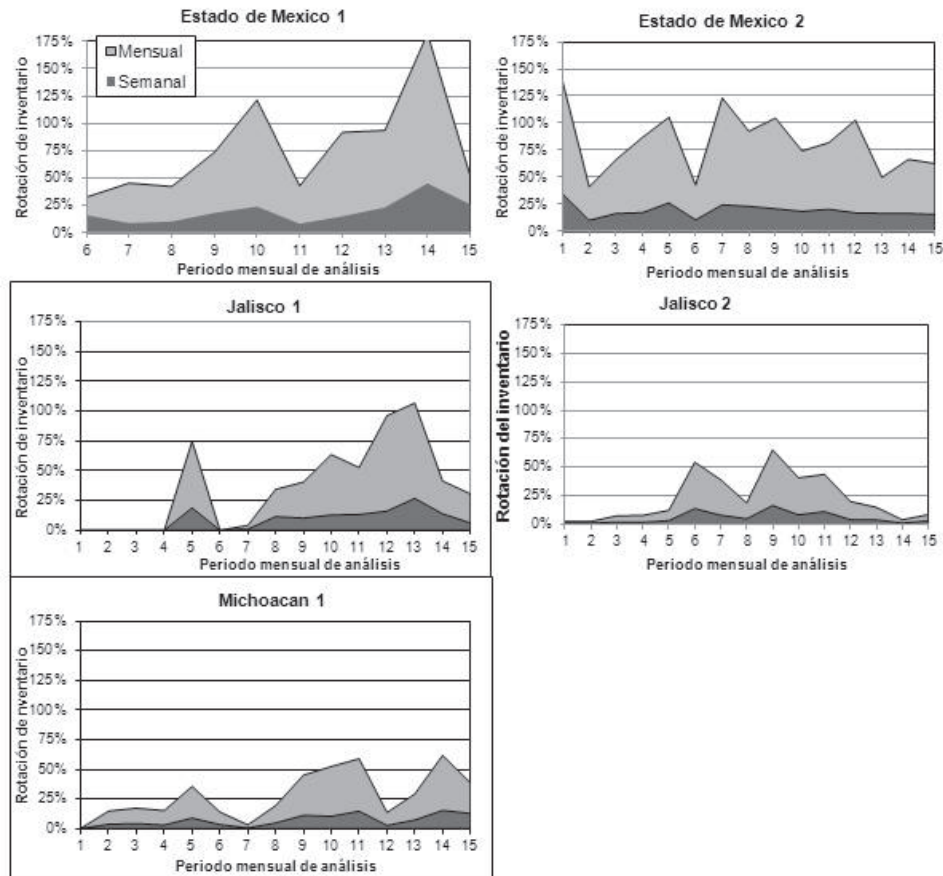


Figura 5. Porcentaje de utilización del inventario total disponible

históricamente durante 15 meses, para los cinco desarrollos estudiados. (Elab. Propia)

Utilizando el indicador de rotación de inventario, se construyeron la gráficas de la figura 5, para el desarrollo Jalisco 2, solo se emplea el 5.4% del material del almacén en promedio semanal y al final del periodo se había empleado únicamente el 22.7% del inventario del almacén. Aun al final del mes, no se ha dado salida al 100% de los materiales del almacén al menos una vez, por ello se deduce el nivel de inventarios tan alto que mantienen en general todos los almacenes.

Los indicadores de desempeño relativos a la rotación de inventarios evidencian el lento movimiento de algunos materiales que va en promedio 3 meses y hasta 7 meses. En un nivel de mayor detalle, se constataron daños y merma cercanos al 3% en los materiales aglutinantes como yeso, cemento, mortero, pegazulejo y en los recubrimientos cerámicos, y daños cercanos al 1% para aceros y mallas de refuerzo, lo que nos permite afirmar que estos materiales presentan las mayores carencias en su transporte, descarga, almacenaje y manejo, lo cual es consistente con otras investigaciones (Wegelius-Lehtonen, 2001)

Debido a que en los desarrollos estudiados se producen viviendas para el mismo segmento de mercado, es posible considerar como indicador de productividad del almacén a la productividad de la mano de obra, por lo que se calculó históricamente entre los desarrollos mencionados, los resultados se muestran en la gráfica de la figura 6.

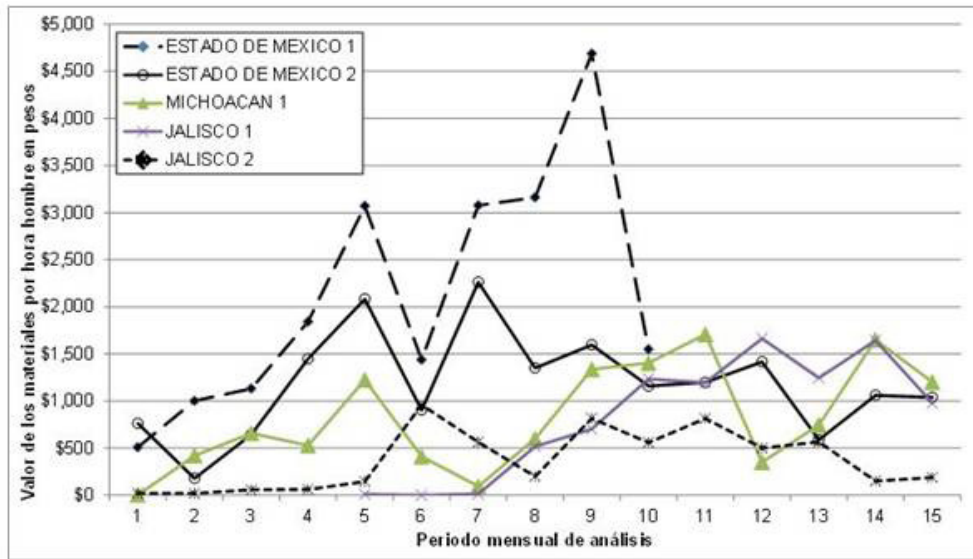


Figura 6. Indicador de productividad laboral en almacenes de los cinco desarrollos a lo largo del periodo de estudio. (Elaboración Propia)

En el desarrollo Jalisco 2, históricamente por cada hora-hombre se mueve material con valor inferior a \$1000 pesos, mientras que en el desarrollo Estado de México 1, se llegan a mover hasta \$4500 pesos de material por hora- hombre trabajada en el almacén. Este indicador permite reconocer que las plantillas de trabajo del almacén de los desarrollos Jalisco 1, Jalisco 2, y Michoacán presentan una baja productividad al compararlo con los resultados obtenidos en los almacenes de los otros desarrollos. Sin embargo, es importante comparar desarrollos con características de vivienda similares para que las afirmaciones anteriores sean validas.

CONCLUSIONES

El análisis sobre las prácticas de las empresa de desarrollo de viviendas en serie en sus distintos desarrollos permitió identificar los problemas que este tipo de empresas enfrentan, entre los que destacan: (i) inversiones no cuantificadas en infraestructura, (ii) costos no observados, (iii) gran capital apalancado en inventarios, (iv) necesidad de alta durabilidad de los productos, (v) movimiento de una gran variedad de insumos, (vi) complejidad de gestión, derivada de un área de operaciones muy extensa que cubre toda la República mexicana, (vii) falta de visión integral en la obra, (viii) compras basadas únicamente en costos, (ix) complejidad para planear sus requerimientos, (x) desperdicios y mermas excesivas, entre otros.

Se pudieron generar evidencias de que las empresas de construcción de viviendas en serie pueden gestionar integralmente sus suministros de materiales aplicando el concepto de logística. La recomendación para dichas empresas se basa en la correcta gestión de los procesos de planeación de la demanda, compras, almacenamiento, manejo, control de inventarios, transporte y distribución de los materiales. Asimismo, la empresa constructora de vivienda debe establecer tanto un sistema de métricas de desempeño como un sistema de costos que separe el costo de suministro de materiales de otros componentes, para lo cual el Costeo Basado en Actividades (ABC) resulta ser una herramienta adecuada, pues permitió observar que la administración de la cadena de suministro ha impactado entre el 9% y el 40% de los costos de los materiales.

Los beneficios de estas acciones son: (i) evitar las rupturas de stock reduciendo los incrementos de costos indirectos, (ii) clarificar los costos de los materiales y su manejo, (iii) reducir las pérdidas de materiales, (iv) evaluar correctamente los resultados del personal y de los procesos, (v) reducir la incertidumbre sobre los procesos constructivos, (vi) establecer políticas de control de gastos, entre otros.

Uno de los problemas de las empresas de construcción de vivienda respecto a sus flujos de materiales es la temporalidad de sus instalaciones como lo son los almacenes. En consecuencia, las empresas deciden muchas veces no invertir en construir una infraestructura adecuada creyendo que así disminuyen el costos. El sistema de costos ABC permitió mostrar que infraestructuras temporales (muy baratas) pueden llevar a costos logísticos altos.

Por lo anterior, es recomendable que las empresas de vivienda empleen el Costeo basado en actividades para transparentar los costos de su cadena de suministro con el fin de visualizar las áreas de oportunidad.

Las métricas de desempeño, tanto de calidad como de productividad, permiten a la empresa de construcción de vivienda tener datos para la toma de decisiones referentes al empleo de sus recursos como son equipos, personal, infraestructura y flujos de capital e información.

Dado que el sitio de producción de viviendas no es una fábrica fija, sino que va cambiando de posición, la planeación deficiente de otras actividades anteriores o posteriores a la producción de las viviendas, afectan de manera sistémica al proceso.

Como los costos de producción generalmente han sido optimizados por las empresas de vivienda, los costos logísticos pueden mejorarse y obtener mayores utilidades, es decir, los costos logísticos pueden convertirse en la frontera de las utilidades de las empresas de construcción masiva de viviendas.

Finalmente, las métricas de calidad a lo largo de la cadena de suministro, permite establecer estándares de operación para alimentar de información las áreas relativas a ingeniería y proyectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azambuja, M. O; O'Brien (2009). Construction Supply Chain Modelling: Issues and Perspectives. En J. London, W. O'Brien, C. Formoso, & R. Vrijhoef, Construction Supply Chain Management (págs. 1-21). USA: Taylor and Francis Group.
- Ball, Michael (2003). Markets and the Structure of the Housebuilding Industry: An International Perspective. Urban Studies, Vol. 40, No. 5-6, págs. 897-916, 2003.
- Barlow; Childerhouse; Gann; Hong-Minh; Naim y Ozaki, (2003). Choice and delivery in housebuilding: lessons from Japan for UK housebuilders. Building Research & Information, vol. 31 No 2, págs. 134-145.
- Barlow, R. O. (2005). Building mass customised housing through innovation in the production system: lessons from Japan. Environment and Planning, 37, 9-20.
- Byrme, P. y Markhan, W. (1991). Improving quality and productivity in the logistics process, preparado por A.T. Kearney, Inc. Council of Logistics Management.
- Formoso, C., & Isatto, E. (2009). Production planning and control and the coordination of project supply chains. En J. London, W. O'Brien, C. Formoso, & R. Vrijhoef, Construction Supply Chain Management (págs. 3-1 3-24). USA: CRC Press.
- Gann, David M. (1996) Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan, Construction Management and Economics, vol. 14, págs. 437-450.

- Geo (2003). Casas Geo, Informe Anual 2003.
- Geo (2012). Casas Geo, Informe Anual 2012.
- Geo (2014). Casas Geo, Informe Anual 2014.
- Geo (2003) On track to get our premium back. Presentación en la Conferencia de Construcción y de Cemento de México, Santander Central Hispano, 2004.
- Halman; Voordijk. (2012). Balanced Framework for Measuring Performance of Supply Chains in House Building. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1444-1450.
- Hogar (2003). Consorcio Hogar, S.A. Estado de resultados dictaminados al 31 de Diciembre de 2003.
- Hogar (2012). Consorcio Hogar, S.A. Informe anual 2012.
- Homex (2004). Desarrolladora Homex, S.A. Estado de resultados del segundo trimestre de 2004.
- Homex (2012). Desarrolladora Homex, S.A. Reporte de resultados 2012.
- Hooper, Alan; Nicol, Chris (2000). Design practice and volume production in speculative housebuilding. *Construction Management and Economics*, vol. 18, págs. 265-310.
- Javer (2013). Javer Reports financial results for fourth quarter 2012, 2013
- Langford, D.A; El-tigani, H. y Marosszeky, M. (2000). Does quality assurance deliver higher productivity? *Construction Management and Economics*, vol. 18, págs. 775-782.
- NHBC (2004). National Housebuilding Council Annual Review 2004, Gran Bretaña.
- Naim, M., Naylor, J., & Barlow, J. (1999, July). Developing lean and agile supply chains in the UK housebuilding industry. In *Proceedings of IGLC (Vol. 7, pp. 26-28)*.
- Naim, Mohamed; Barlow, James. (2003). An innovative supply chain for customized housing. *Construction Management and Economics*, vol. 21, págs. 593-602.
- Nicol, Chris; Hooper, Alan, (1999). Contemporary Change and the Housebuilding Industry: Concentration and Standardization in Production, *Housing Studies*, Vol. 14, No. 1, págs. 57- 76,
- Ruba (2012) Inmobiliaria Ruba, S.A. de C.V. Reporte Anual 2012.
- Sare (2003). Holding S.A.B. de C.V. Resultados comparativos de los ejercicios 2003 y 2002.
- Sare (2013) Holding S.A.B. de C.V. Reporte anual 2013.
- Sekisui (2003). Sekisui Chemical Co., LTD. Annual Report 2003.
- Skibniewski, Miroslaw; Molinski, Jerzy (1989). Modelling of building production activities for multifacility projects. *Construction and Economics*, vol. 7, págs. 357-365.
- Sohal, A. S., Lewis, G., & Samson, D. (1993). Integrating CNC technology and the JIT KANBAN system: a case study. *International Journal of Technology Management*, 8(3), 422-431
- Urbi (2012) Urbi, Desarrollos Urbanos, S.A.B. de C.V. Reporte anual 2012.
- Wegelius-Lehtonen, Tutu (2001). Performance measurement in construction logistics. *International journal of production economics*, vol. 69, págs. 107-116.
- Vinte (2013) Reporte de Resultados 2013.
- Wong, Eric; Norman, George. (1997). Economic evaluation of materials planning systems for construction. *Construction management and economics*, vol. 15, págs. 39-47.

CAPÍTULO 6

OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE RAEE USANDO METAHEURÍSTICAS

Julio Mar-Ortiz* & María D. Gracia
Universidad Autónoma de Tamaulipas
*autor de correspondencia: jmar@uat.edu.mx

RESUMEN

Este capítulo trata sobre problemas de toma de decisiones en logística inversa. El principal objetivo de esta investigación consiste en proveer de un mejor entendimiento de la administración de la logística inversa, presentando un análisis holístico de algunos de los avances que conforman el estado del arte en la práctica de la logística inversa para resaltar los campos actuales de estudio y las oportunidades de investigación desde un punto de vista de la ciencia administrativa e investigación de operaciones. El énfasis es sobre el diseño de sistemas de recolección de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Particularmente se identifican tres problemas altamente interrelacionados dentro de la interfaz logística–producción–manufactura: diseño de redes, ruteo de vehículos y sistemas de desensamble.

Palabras clave: logística inversa, revisión de literatura, ingeniería industrial, gestión de cadenas de suministro.

ABSTRACT

This chapter addresses decision making issues of reverse logistics. The main aim of this chapter is to contribute to the growing understanding of reverse logistics management by presenting a holistic, in-depth analysis of some of the advantages that lead the state-of-the-art in reverse logistics form a decision making point of view. Specifically, this chapter describes the use of mathematical programming models and metaheuristic algorithms to optimize Waste of Electrical and Electronic Equipment (WEEE) collection systems. This chapter provides an overview of the WEEE process, and identifies the major decision areas that impact the performance of a collection system. Three highly interrelated problems within the interface logistics-production-manufacturing are identified: network design, vehicle routing and disassembly systems.

Keywords: reverse logistics, literature review, supply chain management, industrial engineering.

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace más de veinte años, diversos autores han sentado las bases de lo que hoy se conoce como logística inversa (reverse logistics). En un principio la logística inversa fue considerada una extensión de la logística (forward logistics) pero en sentido opuesto; sin embargo, su concepto como campo de estudio requirió de un proceso continuo de aportación de nuevas ideas y conceptos conforme ésta se fue consolidando. En la actualidad, la logística inversa se considera parte de la Administración de Cadenas de Suministro

(SCM por sus siglas en inglés: Supply Chain Management), quien destaca la importancia de coordinar e integrar los principales procesos de negocio en las organizaciones que la conforman, evitando así la optimización local y enfatizando la integración. En este contexto la logística inversa sostiene que, paralelamente a la distribución de los productos, debe existir un flujo inverso perfectamente administrado que los retirará al momento de volverse obsoletos, encontrarse dañados o cualquier otra razón, con el propósito de re-disponerlos en un lugar donde un mayor valor pudiera ser obtenido de ellos.

En los últimos años, con el desarrollo de nuevas legislaciones y el incremento de la conciencia ambiental por parte de productores, consumidores y organizaciones civiles; las empresas, bajo una visión de responsabilidad compartida, enfrentan el reto de conjuntar las actividades de adquisición de materiales, manufactura y entrega de productos finales a los consumidores, con las actividades de recolección y separación de productos y empaques cuyo ciclo de vida ha concluido, para que sean dirigidos a su destino final, formando Redes de Recuperación (recovery networks) que facilitan la continua reincorporación de los materiales, productos y empaques una y otra vez en el proceso productivo. Bajo una tipificación general, las redes de recuperación pueden ser de ciclo abierto (open loop supply chains) o de ciclo cerrado (closed loop supply chains). Si ambos mercados coinciden, se observa un ciclo cerrado en la red de distribución-recolección; en contraste, si ambos mercados son diferentes, se forma una red de ciclo abierto (Fleischmann et al., 2001). Típicamente, una red de recuperación de materiales es de ciclo abierto, mientras que la recuperación de partes o productos es de ciclo cerrado (Beamon & Fernandes, 2004).

El principal objetivo de esta investigación consiste en proveer de un mejor entendimiento de la administración de la logística inversa, presentando un análisis holístico de algunos de los avances que conforman el estado del arte en la práctica de la logística inversa para resaltar los campos actuales de estudio y las oportunidades de investigación desde un punto de vista de la ciencia administrativa e investigación de operaciones. El énfasis es sobre el diseño de sistemas de recolección de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE).

Para cumplir con el objetivo expuesto en este capítulo, el resto de este documento se organiza de la siguiente manera: la Sección 2 analiza la evolución del concepto de logística inversa resaltando las principales contribuciones desde una perspectiva histórica. La Sección 3 ofrece una descripción general del proceso de recolección de RAEE, e identifica las principales áreas de decisión que impactan el rendimiento de los sistemas de recolección. La Sección 4 describe el uso de modelos de programación matemática y algoritmos metaheurísticos para optimizar los sistemas de recolección de RAEE. Finalmente, la Sección 5 presenta las conclusiones del capítulo.

II. PERSPECTIVA HISTÓRICA DE LA LOGÍSTICA INVERSA

A principios de los noventas, la primera definición formal de logística inversa fue propuesta por el Council of Logistics Management (Stock, 1992), —posteriormente llamado Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP, <http://cscmp.org/>)— destacando el rol de la logística en actividades relacionadas al reciclaje, disposición de residuos, y administración de residuos peligrosos. En el mismo año, Pohlen & Farris (1992) guiados por una perspectiva de principios de mercadotecnia la definieron como "el movimiento de bienes desde el consumidor hacia el productor en un canal de distribución". Para mediados de los noventas Kroon & Vrijens (1995) retomaron nuevamente una orientación puramente logística, pero en sentido opuesto; definiéndola como "el conjunto de las habilidades logísticas administrativas relacionadas con la reducción, administración, distribución inversa

y disposición de desperdicios", creando un flujo en dirección opuesta a las actividades logísticas normales. Las diferencias entre la logística tradicional y la logística inversa desde el punto de vista de los modelos cuantitativos fueron estudiadas por Fleischmann et al. (1997). Avanzando notablemente en la creación de un entendimiento formal del término, Carter & Ellram (1998) ofrecieron una definición con un enfoque de eficiencia empresarial, definiéndola como el proceso mediante el cual las organizaciones se pueden volver ambientalmente más eficientes mediante el re-uso y reciclado de sus materiales. Esto propicio que los beneficios económicos derivados del reciclado y la reutilización de partes fueran considerados. Pese al avance en su concepción, los estudios efectuados por estos autores en la búsqueda de una teoría comprensiva, los llevo a concluir que con la literatura disponible hasta entonces no se podía crear un entendimiento formal del término. Sin embargo, Dowlatshahi (2000) lleno el espacio vacío descrito por Carter & Ellarm al describir los factores estratégicos y operacionales en los sistemas de logística inversa.

Lo anterior propicio que el reciente campo de la logística inversa adquiriera mayor atención por parte de organizaciones, practicantes, académicos e investigadores, quienes en su conjunto pretendían definir el término y construir un entendimiento formal del mismo. Varias definiciones surgieron a la luz, mismas que en su conjunto resaltaban la sistemática recuperación de productos o partes previamente embarcadas (Dowlatshahi, 2002) que por alguna razón requerían ser reprocesadas por un miembro anterior en la cadena de suministro. Una de las aportaciones más representativas se encuentra en el escrito de Rogers & Tibben-Lembke (1998) quienes enfatizando el proceso de logística tradicional que la logística inversa involucra, pero a su vez considerando el concepto de valor, la definen como: "el proceso de planear, implementar y controlar de manera eficiente y a un costo efectivo el flujo y almacenamiento de materiales, inventario en proceso, bienes terminados e información relacionada desde el punto de consumo al punto de origen con el propósito de capturar valor o para su correcta disposición".

Resumiendo tal aportación, el Reverse Logistics Executive Council (RLEC, www.rlec.org), una organización enfocada al desarrollo de conceptos y prácticas relacionadas a la logística inversa, la define como "el proceso de mover los bienes de su típico destino final a otro punto, con el propósito de capturar valor o para la correcta disposición de productos". Por su parte, el RevLog (The European Working Group on Reverse Logistics, <http://www.econbiz.de/Record/revlog-the-european-working-group-on-reverse-logistics/>), señala que la logística inversa se refiere a todas las actividades logísticas de colección, desensamble y procesamiento de productos usados, partes de productos y/o materiales para asegurar una recuperación sustentable. Así mismo, la define como: "el proceso de planear, implementar y controlar los flujos de materiales, inventario en proceso y bienes terminados, de la manufactura, distribución o punto de uso, al punto de recolección ó de disposición propia".

A partir de los párrafos anteriores se deduce que la definición de logística inversa ha cambiando a través del tiempo, comenzando desde una extensión de logística tradicional pero en un sentido contrario, hasta su énfasis en aspectos ambientales y de recuperación de valor. En la literatura, esencialmente se pueden distinguir contribuciones en modelos cuantitativos, casos de estudio y desarrollos teóricos que fundamentan la teoría en logística inversa. Rubio et al. (2008) proveen una revisión y analiza las principales características de la literatura publicada en torno a gestión de la producción y operaciones en sistemas de logística inversa a lo largo de 10 años. En Guide & Van Wassenhove (2009) se puede encontrar un recuento de cómo ha evolucionado la investigación en el área en los últimos 15 años, durante los cuales la logística inversa ha pasado de ser un área técnicamente enfocada a ser completamente reconocida como una sub-área de la gestión de cadenas

de suministro. Dowlatshahi (2010) provee una actualización de la literatura en respecto a su análisis costo-beneficio. Govindan et al. (2015) efectuó una clasificación del estado del arte en logística inversa, logística verde, cadenas de suministro sustentables y cadenas de suministro de ciclo cerrado. La Figura 1 describe algunas de las contribuciones de mayor relevancia para proveer una perspectiva histórica de la evolución de la logística inversa.

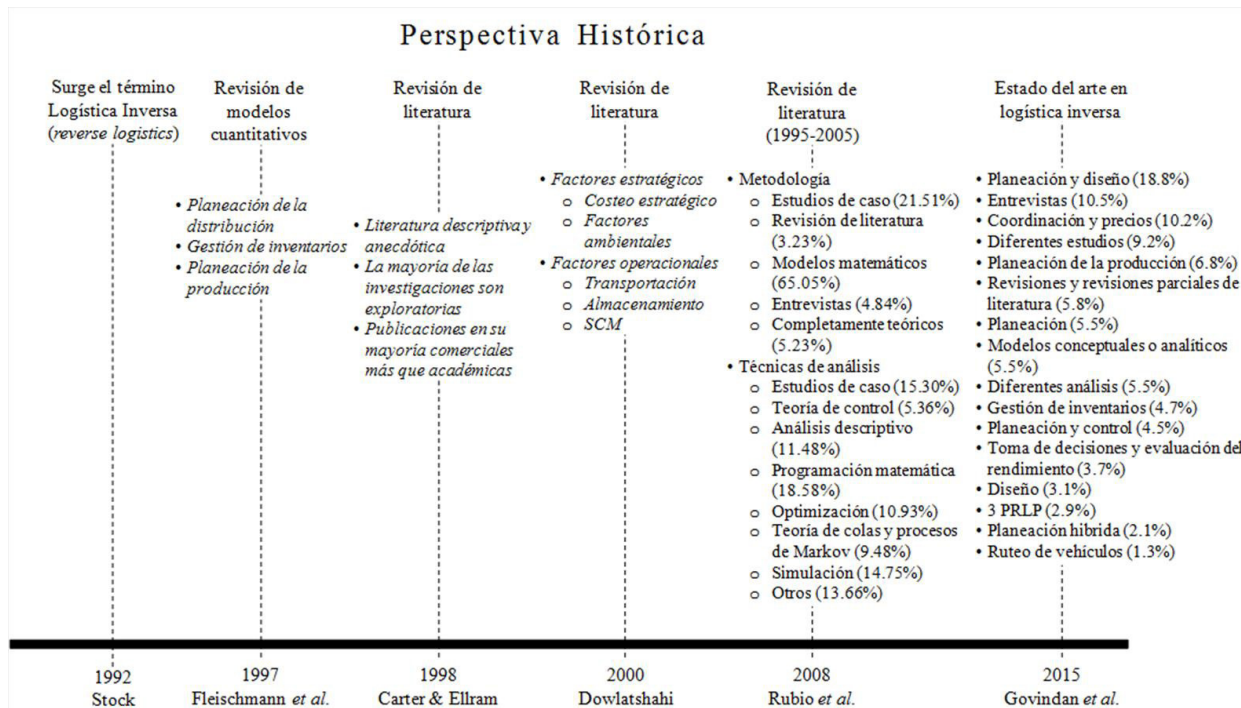


Figura 1. Perspectiva histórica de la logística inversa.

III. RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) (EEE, por sus siglas en inglés: Electrical and Electronic Equipments) brindan comodidad y seguridad a la sociedad, contribuyendo a la difusión del conocimiento, el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la industria. Así, la producción de equipo eléctrico y electrónico es uno de los mercados de más rápido crecimiento en el mundo. Consecuentemente, esto también significa que la cantidad de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (WEEE por sus siglas en inglés: Waste of Electrical and Electronic Equipments) continuará creciendo en las próximas décadas. Tan solo en México, la cantidad de RAEE generados durante 2006 –que contempla únicamente televisores, computadoras personales de escritorio y portátiles, aparatos grabadores y reproductores de sonido, teléfonos fijos y teléfonos celulares–, arrojó un volumen estimado entre 150,000 y 180,000 toneladas (Román-Moguel, 2007). En el contexto internacional, el consumo de equipos destinados al uso de las tecnologías de la información por los países en vías de desarrollo, presenta una tendencia positiva con proyección de demanda exponencial para los próximos años (Yu et al., 2010a).

En su proceso de recolección y gestión intervienen distintos agentes, cada uno de los cuales desempeña una función específica en cada etapa del mismo. Para entender cómo se lleva a cabo la gestión es necesario determinar previamente cuáles son esos agentes y cómo se relacionan entre sí, es decir, conocer los flujos de RAEE desde el momento en que éstos se generan, hasta que llegan a la planta de tratamiento. En la Figura 2 se muestra un

diagrama de flujo del proceso completo de recolección y tratamiento de RAEE.

Los residuos se generan cuando los electrodomésticos son reemplazados por otros o cuando han dejado de ser útiles, aunque no se hayan reemplazado, y su origen puede ser doméstico o de ámbito profesional. También existe una pequeña fracción de RAEE que provienen de los fabricantes, es decir de los mismos productores, generalmente por estar defectuosos. La primera etapa del proceso de gestión es la recolección. Ésta puede realizarse por varios medios tales como los servicios de recolección municipales de enseres voluminosos, en este caso los ayuntamientos de cada municipio se encargan de la recolección de los RAEE para su posterior traslado a los centros de tratamiento o a almacenes intermedios a la espera de ser reciclados. Otras opciones son los Puntos Limpios, los distribuidores de electrodomésticos, los instaladores y los gestores de residuos. En la segunda etapa del proceso de gestión se procede al tratamiento de los RAEE que provienen de la recolección, independientemente de cuál sea la forma en que ésta se ha llevado a cabo. Dicho tratamiento tiene lugar en centros autorizados, los cuales pueden ser de varios tipos en función de las características del residuo a tratar. En algunas ocasiones los RAEE procedentes de la recolección pasan por un centro de compactación previamente a ser llevados a los centros de tratamiento. Dentro del proceso de tratamiento de los RAEE cabe destacar el papel de los chatarreros como un tipo especial de agentes que también forman parte de este sistema de gestión. La última etapa del proceso consiste en determinar el destino final de las distintas fracciones resultantes del tratamiento de los RAEE.

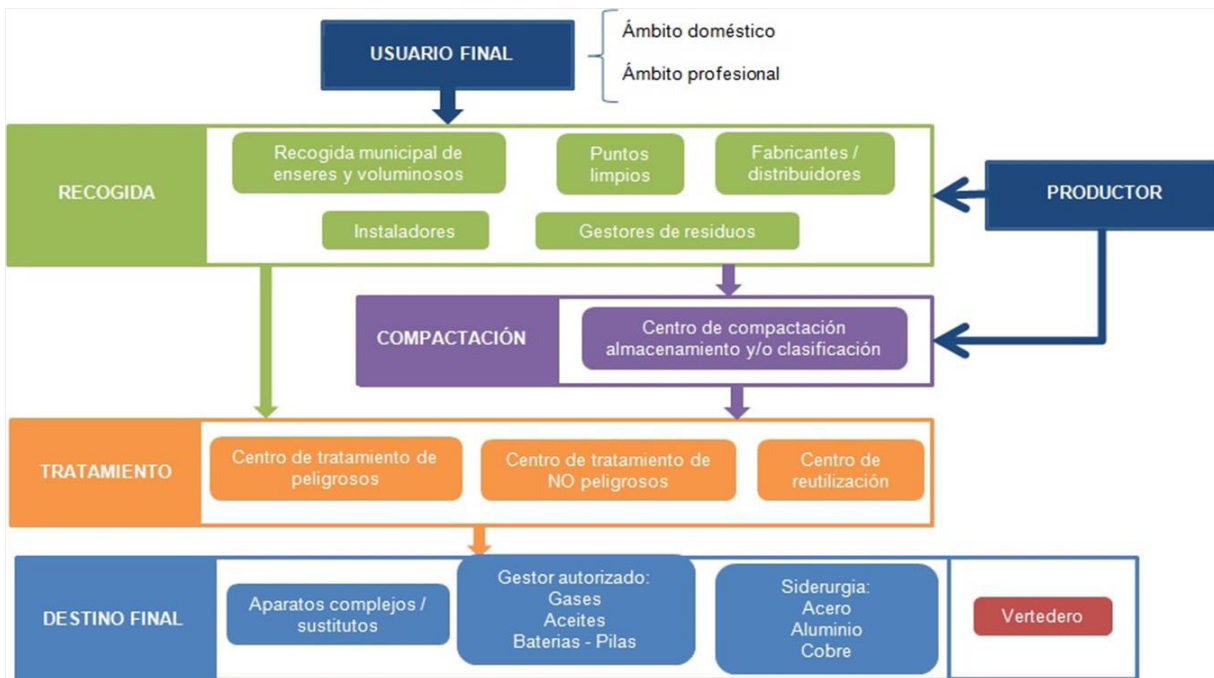


Figura 2. El proceso administrativo de la recolección de RAEE.

Los RAEE son considerados como residuos peligrosos; por ejemplo, los residuos de equipos informáticos pueden contener plomo (en tubos de rayo catódico), cadmio (en algunas resistencias o semiconductores), mercurio (en termostatos o sensores), cromo hexavalente (en algunas soldaduras), y cobalto (en el acero para estructura) entre otros. Como consecuencia de lo anterior, cuando los AEE son desechados, se debe evitar que estos residuos sean confinados junto con los desechos municipales sin tratamiento previo. El reciclaje informal también contribuye a ocasionar serios problemas ambientales, debido a que realiza prácticas rudimentarias como la incineración para recuperar ciertos materiales

ferrosos, metales, plástico, vidrio, y otros materiales, contaminando el aire, los suelos y en ocasiones, llegando a los mantos acuíferos. En Li et al. (2008) se describe el escenario de contaminación en la ciudad de Guiyu, en China: región en la que hubo un gran crecimiento de la industria del reciclaje desde 1990 debido al bajo costo de mano de obra y mínimas regulaciones ambientales. Como consecuencia de ello, sus suelos y aguas están altamente contaminados con metales pesados y otros componentes tóxicos como los clorados, brominados y dioxinas mixtas halogenadas, producto de la quema incontrolada de desechos electrónicos, convirtiendo a esta zona como uno de los sitios más contaminados en el mundo.

3.1 ESTRATEGIAS DE ACTUACIÓN SOBRE RAEE

La masiva proliferación mundial de equipos electrónicos no ha tenido lugar sin que se desarrollasen, al mismo ritmo, estrategias seguras de actuación sobre los residuos que se generan. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los principales acuerdos y los objetivos planteados para el manejo adecuado de los desechos electrónicos en el mundo. En México, las autoridades han abordado el problema de los RAEE en forma general: desde el año de 1988, fecha en que se promulgó la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), los RAEE fueron enlistados en la categoría de Residuos Peligrosos y su regulación estaba a cargo de la Federación. El hecho de que estuvieran considerados como Residuos peligrosos obstaculizó durante mucho tiempo la implementación de medidas para la gestión de los RAEE, pues debían observar rigurosas normas para su manejo. El 8 de octubre del 2003 se publicó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), que derogó las disposiciones de la LGEEPA en la materia y estableció tres tipos de residuos: los Residuos Sólidos Urbanos de carácter domiciliario, los residuos peligrosos y los residuos considerados como de manejo especial (RME). A partir de la reforma de mayo de 2012, los RAEE son considerados como RME, ya que esta Ley los clasifica de esta forma en su TITULO TERCERO “Clasificación de los Residuos”, CAPÍTULO ÚNICO “Fines, Criterios y Bases Generales”, Artículo 19, Inciso VIII, que dice que “son RME los Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico”. Esta Ley define expresamente la competencia de su regulación a la Federación, las entidades federativas y a los municipios, respectivamente (www.semarnat.gob.mx/).

Tabla 1. Principales acuerdos y convenios para la gestión de RAEE.

Acuerdo	Objetivo
Convenio de Basilea	Regula el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.
Convenio de Estocolmo	Limitar la contaminación provocada por COPs, productos químicos con ciertas propiedades tóxicas, resistentes a la degradación y acumulativos en el tejido humano.

Convenio de Rotterdam	Proporcionar a las Partes información detallada sobre los efectos de los productos en la salud humana, bajo el principio jurídico denominado “Consentimiento Fundamentado Previo”. Es aplicable a los desechos electrónicos, cuando se encuentren entre sus componentes algunas de las sustancias peligrosas reguladas.
Directiva WEEE	Promover el reciclaje, la reutilización y la recuperación de los residuos de estos equipos para reducir su contaminación.
Directiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances)	Reducir las sustancias peligrosas usadas en la fabricación de AEE, disminuir los riesgos en el tratamiento de residuos, con lo que se requieren menos precauciones de manipulación en la etapa final.
Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA)	Organización intergubernamental destinada a apoyar la cooperación entre los tres socios comerciales del TLCAN en los asuntos ambientales de preocupación común, con especial énfasis en los retos y oportunidades ambientales derivado del libre comercio de la región.
Plataforma RELAC	El objetivo de la Plataforma Regional sobre Residuos Electrónicos de PC en Latinoamérica y el Caribe es fomentar, articular y difundir iniciativas que promuevan soluciones para la prevención, la adecuada gestión y el correcto tratamiento final de los residuos electrónicos de PC en Latinoamérica y el Caribe.

Respecto a los principales acuerdos a nivel internacional, en México se han ratificado los Convenios de Basilea y Estocolmo, que surgieron como mecanismos y estrategias para enfrentar el envío de residuos desde países industrializados hacia aquellos en vías de desarrollo. A nivel regional, México tiene participación en diferentes programas y acuerdos relacionados con el tema de los residuos electrónicos, como son el CCA y Plataforma RELAC. Las Directivas WEEE y RoHS únicamente son aplicables a los Estados miembros de la Unión Europea y carecen de fuerza vinculante con México; sin embargo, se mencionan debido a que son marco de referencia de los avances en esta materia y base para el desarrollo de la normatividad y políticas aplicables a los desechos electrónicos.

Se debe notar que, pese a que los aspectos económicos y ambientales juegan un papel importante en la recolección de RAEE alrededor del mundo, es importante destacar los principios generales que implican una forma diferente de operar y gestionar los sistemas de recolección. Por ejemplo, mientras que la Directiva 2002/96/EC (EU, 2003) de la Unión Europea sobre RAEE impone a todos los estados miembros de la Unión Europea desarrollar legislaciones basadas en el principio de Responsabilidad Extendida del Productor, bajo la cual los importadores y productores de electrodomésticos deben hacerse cargo de la recolección y tratamiento de los RAEE; en México la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) establece que el diseño e implementación de planes de gestión para el tratamiento de los RAEE prevé la participación de todos los sectores involucrados bajo el principio de responsabilidad compartida y diferenciada; brindando expresa competencia a los Ayuntamientos para tomar medidas en cuanto a la gestión de RAEE, que involucra básicamente su responsabilidad de recolectarlos y canalizarlos a empresas gestoras debidamente autorizadas por la SEMARNAT para su tratamiento y eliminación de residuos peligrosos y posteriormente, su confinamiento final.

La llamada directiva RAEE distingue 10 categorías de productos (ver Tabla 2) ambas concernientes a los mercados B2B y B2C. Para cada categoría, se permiten tres opciones de recuperación: reutilización de los componentes, reciclaje de materiales e incineración (o recuperación de energía). Se definen dos tipos de cuotas: el mercado de consumo electrónico tiene que satisfacer varias metas que definen tasas mínimas de recuperación que van del 70 – 80%, lo cual incluye incineración con recuperación de energía, y una tasa mínima de reciclaje y reutilización (creando un balance ponderado) de componentes, materiales y substancias del 50 – 70%. Además, se requiere el tratamiento de los productos recolectados para remover fracciones o grupos de materiales peligrosos, como baterías, tarjetas de circuitos impresos, tubos de rayos catódicos, y cableado eléctrico. La directiva exige el establecimiento de un grado mínimo de desensamble para los productos que contengan éstos elementos, a la vez que detalla el proceso de recuperación en detalle.

Tabla 2. Las 10 categorías de RAEE según Directiva 2002/96/EC

	Categorías de RAEE
1	Grandes electrodomésticos
2	Pequeños electrodomésticos
3	Equipos de informática y telecomunicaciones
4	Equipos de consumo
5	Equipos de iluminación
6	Herramientas eléctricas y electrónicas
7	Juguetes, equipos de recreo y deporte
8	Dispositivos médicos
9	Instrumentos de monitoreo y control
10	Máquinas expendedoras

La finalidad de la Directiva RAEE es evitar la creación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y promover la reutilización, el reciclado y otras formas de recuperación con el fin de reducir el desperdicio final. Los productores e importadores de equipos eléctricos son en la actualidad los responsables de llevar a cabo las tareas de recolección y recuperación ya sea de forma individual o adhiriéndose a un sistema colectivo. Los Estados miembros deben asegurar que el tratamiento se lleva a cabo por agentes competentes y oficialmente reconocidos. En España, la directiva entró en vigor el 25 de febrero de 2005 por el Real Decreto 208/2005. La adopción de esta legislación ha dado lugar a cambios esenciales en el campo del reciclaje de chatarra electrónica. En particular, los productores e importadores de grandes y pequeños electrodomésticos se ven afectados por la nueva normativa, ya que tendrán que gestionar más del 75% del total de los residuos electrónicos. La Directiva RAEE persigue los siguientes objetivos: 1) prevenir la generación de RAEE, 2) incrementar las tasas de reúso, reciclaje y recuperación de tales residuos para minimizar su disposición, y 3) mejorar el desempeño ambiental de todas las operaciones involucradas en el ciclo de vida de los AEE. La Directiva RAEE pretende dar cumplimiento a estos objetivos a través de los siguientes principios:

- Responsabilidad extendida del productor,
- Recolección de RAEE: diseñando sistemas de recolección apropiados. En este punto diversos artículos han sido publicados (Mar-Ortiz et al., 2011; Gamberini et al., 2009). Donde se destaca que el diseño de una red de recolección ineficiente puede causar incluso ma-

yores impactos ambientales en el transporte y la recolección que, los ahorrados por las prácticas de reciclaje (Barba-Gutiérrez et al., 2008); además de que la recolección de RAEE tiende a ser una actividad más relevante que la clasificación y el desensamble (Hischier et al., 2005)

- Tratamiento del RAEE: solicitando a los estados miembros el establecimiento de mínimos estándares de calidad para el tratamiento de los RAEE recolectados
- Información: para lograr mejores tasas de recolección y facilitar la recuperación de RAEE.

IV. MODELOS CUANTITATIVOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE RAEE

Desde un punto de vista general, el proceso de recolección de RAEE puede ser descrito de la siguiente manera (ver Figura 3): el proceso inicia cuando un consumidor final adquiere un nuevo producto y regresa el viejo (obteniendo un incentivo como descuentos, o garantía extendida del nuevo producto), para gestionar el proceso de recolección el CMS de una determinada región geográfica en particular establece un acuerdo con un grupo de tiendas y puntos de recolección (algunas veces llamados puntos verdes), para recoger la basura electrónica de una categoría dada, por ejemplo los productos de línea blanca como refrigeradores y lavadoras. Cada tienda posee una capacidad (directamente relacionada a su volumen de ventas) para recolectar RAEE. A su vez, cada tienda tiene asignado en su almacén un cierto espacio para los RAEE recolectados. Cada vez que dicho espacio está a punto de ser saturado, el administrador de la tienda llama al centro de atención del CMS para que los RAEE le sean retirados por el depósito correspondiente. Cada depósito mantiene una flota heterogénea de vehículos con capacidad definida, que son usados en la recolección de los RAEE. Sus actividades incluyen la recolección del RAEE de las tiendas, la consolidación en el depósito, y en algunos casos actividades de valor-añadido como clasificación y empaque. Finalmente, los RAEE recolectados por los depósitos son consolidados y enviados a las plantas de desensamble, donde serán desmantelados antes de ser reciclados.

El diseño de sistemas de recolección de RAEE, ha sido ampliamente estudiado en la literatura de la investigación de operaciones y la ciencia administrativa. Esta sección describe los resultados de la investigación efectuada por los autores con el propósito de desarrollar herramientas de soporte a la toma de decisiones –modelos de optimización y algoritmos de solución– para la optimización de sistemas de recolección de RAEE. De forma específica se estudian los problemas de:

- estimar la cantidad de basura electrónica generada,
- diseñar la red de recolección,
- diseñar el sistema de ruteo para la recolección, y
- optimizar el sistemas de desensamble.

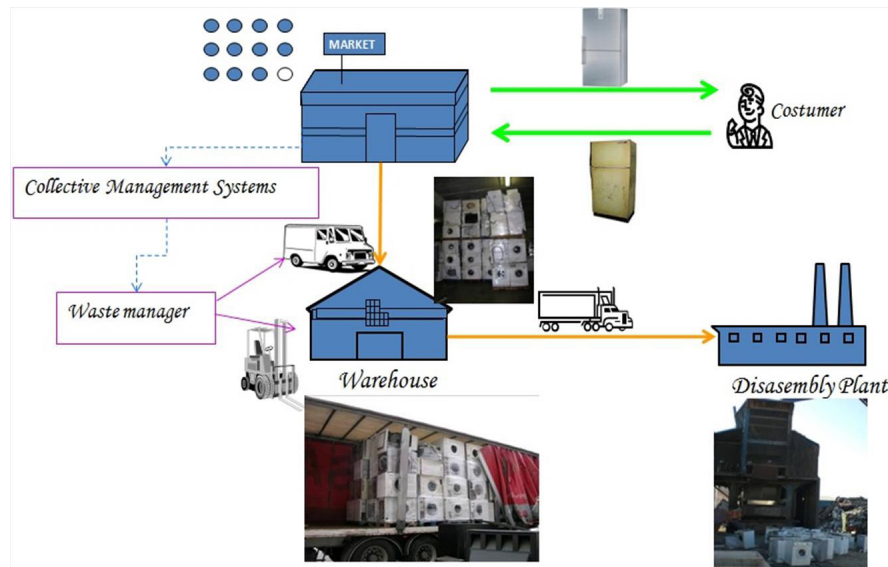


Figura 3. El proceso de recolección de RAEE.

Se debe notar que un sistema de logística inversa, y en particular un sistema de recolección de RAEE, se caracteriza por la incertidumbre en cantidad (variabilidad de ítems que entran al sistema), calidad (variabilidad de condiciones en ítems similares) y tiempo de llegada de los ítems. La incertidumbre en la calidad implica que un producto puede llegar al piso de desensamblaje sin varios de sus componentes. Esto puede deberse a que el mismo productos pudo dañarse durante el transporte o manejo, antes de ser suministrado al piso de desensamblaje, quien debe verificar su integridad. Por lo que el correcto diseño de la red logística puede incrementar o decrecer las actividades requeridas en el desensamblaje. De esta manera, las tres decisiones están interrelacionadas y determinan en gran medida la eficiencia del sistema de recolección.

4.1 MÉTODOS PARA PRONOSTICAR LA GENERACIÓN DE RAEE

Estimar la cantidad de basura electrónica que será generada es de vital importancia para la implementación de estrategias y el desarrollo de planes de manejo de un sistema de gestión de RAEE. En la literatura se pueden encontrar varios modelos para estimar la generación de RAEE. Román-Moguel (2007) presenta un modelo que estima la cantidad de RAEE a ser generados, a partir de la suma de los aparatos producidos (+) los aparatos importados legalmente (-) los aparatos exportados. Este método implica un alto grado de incertidumbre, debido a la dificultad de cuantificar las importaciones ilegales y los equipos importados libremente en forma personal. Yu et al. (2010b) presentan un modelo de regresión logístico basado en la ecología del modelo de crecimiento poblacional combinado con análisis de flujo de materiales. Por medio de este modelo se presenta el primer estimado del volumen mundial de computadoras personales obsoletas. La investigación concluye que para el 2018, las naciones en desarrollo dispondrán más computadoras usadas que los países desarrollados. Estos resultados son congruentes con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, www.pnuma.org/), quien señala que el volumen de los desechos electrónicos se elevaba de manera exponencial en los países en desarrollo, como India, China y Sudáfrica. Finalmente, Araujo et al. (2012) presenta un modelo basado en productos de mercado maduros y no maduros, que básicamente trata

de aplicar diferentes métodos para estimar la generación de residuos del equipo, teniendo en cuenta que los productos de cada mercado necesitan un enfoque diferente. Los productos de mercados maduros son aquellos que están aumentando casi al mismo ritmo de la población (por ejemplo refrigeradores, lavadoras, televisiones y sistemas de audio); para estos productos aplican el modelo de uso y consumo. Los productos de mercado no maduros son aquellos donde la demanda está creciendo más rápido que la población o los que sufren repentinas olas de cambio tecnológico, con la reducción resultante de la vida útil de los productos tecnológicos viejos (por ejemplo computadoras personales, tabletas y teléfonos celulares); para estos productos se aplica el método de paso de tiempo.

4.2 DISEÑO DE REDES DE RECOLECCIÓN DE RAEE

Determinar la ubicación tanto de los puntos de acopio como de los almacenes constituye una decisión importante que impacta la eficiencia de la red de recolección. La mayoría de los trabajos previos sobre diseño de redes de logística inversa para RAEE se basan en modelos de localización de instalaciones. Shih (2001) presenta un modelo para optimizar la red de recolección y reciclaje de computadoras y artículos electrónicos en Taiwán. Walther et al. (2008) se centran en planear la ubicación instalaciones para el tratamiento de grandes electrodomésticos (RAEE categoría 1). Grunow & Gobbi (2009) presentan una herramienta de soporte basada en optimización para el diseño de redes de recolección de RAEE en Dinamarca. En Gamberini et al. (2009) presenta un análisis del proceso logístico de recolección, manejo transporte y almacenamiento del RAEE de una planta de tratamiento ubicada en Italia, quien hace uso de un tipo de contenedor para mejorar el sistema logístico.

4.2.1 MODELO DE LOCALIZACIÓN EN TORNO A UN CMS

El problema de diseño de redes de recolección consiste en determinar una configuración nodal de puntos dentro de una red de flujo de productos que abarca desde las tiendas que recolectan los RAEE hasta las plantas de desensamble. El objetivo consiste en determinar el número, capacidad, y localización de los depósitos (o almacenes) donde los RAEE son detenidos momentáneamente en su camino hacia las plantas de reciclaje. Las decisiones incluyen establecer el número y tipos de vehículos requeridos para servir a los clientes asignados a cada almacén.

Como base para el estudio se propone un enfoque jerárquico de tres fases, el cual combina tres técnicas de la investigación de operaciones –programación entera, algoritmos heurísticos y simulación– de la forma siguiente: (1) resolver el problema de localización como un problema de optimización entera, para lo cual se utiliza un optimizador comercial de propósito general; (2) para cada almacén se resuelve el problema de ruteo semana a semana con el fin de determinar el conjunto de rutas para cada periodo, usando el algoritmo heurístico desarrollado para este caso; (3) análisis de las rutas mediante simulación con el fin de identificar el valor más adecuado para el número de vehículos a ser asignados a cada almacén, y su política de inventarios (ver Mar-Ortiz et al., 2011). El modelo de programación entera mixta del problema de localización de almacenes se formulo en AMPL y se uso CPLEX para resolverlo. Para resolver el problema de ruteo semana a semana, se diseño un procedimiento heurístico de tres etapas basado en el algoritmo de los ahorros (Clarke & Wright, 1964), capaz de gestionar una flota de vehículos heterogéneos (ver Figura 4).

```

READ problem data:  $T, B_{ib}, R_{ij}, q_b, \lambda_b, d_{ij}, \omega_i$ 
for each period  $t \in T$  in the planning horizon do
  RoutesGenerator Procedure()
    starting(). Assign to each store a single route, to be served by the least
    cost vehicle able to serve the store.
    do{
      saving_list(). Compute the saving matrix  $S_{ij}$  and sort it in a
      descending order in a list  $SL[i][j][S_{ij}]$ .
      Set unions  $\leftarrow 0$  and  $s_{h,k} \leftarrow$  First pair of routes in list  $SL$ .
      while  $SL$  list  $\neq \emptyset$  do
        if merge_feasibility( $h,k$ ) == True then
          merge(Route $_h$ , Route $_k$ )
          update_info( $R$ )
          unions ++
        end if
         $s_{h,k} \leftarrow$  next  $s_{i,j} \in SL$  not considered yet
      end while
    } while (unions > 0)
  CombineRoutes Procedure ()
    for each vehicle type  $k \in K$  do
      if at least one route is serve by vehicle type  $k$  then
        1. Compute the number of blocks that a single truck  $k$  can execute
        at day  $DTR^k$  without exceeding its limits.
        2. Compute the number of vehicles type  $k$  needed in period  $t$  as:
         $n_k^t = 1 + \lfloor DTR^k / num\_days\_week \rfloor$ .
        3. Uniformly divide the blocks of routes between the working
        days in the system  $BR_k^t = \lfloor DTR^k / n_k^t \rfloor$ , in a way that every
        vehicle make use of similar usage rate.
      end if
    end for
  end for
return "a set of  $m$  routes for each period with an appropriated number of
  vehicles"
  
```

Figura 4. Pseudocódigo del algoritmo de ruteo para el caso Galicia.

Tabla 3. Resultados comparativos entre las configuraciones actual y propuesta.

Características	Configuración Actual	Configuración Propuesta		
		Valor	Reducción	
Número de depósitos	7	5	2	(40.0%)
Costos anuales (€/año) de arrendamiento	140,301.87	124,737.39	15,564.48	(12.5%)
Distancia anual viajada (km) desde los depósitos hacia las plantas	69,975.06	64,195.84	5,779.22	(9.0%)
Número anual de tours en vehículo tipo 1	280	717	-437	(-60.9%)
Número anual de tours en vehículo tipo 2	1204	921	283	(30.7%)
Número de vehículos tipo 1	9	9	0	(0.0%)

Número de vehículos tipo 2	19	13	6	(46.2%)
Costos variables de transporte (€/año)	23,206.14	26,021.19	-2815.05	(-10.8%)
Costos fijos de los vehículos (€/año)	1,107,696.47	857,352.71	250,343.76	(29.2%)
COSTO ANUAL TOTAL (€/año)	1,271,204.48	1,008,111.29	263,093.19	(26.1%)

Nota: En paréntesis se muestra el porcentaje de mejora obtenido por la configuración propuesta respecto a la actual.

Los resultados del estudio computacional sobre el algoritmo heurístico muestran que su desempeño, en términos de tiempo y calidad, es sobresaliente. Para testear el desempeño del enfoque de solución propuesto, la Fundación ECOLEC proporciono información respecto a su red de recolección en la región de Galicia (situada en el noroeste de España, con una población cercana a los 3 millones de habitantes), donde en 2008 fueron recolectadas más de 3,239 toneladas de RAEE. La Tabla 3 muestra los resultados del estudio comparativo entre las configuraciones actual y propuesta. De su análisis se concluye que el procedimiento propuesto muestran un buen desempeño, al derivar una configuración mejorada de la red de recogida (particularmente los costos de transporte se redujeron 29.2%). La Figura 5 muestra la configuración óptima propuesta para la red de recolección de RAEE en Galicia.

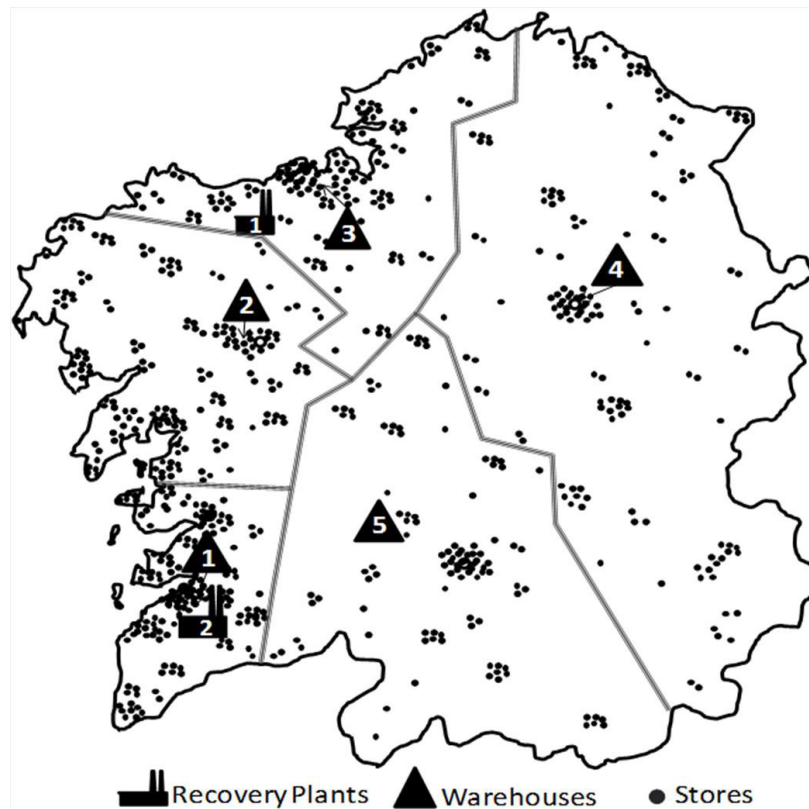


Figura 5. Configuración óptima de la red de recolección de RAEE en Galicia.

4.2.2 DISEÑO DE TERRITORIOS PARA RECOLECCIÓN

Cuando el municipio es el responsable del sistema de recolección de RAEE por lo general habilita centros de acopio, donde la ciudadanía acude a depositar sus desechos electrónicos. En este sentido, Mar-Ortiz et al. (2015a) proponen la creación de distritos homogéneos basados en AGEB (agrupaciones geo estadísticas básicas). Los autores desarrollan un algoritmo heurístico constructivo de zonificación.

El algoritmo propuesto consta de dos fases.

Inicializar: Se definen los parámetros del problema:

$\max_peso_x_zona$: la máxima capacidad de la zona

n : número de las AGEB

C_{ij} : la matriz de adyacencias,

D_{ij} : la matriz de distancias,

H_i : el vector de demandas.

Paso 1: Se forman las primeras agrupaciones entre las AGEB que son adyacentes y que tienen la mínima distancia entre ellos. Cada par agrupado (i,j) queda excluido para la siguiente selección de par de AGEB más cercanos. Esta iteración se ejecuta hasta que no existan más AGEB disponibles para agrupar. El resultado es $n/2$ zonas iniciales. La Figura 5 ilustra este paso. El resultado se denomina agrupación base.

Paso 2: se evalúan las relaciones de vecindad de la agrupación base, de forma que se anexe el vecino más próximo y simultáneamente, se equilibre el peso de RAEE recolectados. Se realiza este procedimiento en cada iteración hasta alcanzar el límite definido de generación de RAEE para la agrupación. Con el fin de obtener una solución factible. Esto permite incorporar un par de las AGEB de la agrupación base al grupo, facilita también la agregación de los pesos de RAEE a la agrupación de forma gradual y conserva el criterio de compacidad en la formación de zonas. Se realizan iteraciones que finalizan hasta que no existan más pares de AGEB para agruparse (ver Figura 6).

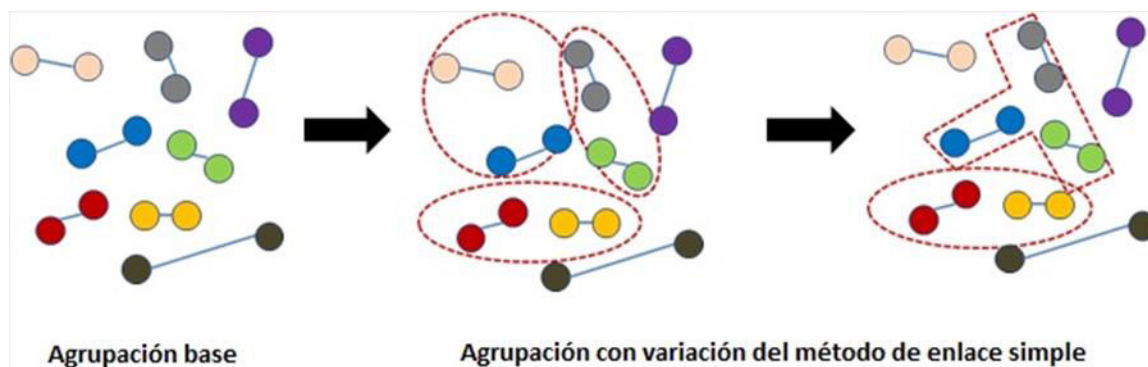


Figura 6. Esquemización del algoritmo de solución.

El algoritmo fue implementado en Matlab v.R2012a. Finalmente para determinar la localización del centro de acopio se hace uso del método de centro de gravedad con el fin de obtener una localización que minimice las distancias entre el punto de acopio y los puntos de demanda. La Figura 7 muestra la localización de los centros de gravedad de las seis zonas y el número de AGEB a que pertenece la propuesta de ubicación para colocar cada punto de acopio según la mínima distancia y volumen a generar en cada zona del territorio de Tampico.



Figura 7. Propuesta de ubicación de los puntos de recolección.

4.3 DISEÑO DE RUTAS DE RECOLECCIÓN

La optimización de las rutas de recolección implica el determinar el conjunto de tours o rutas para los vehículos que han de visitar a las tiendas para recoger los RAEE recolectados, considerando aspectos tales como: capacidad de carga y horarios de trabajo para los vehículos, fechas de recolección, demanda de cada tienda, y restricciones viales. Pese a que el problema de ruteo de vehículos (VRP) es uno de los problemas más estudiados en el campo de la optimización combinatoria y en la literatura logística, la literatura sobre el ruteo de vehículos en logística inversa aún es muy escasa. La mayoría de los artículos publicados estudian problemas específicos y casos de estudio, mientras que las contribuciones teóricas se enfocan al estudio del VRP con recolección y entrega simultánea ó el VRP con recolección en el regreso.

La dificultad de este problema deriva del hecho de que está caracterizado por cuatro variantes del VRP que han sido estudiadas independientemente en la literatura, pero no en su conjunto, incluyendo: (1) el uso de una flota heterogénea de vehículos, (2) clientes con alta demanda que puede ser particionada para ajustar a la capacidad del vehículo, (3) el hecho de que el mismo vehículo puede ser asignado a más de una ruta, y (4) el acuerdo de un intervalo de tiempo para visitar a los clientes. Estas características hacen al problema complejo e interesante, a la vez que complican su clasificación dentro de la literatura estándar del VRP (ver Eksioglu et al., 2009).

Mar-Ortiz et al. (2013) proponen una heurística GRASP para resolver el problema de diseño de rutas de recolección de RAEE que presenta las características: los clientes tienen una alta demanda que puede ser particionada (Mitra, 2008), con cada cliente se establece un acuerdo que define una ventana de tiempo para ser visitados, se dispone de una flota

heterogénea de vehículos (Imran & Wassan, 2009), un mismo vehículo puede ser asignado a más de una ruta (Tillard et al., 1996), debido a sus dimensiones, algunos vehículos no tienen acceso a la localización de ciertos clientes (Nag et al. 1988). Estas características hacen al problema complejo e interesante, mientras que complican su clasificación dentro de la literatura estándar del VRP. Esta variante del VRP fue etiquetada como el Problema de Ruteo de Vehículos con Carga Particionada y Fechas de Entrega (VRP-SLDW: Vehicle Routing Problem with Split Loads and Date Windows). El primer paso para entender este problema consistió en el desarrollo de una formulación de programación entera mixta; pero debido a su dificultad para resolverse de forma exacta, se propuso un algoritmo basado en Procedimientos de Búsqueda Ávidos, Aleatorizados y Adaptativos (GRASP). La Figura 8 muestra el funcionamiento de la fase de búsqueda local del algoritmo. El algoritmo se codificó en C utilizando el entorno de programación Microsoft Visual C++ 6.0 bajo el sistema operativo Windows Vista. Todos los experimentos se llevaron a cabo en una PC Acer AMD Athlon X2 con un procesador que funciona a 1.90 GHz y 2.00 GB de RAM.

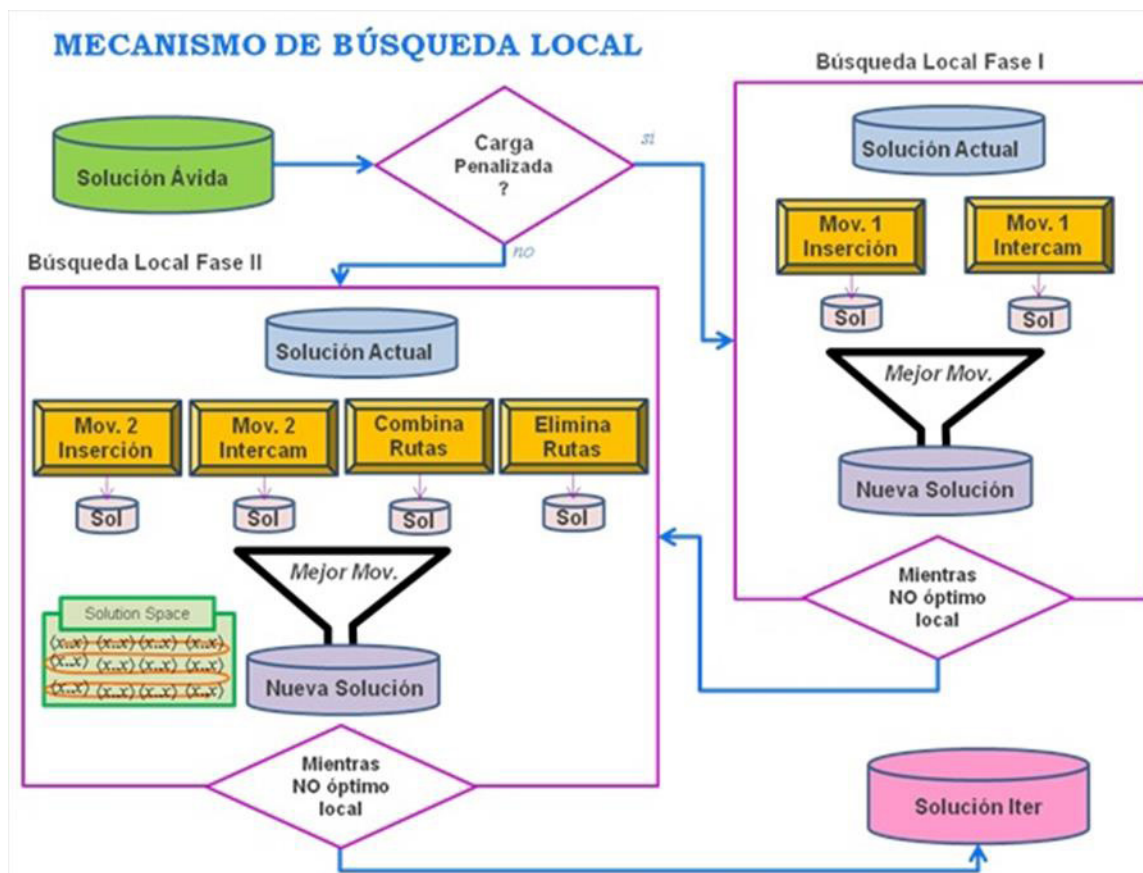


Figura 8. Mecanismo de búsqueda local del algoritmo GRASP.

Para verificar que algoritmo propuesto fuera capaz de solucionar eficazmente problemas de gran tamaño, se programó un generador de instancias aleatorias capaz de crear instancias y cotas estimadas de soluciones factibles de alta calidad, lo que nos permitió comparar los resultados. El estudio computacional sobre un conjunto de 540 instancias revela que el algoritmo se comporta mejor en los casos en los que tanto las fechas de recolección como las capacidades de recolección están altamente restringidas. Por otro lado, los peores resultados se obtienen en aquellas instancias en las que la capacidad de recolección es amplia y la demanda de los clientes baja. Esto se debe a que el algoritmo fue diseñado

para lidiar con el primer grupo de instancias, mientras que las instancias más fáciles de resolver con amplios márgenes de días para la recolección y clientes con baja demanda no requieren ser particionados. De hecho, tales instancias asemejan a los problemas clásicos VRP, en donde los movimientos inter e intra rutas son necesarios para mejorar las soluciones heurísticas.

Para asegurarnos de que el algoritmo es capaz de resolver instancias reales, los proveedores de servicios logísticos a cargo de los almacenes coordinados por ECOLEC proporcionaron datos respecto a los programas de rutas y recogida. La Tabla 4 muestra una comparación de estos datos (operación actual) contra los resultados proporcionados por el algoritmo GRASP. Podemos observar que el programa de rutas propuesto reduce la distancia recorridas por los tours entre 1,333 y 3,927 km, y el número de tours se redujo entre 31 y 55. El costo del transporte en los cinco depósitos cayó un promedio de 15.96% respecto a los niveles actuales por semana, con la mayor reducción en el depósito de 3, que tiene la mayor capacidad instalada, y la menor reducción se produjo en el depósito de 5, que tiene el territorio más pequeño. Los resultados indican que tanto el uso adecuado de los vehículos como y una correcta partición de las demandas son factores determinantes del desempeño de cualquier sistema de recolección de RAEE.

Tabla 4. Comparación entre el método actual de ruteo y el algoritmo GRASP.

Depósito	Operación actual				Operación propuesta	
	No. de Tours	Km. viajados	No. de Camiones	Costo (€/ semana)	Costo (€/ semana)	% de reducción del costo
1	73	3,011	4	3,143.31	2,561.60	18.51%
2	118	8,638	5	4,660.41	3,875.47	16.84%
3	84	5,092	4	3,455.55	2,748.13	20.47%
4	86	5,330	4	3,491.34	2,784.25	20.25%
5	66	6,210	3	2,950.37	2,840.05	3.74%

4.4 OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE DESENSAMBLE

Antes de la reutilización, re manufactura o reciclaje de un producto, este debe ser desensamblado ya sea para retirar componentes útiles con valor económico, o para remover componentes peligrosos en conformidad con regulaciones ambientales. En este sentido, la optimización del proceso de desensamble es un factor que impacta en el desempeño global del sistema de recolección. El desensamble es una actividad que consiste en hacer el proceso inverso al ensamble.

Si bien, desde el punto de vista ambiental, el desensamble es requerido para retirar componentes que pudieran dañar al medioambiente, desde el punto de vista económico hay varias decisiones que deben ser tomadas. La primera decisión se refiere al desensamblar o no desensamblar un producto, ya que la calidad de las partes es desconocida. Hay una probabilidad que depende de la causa de la devolución del producto de obtener una parte (o ensamble) de buena calidad para su reutilización. La segunda decisión más común en este ámbito es sobre el nivel de desensamble. Si la empresa decide desensamblar el producto en varios sub-ensambles, y algunos sub-ensambles no funcionan, la empresa debe decidir si vuelve a desensamblar este tipo de producto o no. La decisión está enfocada a determinar qué nivel de desensamble es rentable para la empresa. Un problema adicional surge con el estado de actualización (upgrading o downgrading) del producto durante su

uso por el cliente. Estos cambios en el producto debidos a una reparación, actualización o desactualización, aumenta la incertidumbre del estado de la calidad de los sub-ensambles. También hay un riesgo de daño durante el proceso de desensamble, ya que hasta ahora, los productos no han sido diseñados para apoyar un proceso de desensamble. Para hacer frente a estos problemas las empresas están trabajando actualmente para mejorar el Diseño para el Desensamble con el objetivo de minimizar el impacto del proceso de desensamble al final de la vida del producto. La tercera decisión, corresponde a la secuencia del desensamble con el fin de optimizar el proceso. Finalmente, una vez que las decisiones de nivel y secuencia para desensamble han sido tomadas, la cuarta decisión consiste en determinar como optimizar la operación en el piso de desensamble.

En Adenso-Díaz et al. (2006) se propone el diseño de un sistema de desensamble celular para optimizar el la operación del piso de desensamble. Considerando que los beneficios de cualquier tipo de distribución de planta son los mismos para ambientes de producción similares, independientemente de las operaciones que realicen; si un solo tipo de producto fuera a ser procesado y el volumen fuera alto, se justificaría una línea de desensamble. Sin embargo, los sistemas de desensamble se caracterizan por la llegada de varios tipos de productos a ser desmantelados, cada uno de ellos con un volumen de bajo a medio. Por ello, si se considera el uso de una configuración celular para tomar en cuenta las similitudes en las tareas de desensamble, las operaciones de desensamble pueden ser mejoradas, como sucede con los procesos de manufactura que poseen las mismas características.

En Mar-Ortiz et al. (2015b) se comparan las diferencias y similitudes entre un sistema de manufactura y un sistema de desensamble desde un punto de vista de configuraciones celulares. Los resultados demuestran la similitud de ambos sistemas cuando la integridad de las partes que llegan al piso de desensamble es alta.

Esta parte de la investigación inicia con la resolución de un estudio de caso en una planta de desensamble de la Fundación ECOLEC, usando un algoritmo de búsqueda tabú. Posteriormente, se generaliza el problema al describir dos enfoques diferentes para hacer frente a la variabilidad de la demanda en los sistemas de desensamble: uno enfoque robusto y otro reconfigurable. En el enfoque reconfigurable la demanda de los productos varia de periodo a periodo de una forma determinística, mientras que en el enfoque robusto la demanda de los productos varia en forma aleatoria; sin embargo, dicha variación se puede describir mediante un numero de escenarios probabilistas. Debido a la complejidad de estos problemas, se diseñó un algoritmo de búsqueda en entornos variables [Variable Neighborhood Search] (VNS) para resolverlos (ver Mar-Ortiz et al., 2014).

La Figura 9 presenta un pseudocódigo detallado del algoritmo propuesto. En la línea 1 se usa el procedimiento `InitSol()` para generar una solución inicial x_0 , mediante la aplicación de la heurística ávida destructiva. En la línea 2 se lleva a cabo una búsqueda local a través de todos los entornos anidados (nested neighborhoods) para generar una solución incumbente de alta calidad x^* . En la línea 5 se agita la solución incumbente usando el k -ésimo entorno del procedimiento `Shake()` para obtener una solución x' . En la línea 8 se toma la solución x' y se explora su l -ésimo entorno mediante el procedimiento `LocalSearch()` para encontrar una solución mejorada x'' que represente su mínimo local. Si la solución x' fue mejorada, entonces en la línea 10 se actualiza la solución interior x' con x'' , y se procede a explorar el próximo entorno del procedimiento `LocalSearch()`. Después de explorar todos los entornos de la búsqueda local, la solución interior se compara contra la solución incumbente para decidir si se debe cambiar a otro entorno del procedimiento `Shake()`.

Los resultados experimentales muestran lo conveniente de nuestro algoritmo para obtener soluciones cercanas a la solución óptima para el problema reconfigurable; mientras que para el problema robusto se reportan algunos avances.

```

Obtain an INITIAL SOLUTION  $x^0$ .
Apply the Local Search procedure within all neighborhoods to obtain an
improved INITIAL SOLUTION ( $x^*$ ). Let  $x^*$  be the incumbent solution.
Make  $k = 1$ .
while  $k \leq k_{\max}$  do
    Apply the Shake procedure to  $x^*$  (the incumbent solution) within the
 $k^{\text{th}}$  shake neighborhood. Let  $x'$  be the resulting solution.
    Make  $l = 1$ .
    while  $l \leq l_{\max}$  do
        Apply the Local Search procedure to  $x'$  (the incumbent
        solution) within the  $l^{\text{th}}$  local search neighborhood. Let  $x''$  be the
        resulting solution.
        if (better inner solution)
            Update inner loop solution.
            Let  $l = l + 1$ ;
        else go to the next local search neighborhood ( $l = l + 1$ ).
    end while
    if (current solution is better than incumbent solution)
        Update incumbent (outer loop) solution.
        Let  $k = k + 1$ 
    else go to the next shake neighborhood ( $k = k + 1$ )
end while

```

Figura 9. Algoritmo VNS para las variantes robusta y reconfigurable del problema de formación de células de desensamble.

V. CONCLUSIONES

En este capítulo se describieron los resultados de un proyecto de investigación enfocado a desarrollar herramientas cuantitativas para la optimización de sistemas de logística inversa encargados de la recolección y desensamble de RAEE. El capítulo parte con un análisis de la perspectiva histórica de la logística inversa, para posteriormente ofrecer una descripción general del proceso de recolección de RAEE, identificando las principales áreas estratégicas de decisión que impactan la operación de tales sistemas. El énfasis gira en torno a la descripción de cada problema y del algoritmo diseñado para resolverlo.

Los modelos y algoritmos desarrollados pueden ser directamente aplicados en la optimización de otros sistemas de recolección de RAEE. En el caso específico de México se espera que estas herramientas den soporte al diseño e implementación de Planes de Gestión para el tratamiento de RAEE post consumo, conforme lo establecido por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) a través del Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2013 – 2018.

En la literatura se pueden encontrar varias referencias enfocadas al diseño y análisis de sistemas de redes de recolección de RAEE, algunas de ellas pueden ser aplicadas en el caso mexicano, pero otras requieren un análisis de sus fundamentos e implicaciones antes de ser adoptados. En este punto las oportunidades de investigación en logística inversa de RAEE están abiertas: identificar las principales diferencias y similitudes entre los sistemas de logística inversa de México-Europa-Estados Unidos-Latinoamérica; diseñar una metodología para evaluar las capacidades de logística inversa que poseen las empresas y municipios; identificar las principales buenas prácticas que las empresas deben desarrollar para incrementar su potencial de logística inversa.

Agradecimientos La actividad investigativa de JMO ha sido parcialmente financiada por la Universidad Autónoma de Tamaulipas a través del Proyecto de Investigación PFI2014-34 dentro del Grupo de Investigación en Productividad y Optimización.

VI. REFERENCIAS

- Adenso-Díaz, B., Lozano, S., Andrés, C., & García, J. M. (2006). Disassembly cells design. In *Proceedings of the Group Technology/Cellular Manufacturing Conference* (pp. 443-450). The Netherlands: University of Groningen.
- Barba-Gutiérrez, Y., Adenso-Díaz, B., & Hopp, M. (2008). An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation. *Resource Conservation and Recycling*, 52(3), 481-495.
- Beamon, B. M., & Fernandes, C. (2004). Supply-chain network configuration for product recovery. *Production Planning & Control*, 15(3), 270-281.
- Carter, C. R., & Ellram, L. M. (1998). Reverse logistics: A review of the literature and framework for future investigation. *Journal of Business Logistics*, 19(1), 85-102.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568-581.
- Dowlatshahi, S. (2000). Developing a Theory of Reverse Logistics. *Interfaces*, 30(3), 143-155.
- Dowlatshahi, S. (2002). A framework for strategic factors in reverse logistics. In *Proceedings of the Annual Meeting Decision Sciences Institute* (pp. 425-430).
- Dowlatshahi, S. (2010). A cost-benefit analysis for the design and implementation of reverse logistics systems: case studies approach. *International Journal of Production Research*, 48(5), 1361-1380.
- Eksioglu, B., Volkan-Vural, A., & Reisman, A. (2009). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4), 1472-1483.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J., Dekker, R., van der Laan E, van Nunen, J., & Van Wassenhove, L. (1997). Quantitative models for reverse logistics: a review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 1-17.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Van Wassenhove, L. N. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operations Management*, 10(2), 156-173.
- Gamberini, R., Gebennini, E., & Rimini. B. (2009). An innovative container for WEEE collection and transport: details and effects following the adoption. *Waste Management*, 29(11), 2846-2858.
- Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603-626.
- Grunow, M., & Gobbi, C. (2009). Designing the reverse network for WEEE in Denmark. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58(1), 391-394.
- Guide Jr., V. D. R., & Van Wassenhove, L. N. (2009). The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research. *Operations Research*, 57(1), 10-18.
- Araújo, M. G., Magrini, A., Mahler, C. F., & Bilitewski, B. (2012). A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. *Waste management*, 32(2), 335-342.
- Hischier, R., Wäger, P., & Gaughhofer, J. (2005). Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective?: The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Environmental Impact*

Assessment Review, 25(5), 525-539.

Imran, A., Salhi, S., & Wassan, N. A. (2009). A variable neighborhood-based heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 197(2), 509-518.

Kroon, L., & Vrijens, G. (1995). Returnable containers: an example of reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(2), 56-68.

Li, Y., Xu, X., Liu, J., Wu, K., Gu, C., Shao, G., Chen, S., Chen, G., & Huo, X. (2008). The hazard of chromium exposure to neonates in Guiyu of China. *Science of the Total Environment*, 403(1), 99-104.

Mar-Ortiz J., Adenso-Díaz, B., & González-Velarde, J. L. (2011). Design of a Recovery Network for WEEE Collection: the case of Galicia, Spain. *Journal of the Operational Research Society*, 62(8), 1471-1484.

Mar-Ortiz J., González-Velarde, J. L., & Adenso-Díaz, B. (2013). Designing Routes for WEEE Collection: the vehicle routing problem with split loads and date windows. *Journal of Heuristics*, 19(2), 103-127.

Mar-Ortiz J., González-Velarde, J. L., & Adenso-Díaz, B. (2014). A VNS algorithm for a disassembly cell formation problem with demand variability. *European Journal of Industrial Engineering*, 8(1), 22-49.

Mar-Ortiz J., B. González-Melo, M. Gracia, R. González (2015a). Design of territories for municipal WEEE Collection: the case of Tampico, Mexico. Unpublished document. 1-28.

Mar-Ortiz, J., Adenso-Díaz, B., & González-Velarde, J. L. (2015b). A comparison of manufacturing and disassembly systems from a cellular configuration point of view. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-14.

Mitra, S. (2008). A parallel clustering technique for the vehicle routing problem with split deliveries and pickups. *Journal of the Operational Research Society*, 59(11), 1532-1546.

Nag, B., Golden, B. L., & Assad, A. (1988). Vehicle routing with site dependencies. In: Golden, B. L., & Assad, A. (Ed.), *Vehicle Routing: Methods and Studies* (pp. 149-159). North-Holland, Amsterdam.

Pohlen, T. L., & Farris, M. T. (1992). Reverse logistics in plastics recycling. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 22(7), 35-47.

Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. S. (1998). *Going Backwards: reverse logistics trends and practices*. Reverse Logistics Executive Council, Pittsburgh, PA.

Román-Moguel, G. J. (2007). Diagnóstico sobre la generación de basura electrónica en México. Borrador final. Instituto Nacional de Ecología (INE). Recuperado de: http://www.ine.gob.mx/descargas/diag_basura_electronica.pdf.

Rubio, A., Chamorro, F., & Miranda, J. (2008). Characteristics of the research on reverse logistics (1995-2005). *International Journal of Production Research*, 46(4), 1099-1120.

Shih, L. H. (2001). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Resources, Conservation and Recycling*, 32(1), 55-72.

Stock, J. R. (1992). *Reverse Logistics*, Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.

Taillard, E. D., Laporte, G., & Gendreau, M. (1996). Vehicle routing with multiple use of vehicles. *Journal of the Operational Research Society*, 47(8), 1065-1070.

Walther, G., Spengler, T., & Queiruga, D. (2008). Facility location planning for treatment of large household appliances in Spain. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 8(4), 405-425.

Yu, J., Williams, E., Ju, M., & Yang, Y. (2010a). Forecasting global generation of obsolete personal computers. *Environmental science & technology*, 44(9), 3232-3237.

Yu, J., Williams, E., Ju, M., & Shao, C. (2010). Managing e-waste in China: Policies, pilot projects and alternative approaches. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 991-999.

CAPÍTULO 7

COORDINACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO: DE LA ADMINISTRACIÓN TRADICIONAL AL ENFOQUE SISTÉMICO.

Roberto Romero Pimentel^{a*}, Mayra Elizondo Cortés.
Departamento de Ingeniería de Sistemas.
Universidad Nacional Autónoma de México.
^{a*}rob_wolcken@hotmail.com

RESUMEN

El reconocimiento de la competencia entre cadenas de suministro exige un cambio en la forma de pensar y dirigir las empresas; aquellas que han logrado transitar desde el enfoque analítico y reduccionista hacia una perspectiva sistémica, han logrado grandes resultados. Esta transición no es sencilla, requiere de un cambio de paradigma por parte de todos los participantes de la cadena de suministro: el pensamiento sistémico. Las empresas mexicanas encuentran en este punto un gran desafío y una enorme oportunidad que aún no han explotado en su totalidad.

Palabras clave: cadena de suministro, integración, coordinación, planeación, complejidad, sistema.

ABSTRACT

The recognition of the competition among supply chains demands a shift in thinking and managing business; those who have moved from the analytical and reductionist approach to a systems perspective, have achieved great results. This transition is not an easy one, it requires a paradigm shift by all participants in the supply chain: the systems thinking. Mexican companies find at this point a big challenge and a great opportunity that have not yet been fully taken in advantage.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, México vive una feroz competencia entre empresas, las cuales coexisten en un entorno de veloces avances tecnológicos y numerosos fenómenos post-industriales y sociales; cuyas cadenas de suministro (Figura 1) se encuentran constituidas, por instalaciones geográficamente dispersas por todo el mundo, donde la materia prima, los productos en proceso y los productos terminados han de ser adquiridos, transformados, ensamblados, almacenados y vendidos.

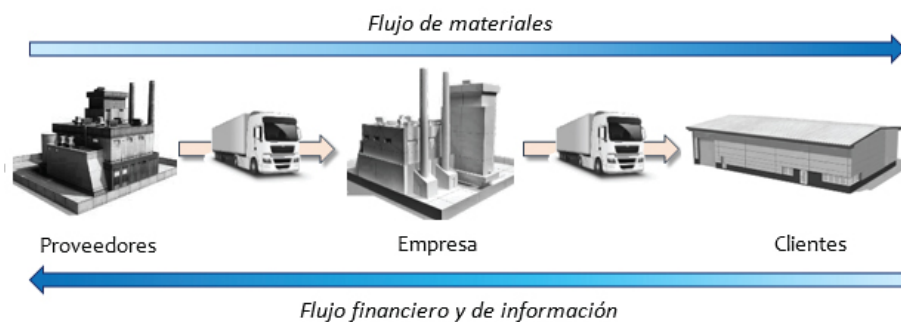


Figura 1. Cadena de Suministro

En este contexto, con mercados también cada vez más globalizados, ya no es suficiente

competir con base en productos y sus características –diseño, funcionalidad, ciclos de vida, manufactura, calidad, precio–. Las empresas mexicanas deben considerar que, al día de hoy, la tendencia se encuentra en adoptar esquemas de competencia entre cadenas de suministro; es decir, la competencia basada en productos ya no es suficiente para ganar los mercados y satisfacer a los clientes, quienes son cada vez más exigentes y quieren obtener mayores beneficios por parte de las empresas. De esta manera, para los clientes actuales, el valor que perciben de las empresas no sólo está en sus productos y servicios, sino en la forma en la que se ofrecen: en la agilidad, en la flexibilidad, en la capacidad de respuesta, en el nivel de servicio, en la personalización del producto o servicio, en la atención preventiva y postventa, y en una infinidad más de elementos de distinta índole.

Si bien es cierto, que al reconocer todas estas circunstancias al desarrollar las actividades de administración de la cadena de suministro, es posible lograr ventajas competitivas indispensables para dominar los mercados globales por los cuales luchan los competidores; también es indudable que se genera una guerra comercial con infinidad de retos y desafíos (Ballou, 2004; Chopra & Meindl, 2008; Christopher, 2011; Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009). Así, se hace inminente comprender, que gestionar de manera adecuada las múltiples relaciones e interfaces que se originan entre organizaciones e instalaciones, y al interior de éstas y aquéllas, no es, definitivamente, una labor sencilla y esto se debe a que la cadena de suministro muestra una complejidad cada vez mayor en sus distintas dimensiones.

El considerar a la cadena de suministro como un sistema, ha resultado ser muy ventajoso para su análisis y gestión (Jiménez, 2002; Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009), pero es necesario considerar que al hablar de cadenas de suministro en la actualidad, se habla de sistemas complejos (Ackoff, 2010; Wolfram, 2002), que a diferencia de los anteriores, presentan un enorme número de elementos vinculados por múltiples relaciones no lineales, y sobretodo, que presentan comportamientos emergentes (Boccaro, 2004), que además, cambian en el tiempo.

En este sentido, Christopher (2011) comenta que las fuentes más comunes de esta complejidad dentro de la cadena de suministro son:

Complejidad de la red. A mayor cantidad de instalaciones, i.e., arcos y nodos, más compleja es la red; cada vez participan una mayor cantidad de clientes y proveedores.

Complejidad de los procesos. A medida que hay más interfaces, hay más procesos y mayor probabilidad existe de encontrar discrepancias entre lo planeado y lo obtenido.

Complejidad de rango. La tendencia es hacia incrementar la cantidad de productos, i.e., SKU's a ofrecer, de manera que mientras más variedad existe, mayor incertidumbre en pronósticos y mayor riesgo.

Complejidad en los productos. A mayor cantidad de materiales, componentes y subensambles en los productos, mayor será la complejidad en la planeación de las actividades de la cadena de suministro.

Complejidad del cliente. La complejidad se incrementa cuando el cliente requiere soluciones personalizadas o no estandarizadas; además, cada uno de ellos tiene distinta frecuencia y tamaño de pedidos, requerimientos de entrega especiales, etc.

Complejidad del proveedor. A medida que la base de proveedores es más grande, más complejas serán las actividades de abastecimiento y más compleja la red de suministro.

Complejidad de la organización. Es común que las empresas posean una estructura vertical de varios niveles; este tipo de estructura organizacional impide trabajar con agilidad, de manera que cada departamento tiene su propia agenda y objetivos. Cuando esto sucede, la información no se comparte y es imposible lograr objetivos comunes.

Asimismo, Jiménez (2002) menciona que «la participación del ser humano con distintos

grados de conciencia, capacidades y deseos de hacer bien las tareas son elementos que influyen de manera importante en el éxito de los procesos»¹. De manera que si Christopher propone siete fuentes de complejidad en la cadena de suministro, definitivamente la octava de ellas –el factor humano que comenta Jiménez– es, sin lugar a dudas, la fuente que aporta la mayor complejidad al tema de la administración de la cadena de suministro. Con la constante intención de comprender el mundo, se utilizó el enfoque analítico, que descomponía los sistemas y problemáticas para reducir sus variables y finalmente extrapolar su impacto, lo cual tuvo cierto éxito, pero ahora, es necesario considerar que los sistemas complejos deben abordarse con nuevas visiones pues evidentemente, esos enfoques tradicionales son ya insuficientes; deben usarse nuevas perspectivas y formas de razonamiento y acción, que hagan uso de herramientas modernas que abarquen desde la cooperación interdisciplinaria hasta la ciencia y la tecnología.

Ante esta situación, no cabe duda que el Director de Cadena de Suministro² de hoy, se enfrenta ante una serie de problemas de gran envergadura y de cuya solución dependerá, en gran medida, el éxito de la compañía y, consecuentemente, de la cadena de suministro en la consecución de sus objetivos. La administración, coordinación y optimización de las operaciones a lo largo de la cadena de suministro, son tareas que se deberán llevar a cabo a través de la toma de decisiones, sustentada en las herramientas propicias para ello; de manera que se observa la importancia de contar con los elementos necesarios que apoyen al Director de Cadena de Suministro a ejercer su trabajo con mayor precisión y efectividad. Mediante la perspectiva planteada en las líneas anteriores, en este capítulo, se pretende tratar en particular, la coordinación de la cadena de suministro.

Enfoque sistémico de la cadena de suministro y su complejidad.

Como se mencionó, una de las formas de ver el mundo y resolver sus problemas fue utilizando el método analítico. Éste, aportó tres ideas fundamentales en la ciencia: el reduccionismo, el mecanicismo y el determinismo. El reduccionismo se refiere a la doctrina que sostiene que todos los objetos, eventos, propiedades y nuestro conocimiento sobre ellos están formados por elementos últimos e indivisibles. Por su parte, el mecanicismo se refiere al ensamblaje que existe entre las partes del todo y que se apoya en relaciones de causa-efecto. Al igual que en el reduccionismo, se tenía la creencia de que la interacción entre los objetos, los eventos y sus propiedades podían ser reducidos a relaciones fundamentales de causa y efecto³. De esta forma, al estar los efectos completamente determinados por las causas, se llega a la construcción de la visión determinista del mundo, donde todo lo que ocurre en él se encuentra completamente definido por los elementos o actividades que le preceden al fenómeno.

En esta etapa, la ciencia se caracterizó por una constante especialización en cada uno de los campos, originando incluso nuevas subdisciplinas, de manera que cada científico, cada investigador, se encontraba sumergido en un universo propio de conocimiento, aislado, por supuesto, de otros campos y subdisciplinas. Sin embargo, comenzaron a observarse analogías en los distintos campos del conocimiento y se logró definir principios universales que pueden aplicarse a los sistemas en general. Gracias a ello, es posible investigar analogías e isomorfismos en conceptos y leyes, así como en modelos de varios campos disciplinarios con la finalidad de facilitar la transferencia de este conocimiento entre los distintos campos; promover la formulación de modelos teóricos en los campos donde no existen dichos modelos; y evitar la duplicación de esfuerzos teóricos así como buscar la integración de la ciencia a través de la comunicación entre especialistas (Sarabia, 1995).

El método analítico siguió aplicándose a fenómenos sociales, económicos, organizacionales, entre muchos otros, sin mucho éxito debido a que los nuevos fenómenos y problemas bajo estudio, especialmente del tipo biológico y/o social, dejaban de presentar relaciones

² Y, en general, todos los directivos y gerentes involucrados dentro de la cadena de suministro, como pueden ser los Directores de Operaciones, Financiero y Comercial, así como los Gerentes de las áreas de Logística, Aprovisionamiento, Planeación de producción, Planeación de la demanda, Distribución, Abastecimiento, entre otras.

³ Similares a las "condiciones necesarias y suficientes"; es decir, sólo se tendrá una respuesta, o efecto, cuando dichas condiciones se cumplen.

simples y de pocas variables y ya no podían aislarse de su entorno. Es decir, comenzaban a observarse conjuntos de relaciones que dejaban de ser necesariamente lineales, relaciones que cambiaban con el tiempo y donde se involucraban múltiples variables y parámetros. De esta forma, a medida que la ciencia fue encontrándose con problemas cada vez más complejos, el enfoque de la ciencia tradicional resultó insuficiente para abordar dichos problemas y encontrarles solución.

Tratando la complejidad de las cadenas de suministro, es importante mencionar que el enfoque de los sistemas complejos (Álvarez-Buylla y Frank, 2013) apunta, que los fenómenos no son la consecuencia de una cadena causa-efecto cuyos resultados son proporcionales y predecibles bastando el conocimiento de las partes, indica más bien, que los sistemas tienen comportamientos no lineales. Actualmente, no existe una definición de sistema complejo completamente aceptada por la comunidad científica, pero las existentes, coinciden en definir a un sistema complejo como un sistema compuesto por elementos interrelacionados que generan información y cuyas operaciones se basan en reglas simples; a partir de las interrelaciones de sus elementos, se generan propiedades nuevas o bien comportamientos colectivos a diversas escalas. Es evidente que situaciones como las mencionadas en este párrafo, se presentan en el contexto de la planeación, gestión y operación de las cadenas de suministro. Si bien es cierto que el estudio formal de la cadena de suministro como un sistema complejo excede el alcance de este capítulo, observemos cómo el enfoque de los sistemas complejos respalda el desarrollo y la aplicación de las habilidades de toda índole, necesarias para afrontar las situaciones problemáticas complejas que se presentan en el contexto de las cadenas de suministro, con la finalidad de actuar holísticamente.

Como podemos comprender, el enfoque sistémico constituye una forma de abordar, representar y aproximar los distintos niveles de la realidad en la que nos encontramos. Su evolución a través del tiempo, adaptándose a las nuevas realidades, hace posible su aplicación a los más diversos problemas, de manera que el estudio de la cadena de suministro no ha sido la excepción y ha permitido el desarrollo de un marco de referencia para la toma de decisiones.

Retomando la definición de sistema, puede parecer vaga e imprecisa, y en su forma más general puede definirse como: «un conjunto de elementos interconexos que forman una integridad» (Fuentes, 1990). Desde luego, pueden encontrarse en la literatura una infinidad de definiciones para el mismo concepto, pero todas ellas hacen referencia a la idea de contar con una colección de elementos (concretos o abstractos: objetos, entidades, personas, máquinas, ideas, fenómenos, etc.) que se encuentran relacionados y organizados, formando un todo más grande (Figura 2). Este concepto implica que el todo no puede entenderse a través de su reducción en unidades elementales y que sus elementos no se encuentran relacionados de forma lineal. Es decir, la idea de los sistemas contiene implícita la característica de que el conjunto de elementos, relaciones y eventos deben ser tratados de forma colectiva, como una integridad; no es posible verlos como una integración mecánica, una suma aritmética o un simple ensamble de partes, como podría ocurrir bajo el esquema del pensamiento lineal.

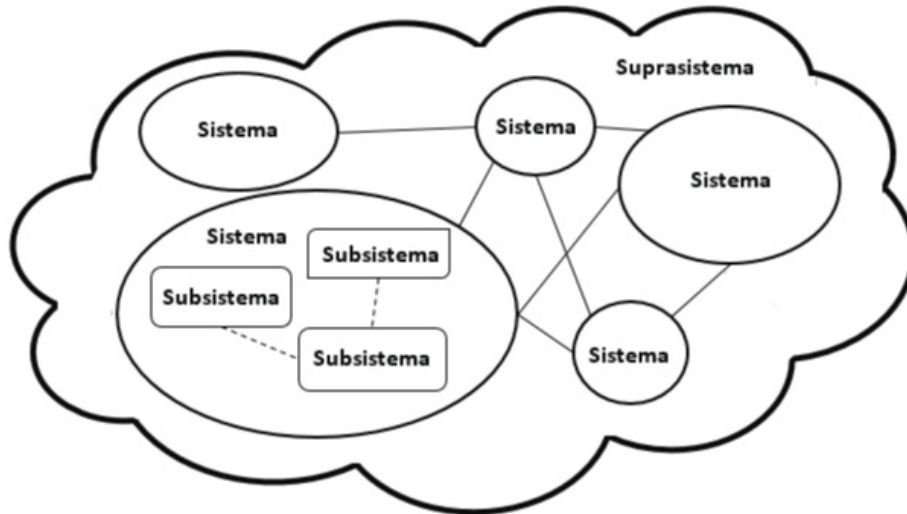


Figura 2. Suprasistema, sistema y subsistema.

Consideremos entonces, que la cadena de suministro, por definición, es un sistema (Figura 3): «[...] es la red de organizaciones que están involucradas, a través de enlaces ascendentes y descendentes, en los diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos y servicios en las manos del cliente final» (Christopher, 2011). Además, un sistema no podría ser considerado como tal si no tiene un propósito; es decir, los sistemas tienen un fin último a partir del cual se explica la interrelación e interacción de los elementos constituyentes y sus atributos. Como sistema, la cadena de suministro exhibe una única intencionalidad: la generación de beneficios económicos, de riqueza; y es desde esta perspectiva que resulta evidente el carácter teleológico⁴ de lo que hoy conocemos como supply chain management.

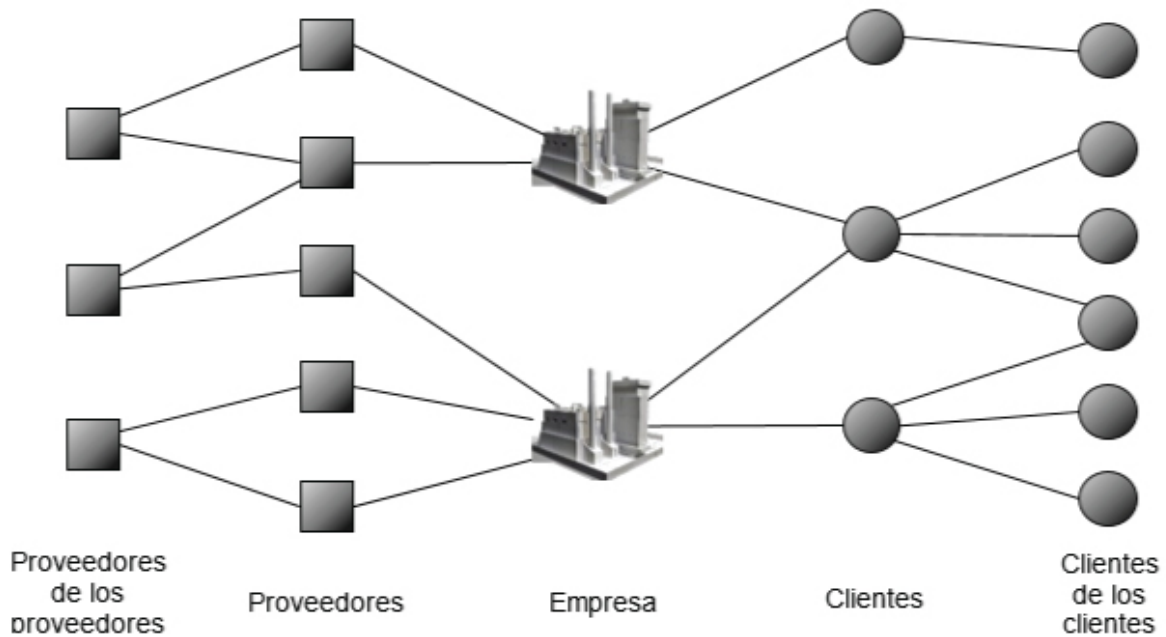


Figura 3. Red de suministro

En una cadena de suministro típica se abastece materia prima, los productos son fabricados y ensamblados en diversas plantas, se transportan hacia almacenes y centros de distribución para finalmente ser enviados a clientes o consumidores finales en los distintos canales de comercialización. Es decir, existe interacción entre los elementos de los distintos niveles de la cadena de suministro, de manera que para reducir costos e incrementar los ingresos es preciso coordinar los distintos niveles en una estrategia efectiva: se dice entonces que debe existir una administración de la cadena de suministro para conseguir dichos objetivos. Esto se puede definir de la siguiente manera (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009): «la administración de la cadena de suministro es un conjunto de enfoques utilizado para integrar eficientemente a proveedores, fabricantes, almacenes y comercios, de manera que la mercancía sea producida y distribuida en las cantidades correctas, a los lugares correctos y en el tiempo preciso, a fin de que los costos de todo el sistema sean minimizados al tiempo que se satisfacen los requisitos del nivel de servicio». John Mentzer (2001) define la administración de la cadena de suministro como: «[...] la coordinación sistémica y estratégica de las funciones del negocio y sus tácticas a través de dichas funciones dentro de una compañía particular, y a través de las empresas dentro de la cadena de suministro con el propósito de mejorar a largo plazo el rendimiento individual de las compañías y de la cadena de suministro como un todo».

Michael Hugos (2003) menciona que la administración de la cadena de suministro son las cosas [sic] que hacemos para influir en el comportamiento de la cadena de suministro y obtener los resultados que queremos, de modo que: «la administración de la cadena de suministro es la coordinación de producción, inventario, localización, y transporte entre los participantes en una cadena de suministro para alcanzar la mejor combinación de capacidad de respuesta y eficiencia para el mercado servido».

Lambert y Cooper (2000) comentan que la administración de la cadena de suministro es «[...] la integración de los procesos clave de negocio desde el usuario final hasta los proveedores originales que ofrecen productos, servicios, e información que agregan valor a los consumidores y otras partes interesadas».

Si bien, no se trata de realizar una revisión bibliográfica exhaustiva de la definición de este concepto, al observar las definiciones de algunos de los autores más representativos, se reconoce que todas ellas comparten características que son relevantes.

Una de las características más importantes a reconocer es que las instalaciones y las funciones de la cadena de suministro deben ser consideradas como un todo: existe un enfoque sistémico que describe la naturaleza de la cadena de suministro como un conjunto de elementos –tanto técnicos como de actividad humana– que interactúan y cuyas relaciones son fundamentales para la consecución de los objetivos del sistema. Con respecto a estos objetivos, se ha mencionado que el fin último es la generación de riqueza, y en este sentido observamos que los autores coinciden al mencionar que el objetivo de la administración de la cadena de suministro es la minimización de costos. El costo total en el que se incurre a lo largo de la cadena está constituido por los costos de materias primas y otras adquisiciones, de abastecimiento y manejo de materiales, de inversión en instalaciones, de manufactura directa e indirecta, de distribución, de inventarios, entre otros. Se trata de reducir lo más posible todos los costos asociados al cumplimiento de las órdenes de los clientes para satisfacer la demanda.

Sin embargo, considerar como único objetivo la minimización de costos resulta en una visión parcial del fin último de la cadena de suministro y las empresas que en ella participan. Es decir, se reconoce que los esfuerzos realizados en la administración de la cadena de suministro deben dirigirse hacia la generación de utilidades y, de manera general, se sabe que $\text{Utilidades} = \text{Ingresos} - \text{Costos}$, por tanto, si se desea maximizar las utilidades, se

tiene que $\max(\text{Utilidades}) = \max(\text{Ingresos} - \text{Costos})$, y mediante manipulación algebraica se concluye que $\max(\text{Utilidades}) = - \min(\text{Costos} - \text{Ingresos})$, de donde se observa que si únicamente se considera la minimización de costos como medio para maximizar las utilidades, es evidente que se está observando el supuesto de que los ingresos son fijos y dados, que son constantes ($\text{Ingresos} = K$), i.e., $\max(\text{Utilidades}) = K - \min(\text{Costos})$, pero en la realidad esto no ocurre.

La demanda no exhibe un comportamiento estático; de hecho, se reconoce que puede contener elementos de variabilidad, tendencia, estacionalidad y/o ciclicidad. Por tanto, el área comercial de la empresa puede y debe encontrar la manera de generar los mayores ingresos a través de estrategias de pricing, publicidad, segmentación de mercados, generación de demanda, promoción, etc. Además, los ingresos que obtiene una empresa pueden no provenir únicamente de la venta de sus productos, sino de servicios relacionados (garantías extendidas, servicios de soporte técnico, mantenimiento, consultoría, refacciones, consumibles, accesorios, etc.). Es posible, incluso, incrementar los ingresos a través de esquemas financieros y estrategias asociadas que permiten generar intereses y otros beneficios a partir de situaciones particulares como el pronto pago de clientes, adelantos, periodos de gracia en el pago a proveedores, créditos, etc. Incluso, puede considerarse el caso en que se tienen capacidades limitadas de producción y, por tanto, debe contemplarse una revisión minuciosa al plan anual de ventas; es decir, si no es posible satisfacer completamente la demanda, se deberá valorar la estrategia de instruir a la fuerza de ventas a empujar los productos hacia aquellos mercados donde se tienen los mejores márgenes de ganancia, las mejores utilidades. Por tanto, los objetivos de la cadena de suministro son la minimización de los costos y al mismo tiempo, la maximización de los ingresos, i.e., $\max(\text{Utilidades}) = \max(\text{Ingresos}) - \min(\text{Costos})$.

De lo comentado en el párrafo anterior, observamos que el maximizar las utilidades no es un objetivo que pueda alcanzarse conceptualizando a la empresa en términos analíticos, realizando una reducción de partes sin relación con el todo, preocupándose por eficiencias y resultados locales, donde cada gerente y cada director traza objetivos para su propia área o departamento. ¡No! En lugar de ello, se aprecia claramente que entre las tres principales áreas que constituyen a la organización, debe existir un enfoque sistémico que permita la adecuada integración de estas áreas funcionales a través de sus interfaces (Figura 4) y que evite que cada una de ellas se rija sólo por sus intenciones individuales. Se debe reconocer que las interfaces entre las áreas funcionales son los lugares donde emergen los temas de conflicto, pero también donde deben desarrollarse los elementos que cohesionan a la empresa para subordinar las agendas y objetivos de cada área al propósito global de la organización.

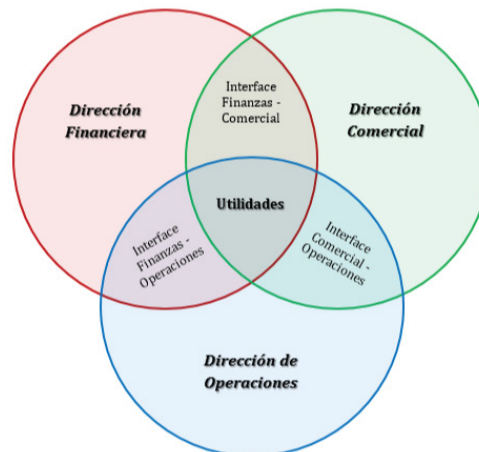


Figura 4. Áreas funcionales de la empresa y sus interfaces

Sin embargo, no es raro encontrar que en las empresas mexicanas se sigue dando una separación entre sus áreas funcionales, ocasionando una dirección miope y estrecha, que únicamente promueve la consecución de objetivos locales y que observa a la empresa como una simple suma de fragmentos, ya sea departamentos o actividades, en busca de culpables para los problemas que se presentan –cuántas veces no ha escuchado usted mencionar a los gerentes y directivos que se trata de un problema de producción, o de planeación, o de ventas–.

A través de un enfoque sistémico, es posible construir agendas para cada una de las interfaces, con temas de diálogo acordes a las problemáticas que se presentan en ellas, mediante el estudio de las interacciones e interdependencias de los recursos. De forma muy general, encontramos que la interface financiera-comercial debe tratar temas relacionados a volúmenes de ventas, pricing, generación de demanda, así como cash-flow; para el caso de la interface financiera-operaciones, los temas a tratar son todos aquellos asociados a los costos de abastecer materias primas y otros suministros, de producción, de inventarios, de fuerza laboral, transportes, etc.; finalmente, en la interface comercial-operaciones el diálogo y la agenda deben formularse en torno a los temas relacionados con el nivel de servicio al cliente, es decir: tiempos de respuesta, satisfacción del cliente, calidad, cumplimiento, capacidades, fechas, cantidades, etc.

En última instancia, la administración de la cadena de suministro debe conducir a la integración y coordinación de las diferentes funciones y participantes, con el propósito de satisfacer las necesidades de los clientes y así obtener, en el largo plazo, el mejor rendimiento económico posible. En este sentido, Shapiro (2007) así como Pochet & Wolsey (2006), sostienen que la integración de la cadena de suministro debe darse en tres diferentes dimensiones: funcional, espacial e intertemporal (Figura 5). La dimensión funcional se refiere a la integración de las funciones de compras, producción, transporte, almacenamiento e inventarios. La dimensión espacial trata de la integración de todas estas actividades que se encuentran geográficamente dispersas. La dimensión intertemporal se refiere a la consistencia y coherencia que debe existir dentro de la planeación en sus distintos horizontes –largo, mediano y corto plazos–.

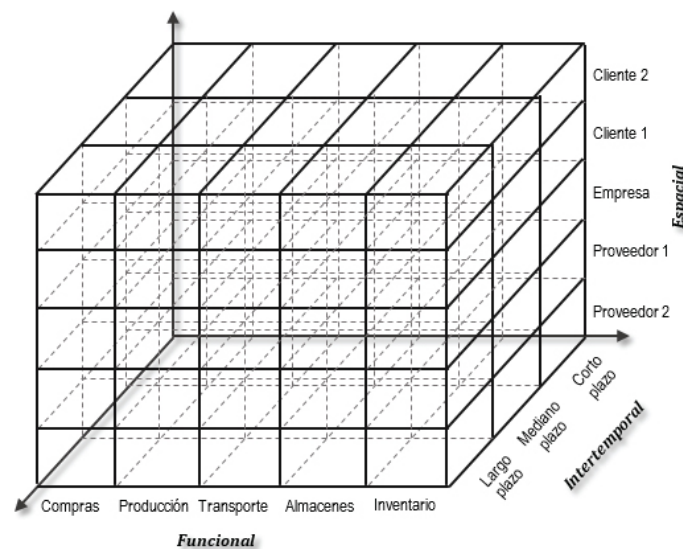


Figura 5. Integración funcional, espacial e intertemporal de la cadena de suministro.

Este enfoque sistémico de la cadena de suministro, desde luego, no se alcanza de un día a otro. Se requiere de una transición, comenzando con innumerables esfuerzos por recortar

los costos lo más posible a través de distintas metodologías enfocadas en aumentar la eficiencia interna de la compañía (Total Quality Management, Theory of Constraints, Continuous Improvement, Single-Minute Exchange of Die, Six Sigma, Lean Manufacturing, etc.), hasta finalizar con los conceptos más amplios y avanzados de Supply Chain Management, donde se busca la eficiencia de toda la cadena de suministro desde los enfoques financiero, comercial y de operaciones.

La evolución que se da en este proceso comienza en el interior de las compañías. Cuando éstas alcanzan la eficiencia interna, buscan establecer relaciones con clientes y proveedores que les permitan incrementar la eficiencia de la cadena a través de distintos mecanismos de colaboración. Es decir, comienzan con una perspectiva de eficiencia intramuros hasta alcanzar el nivel deseado y se manifiesta entonces la necesidad de buscar la eficiencia extramuros con clientes y proveedores. Poirier (2003) comenta que dicha evolución se da a través de los siguientes seis niveles (Figura 6):

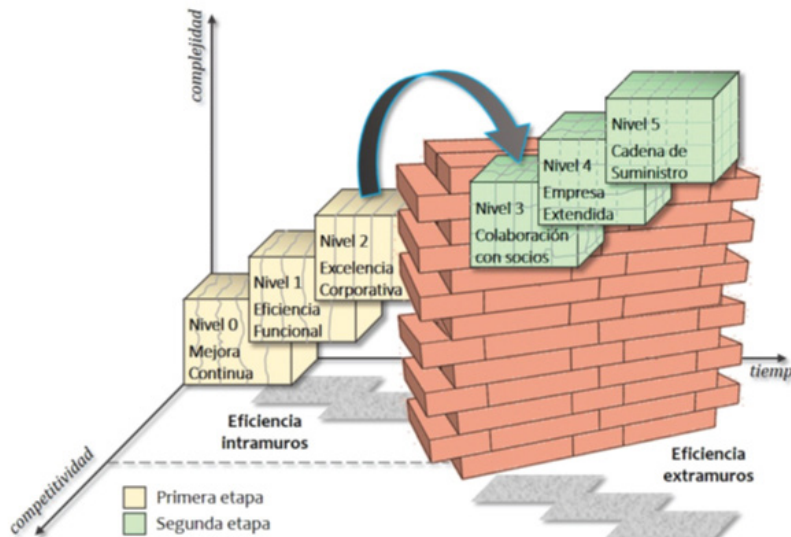


Figura 6. De la eficiencia interna a la empresa extendida

Nivel 0. Las empresas reconocen la importancia de llevar a la práctica tareas de aseguramiento de calidad y de mejoramiento continuo. Se comienza un camino hacia el logro de la eficiencia interna y debe ser recorrido en su totalidad. Si no se lleva a cabo, se corre el riesgo de no terminar de implementar las buenas prácticas, sistemas y metodologías necesarias para desarrollar la eficiencia interna de la empresa.

Nivel 1. La empresa sigue trabajando internamente para reducir costos, mientras que existe un enfoque en la mejora funcional que permita eliminar elementos nocivos como los costos de poder o la formación de silos departamentales. Se observa cooperación interorganizacional y los mayores ahorros se pueden obtener de la procuración y logística, sin deteriorar la calidad. En particular, se observa una disminución en los costos de transporte, almacenes adecuados a las necesidades reales y reducción de inventarios, de modo que se obtiene una mejora en la gestión de pedidos.

Nivel 2. Se caracteriza por la cooperación entre las distintas áreas funcionales de la empresa en busca de la excelencia interna. Asimismo, son estudiadas las necesidades de transporte a través de la firma con la finalidad de aplicar sinergias. Se comienza el uso de la tecnología como las redes de comunicación y software especializado que facilitan y mejoran la planeación y programación.

Nivel 3. Se desarrolla un enfoque hacia el cliente a través de la colaboración con socios

sleccionados. Se busca a los participantes de la cadena de suministro que pueden ayudar a lograr el siguiente nivel de mejora. Asimismo, se comienza a hablar de la empresa extendida al tiempo que la organización descubre que es únicamente una parte de la gran red de compañías enfocadas en cierto grupo de consumidores. Las alianzas se enfocan en la satisfacción de los clientes y alinean los esfuerzos de las cadenas de suministro en busca de ofrecer ventajas competitivas a la vista de dichos clientes.

Nivel 4. A medida que crece la colaboración entre participantes, las empresas vinculadas se van posicionando como líderes de la industria, cooperando como una sola empresa extendida para dominar una industria o un mercado en particular. Existe un cambio en la forma de dirigir y administrar las organizaciones, pasando de un enfoque de departamentos a una administración por procesos. Es así como los participantes comienzan a sincronizar esfuerzos a través de la red para alinear los procesos y operar como una única empresa, totalmente vinculada y optimizada, desde los proveedores y hasta los consumidores.

Nivel 5. Se trata de un último nivel más bien teórico debido al escaso número de compañías que han logrado realizarlo: Apple Inc., Procter & Gamble Co., Cisco Systems Inc., Walmart Stores Inc., PepsiCo Inc., Toyota Motor Corporation, entre otras (Wisner, Tan, & Leong, 2012). En este nivel se logra una completa conectividad de la red; los socios comparten información vital de manera electrónica, todas las transacciones importantes son visibles online y los inventarios se observan en tiempo real, el transporte toma ventaja de todos los modos disponibles en el sistema, los errores de los pronósticos son minimizados y los nuevos productos son desarrollados en sólo una fracción del tiempo típico. En este nivel, se alcanza un estado de completa agilidad y flexibilidad de toda la red, así como una base adecuada de costos.

Una vez que la compañía comienza a recorrer el inexorable camino hacia la constitución de la cadena de suministro como elemento de competitividad, se requiere alcanzar, mediante el cumplimiento de la primera etapa –que contiene los niveles 0, 1, y 2–, la excelencia corporativa sustentada en el mejoramiento de la eficiencia interna a través de todas las actividades y áreas, evitando con ello la formulación de objetivos y agendas locales. Esto se puede lograr únicamente mediante el entendimiento cabal del negocio y sus funciones; de forma que sea posible eficientar todas las operaciones que se llevan a cabo al interior de la empresa a través de las mejores prácticas y de la toma de decisiones basada en herramientas cualitativas y cuantitativas.

En la segunda etapa –que contiene los niveles 3, 4 y 5–, los esfuerzos se dirigen a mejorar el desempeño de toda la cadena de suministro, promoviendo una diferenciación con respecto a otras cadenas de suministro que compiten por el mismo mercado. Para ello, se desarrolla un enfoque hacia la administración por procesos, en lugar del enfoque tradicional por áreas o departamentos. Lograr una cadena de suministro perfectamente coordinada y optimizada exige el perfecto entendimiento del negocio, de la industria, del mercado y de la competencia por parte de todos los integrantes de la cadena.

Integración de la cadena de suministro.

Para operar los negocios de manera exitosa, dentro del contexto de la cadena de suministro, es necesario involucrarse completamente con clientes y proveedores, con los clientes de los clientes y los proveedores de los proveedores; es decir, con toda la red de suministro. Este enfoque resulta particularmente útil para observar a las empresas con una visión holística que busca la integración de todos los participantes en la red: empresas que diseñan productos y servicios, proveedores de materias primas y partes, fabricantes y ensambladores, empresas de almacenamiento y distribución, comercializadoras, mayoristas, detallistas, etc.

Esta coordinación de las actividades que realizan cada uno de los participantes de la red

de suministro, requiere de un cierto nivel de integración y colaboración entre las distintas instalaciones de todas las organizaciones. En un principio, la integración vertical en las empresas fue una estrategia que en diversos sectores industriales se empleó con la finalidad de manejar a todas las unidades de la compañía y tener completo control en el flujo de materias primas y productos, así como de información y dinero. Bajo esta perspectiva, el tener un control centralizado de todas las instalaciones favorece la formulación de objetivos globales y la posibilidad de alinear a la organización completa en dirección de dichos objetivos. Aún en la actualidad, es posible encontrar empresas mexicanas con este tipo de integración en el sector de bebidas, automotriz y electrodomésticos, entre otros. Sin embargo, resulta una tarea muy compleja tratar de administrar toda la red de instalaciones y los flujos asociados, así como los enlaces de transporte, interfaces, sistemas de información, etc.

De acuerdo con Michael Porter (1985), la cadena de valor (Figura 7) desagrega a la firma en sus actividades estratégicas más relevantes con la finalidad de comprender el comportamiento de los costos y sus fuentes, tanto existentes como potenciales, de diferenciación; por tanto, una firma incrementa su ventaja competitiva⁵ llevando a cabo esas actividades estratégicas a un menor costo o de mejor manera que sus competidores. Es decir, para obtener ventaja competitiva en los mercados, las empresas deben generar valor a la vista de sus clientes y consumidores desarrollando las actividades de forma más eficiente que sus competidores para crear una base de diferenciación.

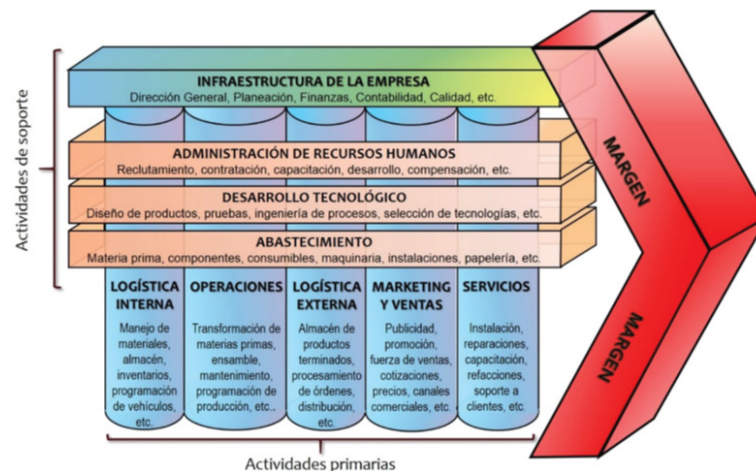


Figura 7. Cadena de valor

Este razonamiento conduce a las empresas a definir cuáles son sus competencias centrales o fundamentales, es decir, aquellas actividades que realmente representan una ventaja competitiva para seguir trabajando en mejorar el rendimiento y eficiencia de dichas actividades. Estas competencias centrales son el núcleo del negocio, de manera que aquellas otras actividades que no pueden realizarse de manera eficiente han de ser subcontratadas o tercerizadas y las empresas externas que se harán cargo de tales actividades asumirán posiciones de proveedores estratégicos, brindando dicho valor a menor costo o con mayor eficiencia.

Hoy en día, el outsourcing, subcontratación o tercerización, es una estrategia ampliamente ejercida debido al beneficio económico que supone su práctica, ya que se logra una reducción en costos y tiempos de las actividades subcontratadas y ello implica un incremento en el valor generado en la cadena de suministro.

5 Michael Porter comenta que la ventaja competitiva ocurre cuando la organización adquiere o desarrolla un atributo –o combinación de ellos– que le permite superar a sus competidores.

Sin embargo, la decisión de externalizar actividades conlleva un aumento en la complejidad de la cadena de suministro y su administración. Es decir, mientras más actividades sean tercerizadas, la gestión de la cadena se dificulta debido a la mayor cantidad de interfaces que deben ser dirigidas y coordinadas, de manera que surge la necesidad por administrar las múltiples relaciones con clientes y proveedores a través de vínculos estrechos entre los participantes. Así, las prácticas de subcontratación o externalización han conducido a una fragmentación generalizada de las organizaciones que anteriormente mostraban un esquema de integración vertical, ya sea total o parcial, hacia una integración horizontal.

En esta búsqueda de socios, proveedores y clientes que permitan incrementar el valor generado para la cadena de suministro, es común establecer relaciones con empresas de distintas partes del mundo, geográficamente dispersas. Esta situación añade otra dimensión al concepto de complejidad de la cadena de suministro: no sólo aumenta la cantidad de relaciones e interfaces por manejar sino que, además, la gestión del transporte juega un papel sumamente importante en las actividades de abastecimiento y suministro al tener más opciones en las modalidades técnicas de transporte, que incluye tarifas, seguros, tiempos de tránsito, riesgos, costos financieros, etc. Esto supone cadenas de transporte cada vez más complejas que deben ofrecer una completa conectividad entre la totalidad de las instalaciones de la cadena de suministro, localizadas en distintas partes del mundo; con costos mínimos, tiempos adecuados de transporte, el menor riesgo posible, etc.

De esta forma, no basta definir a la cadena de suministro como «[...] la red de organizaciones que están involucradas, a través de enlaces ascendentes y descendentes, en los diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos y servicios en las manos del cliente final»⁶; es decir, no es suficiente tener presente que dentro de las cadenas de suministro las organizaciones se encuentran relacionadas a través de enlaces, que bien pueden representar flujos de productos, así como de información y dinero. El día de hoy, el concepto de cadena de suministro global considera, desde luego, que las compañías se encuentran dentro de un ambiente competitivo donde las operaciones se extienden hacia el exterior de las empresas y de las naciones de donde son originarias, en dos direcciones: buscando proveedores que agregan valor a la cadena de suministro y buscando los mercados que han de ser servidos y que representan las mejores oportunidades de generar utilidades. Desde esta perspectiva, la globalización de la cadena de suministro resulta evidente.

Es claro entonces, que la administración de la cadena de suministro implica, sin lugar a dudas, un proceso de planeación en todas las áreas e instalaciones de la cadena. Con respecto a la planeación, Ackoff (1984) comenta que «[...] es un proceso que supone la elaboración y evaluación de cada parte de un conjunto interrelacionado de decisiones antes de que se inicie una acción, en una situación en la que se crea que a menos que se emprenda tal acción, no es probable que ocurra el estado futuro que se desea y que, si se adopta la acción apropiada, aumentará la probabilidad de obtener un resultado favorable». Es decir, la planeación es un proceso de toma de decisiones anticipadas a la ejecución de las acciones; y dichas decisiones son, de hecho, un sistema de decisiones que buscan identificar las acciones adecuadas para lograr un estado futuro previamente formulado.

La administración de la cadena de suministro demanda una minuciosa planeación de toda la red a fin de promover la adecuada integración y coordinación de sus elementos, que permita además, definir la manera de alcanzar los objetivos de la cadena. En la Figura 10 se muestra un esquema conciso y general de la estructuración de la planeación de la cadena de suministro; nótese que se trata de una estructura jerárquica e interrelacionada que minimiza la incertidumbre hacia los horizontes más cortos; de manera que cada nivel de planeación se encuentra acotado y subordinado al nivel inmediato superior; se conoce,

precisamente, como planeación jerárquica (Hierarchical Planning, [HP]) y su uso, desde hace muchas décadas, es de aceptación generalizada tanto en la academia como en la industria.

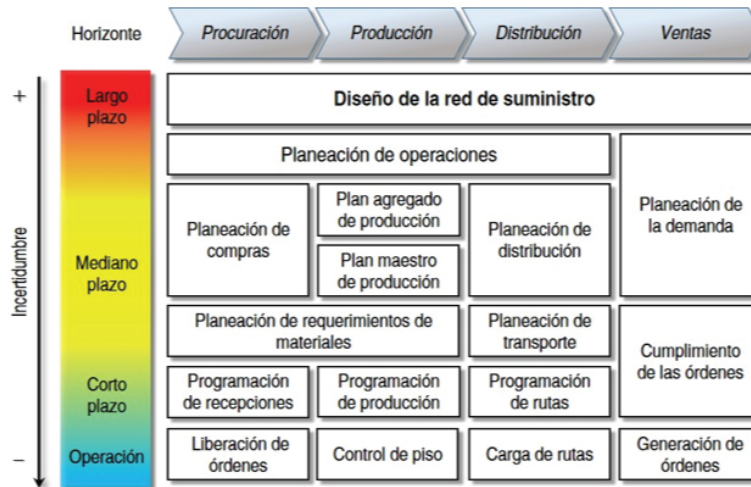


Figura 10. Matriz de planeaciçon de la cadena de suministro (Elaboraciçon propia)

En la Figura 11 se muestra el carâter sistémico que debe observarse en la planeaciçon de la cadena de suministro desde la perspectiva individual de la empresa; es posible encontrar la integraciçon intertemporal, interfuncional y, eventualmente, interespacial. Observamos entonces, que existe una gran cantidad de relaciones que trascienden a los departamentos o a las actividades primarias de la empresa. En efecto, nos encontramos ante la necesidad de establecer canales de comunicaciçon interdepartamentales y colaboraciçon entre las distintas &areas, rompiendo con ello viejas prâcticas nocivas como la constituciçon de silos y cacicazgos dentro de las organizaciones. Se advierte también, que la informaciçon debe ser el elemento a través del cual se logre la sincronizaciçon entre las distintas funciones de la empresa a fin de establecer una única agenda que dirija sus esfuerzos de la empresa en la consecuciçon de los objetivos globales. Es decir, a través de una comunicaciçon eficaz deberân construirse los puentes entre las distintas &areas y evitar la formulaciçon de objetivos locales que, generalmente, no conducen a una visiçon sistémica de la empresa y de la cadena de suministro, ocasionando enfoques parciales que conducen, invariablemente, a la generaciçon de conflictos.



Figura 11. Carâter sistémico de la planeaciçon de la cadena de suministro (Elaboraciçon propia)

Desafortunadamente, en las empresas mexicanas es común encontrarse con esquemas de planeación muy limitados ocasionados por una administración reactiva, tratando de salir al paso de los problemas y urgencias a los que se van enfrentando. Generalmente esto se debe, en gran medida, a la forma de pensar basada en el reduccionismo; lo que impide ver de forma clara, la relación entre las acciones locales y los efectos globales.

La falta de esta visión global conduce a las organizaciones a la búsqueda exclusiva de eficiencias individuales que pueden ocasionar impactos negativos en otras áreas e incluso al objetivo global de la empresa y de la cadena de suministro. Se tienen entonces objetivos en conflicto.

Por ejemplo, los proveedores prefieren que sus clientes (los productores o plantas de manufactura) compren grandes volúmenes de materia prima de forma constante y con flexibilidad respecto a las fechas de entrega. Esto les permite manejar economías de escala; incluso ofrecen esquemas de descuentos por cantidad con la finalidad de promover estas prácticas. Sin embargo, los productores requieren de una gran flexibilidad en sus operaciones con la finalidad de responder oportunamente a los cambios en el mercado y buscan disminuir en la medida de lo posible los costos de inventario. Así, se observa que los productores no buscarán comprar grandes cantidades de materia prima de forma constante. Se observa así, un claro conflicto entre objetivos.

Veamos ahora el caso de productores que prefieren realizar grandes corridas de producción, buscando minimizar los costos fijos y variables por producir, así como altos niveles de eficiencia y productividad. Esto puede resultar en altos niveles de inventarios, objetivo que los centros de distribución buscan minimizar, además de que ocurrirá un incremento en los costos financieros, un aumento en los niveles de riesgo y un mayor costo total de transporte. Se observa nuevamente un conflicto entre diversos objetivos.

Bajo la premisa de la minimización de costos, es claro que se buscaría una disminución de los niveles de inventario en, por ejemplo, almacenes de producto terminado. Esta estrategia de inventario tiene como ventajas la reducción considerable de capital invertido en productos terminados y sus costos financieros y de oportunidad asociados, así como una disminución en el ciclo de conversión de efectivo; pero una minimización en los niveles de inventario conduce, invariablemente, a una disminución en el nivel de servicio, en el order fulfillment. Esta situación, desde luego, se traduce en una eventual pérdida de ingresos por ventas no realizadas, así como un considerable desgaste en la relación con clientes debido al quebranto de la confianza y a la intranquilidad que origina la falta de certeza en el cumplimiento de sus pedidos. Otros inconvenientes de la disminución en los niveles de inventario son una menor capacidad de respuesta ante la variabilidad de la demanda, así como promover el efecto látigo ante picos de demanda que consumen rápidamente el pequeño buffer que existe entre los eslabones de producción y distribución.

En otro caso, considere el departamento de ventas de una empresa cuyos ejecutivos buscan la forma de alcanzar el objetivo de ventas mensuales. En un esfuerzo por incrementar la facturación mensual de la empresa, los ejecutivos realizan un gran esfuerzo y venden bastante más que lo proyectado por el departamento. Lejos de ser benéfico para la empresa, lo que se logra es estresar la cadena para caer en incumplimientos por la falta de materias primas y otros insumos para la producción, se incurre en gastos excesivos por el pago de tiempo extra y fletes urgentes, decrece la productividad debido a la incertidumbre que se vive en el piso de producción ya que se cortan corridas de producción para poder entrar a máquina con pedidos urgentes, backorders, etc. Resulta claro el conflicto de objetivos.

Se pueden comentar una infinidad más de casos, pero la idea que se quiere transmitir aquí, es que la cadena de suministro no es un sistema estático. Por el contrario, sus parámetros presentan incertidumbre y constantemente cambian en el tiempo; elementos como

costos, demandas, tiempos de producción, tiempos de entrega y otros muchos imponderables, confieren a la cadena de suministro su carácter dinámico y complejo. Asimismo, actividades como el desarrollo e introducción de nuevos productos al mercado, retiro de productos del mismo, estrategias de personalización de productos, entre otras, definen una cadena de suministro que constantemente cambia de objetivos, de metas.

En este esfuerzo por maximizar los ingresos y minimizar los costos, nos encontramos con el tema de la generación de valor para el cliente, quien es el que finalmente toma la decisión de comprar o no, con base en el valor que percibe. El concepto de valor para el cliente trata de identificar las razones por las que el cliente y el consumidor final eligen los productos de una empresa sobre los de otras. Desde luego, las características del producto –calidad, funcionalidad, durabilidad, color, tamaño o talla, acabados, presentación, diseño, materiales, entre muchas otras– están incluidos en el concepto, así como elementos que corresponden a la satisfacción del cliente –atención al cliente, servicio preventa y servicio postventa, concordancia con especificaciones, precio, promociones o descuentos, obsequios, facilidades de pago, garantías, etc.–; pero también incluye aquellos elementos que se requieren para entender por qué los consumidores compran, continúan comprando o simplemente abandonan una marca para cambiar a otra; incluso, el determinar qué consumidores son rentables el día de hoy, cuáles lo serán en el futuro y cuáles pueden conducir a pérdidas, son elementos de gran relevancia. En la generación de valor para el consumidor se busca determinar las necesidades y preferencias que disparan las decisiones de compra de los consumidores con la finalidad de identificar los factores de diseño para la estrategia del negocio. Para ello, deben responderse algunas preguntas que brindarán información importante en el estudio del valor para el cliente (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2009):

- ¿Los precios bajos tienen mayor valor para el consumidor que los servicios de soporte?
- ¿Prefiere el consumidor entregas al siguiente día o precios más bajos?
- ¿Dónde prefiere comprar el consumidor: en tiendas especializadas, supermercados, clubes de precios, etc.?

Es decir, se deben observar todos los atributos de la compañía, de sus marcas, productos, servicios y otros intangibles, que inciden en el comportamiento del consumidor, en la generación de demanda, en la lealtad de los clientes, etc. Ballou (2004) menciona que las empresas crean cuatro tipos de valor para los clientes: forma, tiempo, lugar y posesión. El primero de ellos se crea a través de las operaciones de manufactura cuando las materias primas son transformadas en productos terminados. Los valores de tiempo y lugar los provee la función logística de las empresas mediante las operaciones de transporte, la gestión de inventarios y el manejo de la información asociada. Finalmente, el valor de posesión se crea cuando los consumidores adquieren los productos a través de esquemas financieros y de marketing como el smart pricing, la publicidad, crédito, información, apoyo técnico, etc.

En este mismo sentido, Simchi-Levi (2009) menciona que el valor de los consumidores es la forma en que perciben la oferta total de la compañía y posee cinco dimensiones: conformidad con requerimientos, selección de productos, precio y marca, servicios de valor agregado, relación y experiencia.

A la conformidad con requerimientos también se le conoce como mediación con el mercado e indica que la cadena de suministro debe proporcionar disponibilidad y variedad para satisfacer la demanda, así como la facilidad de encontrar y comprar los productos.

La selección de productos hace referencia a la gran variedad de opciones, formas, tama-

ños, estilos, etc., que puede tener un determinado producto. Esto dificulta la tarea de pronosticar la demanda para cada una de las distintas opciones, obligando a las empresas a adoptar esquemas como el postponement o risk pooling para ofrecer opciones de personalización de productos mediante el aplazamiento de las operaciones finales de producción y/o ensamble y la consolidación de los riesgos generados por la incertidumbre en la demanda de cada producto en grandes inventarios de subensambles comunes a distintos SKU's y desacoplar la cadena en un punto donde termina la estrategia push y comienza la estrategia pull.

La dimensión de precio y marca indica que no sólo el precio es un factor importante para las decisiones de compra. Los consumidores buscan también la calidad y el prestigio de las marcas; aunque es común que los consumidores asocien los altos precios de los productos con el prestigio y la calidad.

En el caso de los servicios de valor agregado, éstos pueden ser, incluso, un elemento que dispare las decisiones de compra de consumidores. El día de hoy parece no ser suficiente competir con base en precios, de manera que el valor agregado –como servicios de soporte técnico, mantenimiento, garantías extendidas, cursos, capacitación, trato preferencial, etc.– es una característica que los consumidores buscan y analizan para diferenciar productos y marcas.

La última de las dimensiones, relación y experiencia, se refiere a la calidad de la relación que hay entre la compañía y sus consumidores. A través del conocimiento generado de las relaciones con consumidores, las empresas pueden definir perfiles que les permiten incrementar sus ventas al reconocer patrones de consumo, preferencias y necesidades de consumidores. Las experiencias se refieren al conjunto de elementos, tangibles e intangibles, que la empresa dispone alrededor del consumidor para que el momento de la compra sea único, fuera de lo ordinario y constituya eventos memorables para los consumidores, generando un antecedente para próximas compras.

Mientras la definición de Ballou es más tradicional que la de Simchi-Levi, se observa que existe una perfecta correlación entre las dimensiones que cada autor comenta. Así, la dimensión de valor de conformidad con requerimientos –o mediación con mercado– se relaciona con el valor de tiempo y lugar; la dimensión de selección de productos es sólo una extensión del valor de forma; la dimensión de precio y marca, así como la de servicios de valor agregado se encuentran asociadas al valor de posesión; la dimensión de relación y experiencia se encuentra en estrecha relación con los valores de tiempo, lugar y posesión. Cuando estos objetivos se cumplen, la cadena de suministro es capaz de satisfacer la demanda entregando los productos y servicios adecuados en el lugar preciso, en la cantidad correcta, en el momento oportuno y en las condiciones deseadas, logrando de esta forma la rentabilidad que se desea.

De esta forma, la coordinación de la cadena de suministro se logra al integrar las decisiones de las distintas áreas o eslabones de la cadena en su conjunto, sustentada en información visible, certera y oportuna, así como en procesos de planeación jerárquica, y no al operar aisladamente cada una de sus áreas o eslabones siguiendo objetivos miopes que no contemplan consideraciones que afectan la operación de otras áreas. Finalmente, este proceso de integrar y coordinar adecuadamente la cadena de suministro es llevar a la organización de la eficiencia interna a la empresa extendida.

Cuando este proceso de integración y coordinación trasciende los muros de la empresa y es posible establecer los mecanismos de colaboración y de flujo de información necesaria, veraz y oportuna, se está en condiciones de articular una cadena de suministro ágil, flexible y de bajo costo que busque los mejores resultados para la toda la cadena. Esta cadena de suministro podrá dominar fácilmente el mercado, donde otras cadenas no se

7 Pertenece al holismo, que supone que todas las propiedades y procesos de un sistema no pueden ser reducidos a las propiedades o procesos de las partes constituyentes.

8 Forma de razonamiento que tiende a construir un todo a partir de los elementos constituyentes, no sólo como una reconstrucción mecánica del todo, sino que tiene la meta fundamental de la comprensión cabal de las partes y sus particularidades a partir del reconocimiento de la totalidad.

encuentran debidamente integradas y coordinadas, operando aún bajo esquemas de objetivos individuales.

Pensar de forma global y actuar localmente.

Con lo expuesto en este capítulo no se espera obtener una solución mágica para la empresa mexicana, ni un recetario con pasos prefabricados para lograr la coordinación de la cadena de suministro. Lo que se busca es poner de manifiesto que, a pesar de ser un tema ampliamente discutido y que ha permeado de forma importante en la industria del país, es necesario hacer un llamado a los profesionales dentro de la industria para enfatizar que la administración de la cadena de suministro requiere, de manera incuestionable, repensar las organizaciones desde la perspectiva sistémica, con una óptica holística⁷, teleológica y sintética⁸.

El ambiente altamente competitivo que se vive en la actualidad y la globalización de las operaciones, exige cuestionar la administración clásica de las empresas y comenzar a dirigir las a través de la administración de las relaciones e interacciones entre los elementos del sistema, no de forma aislada. Recuerde que el objetivo global de la cadena de suministro es generar las mayores utilidades (sí, minimizando los costos... pero también maximizando los ingresos). La generación de empleos –directos e indirectos–, la productividad, la innovación, la eficiencia, etc. no son los objetivos primordiales de las empresas, ni de la cadena de suministro; son elementos que se requieren para alcanzar el objetivo global y por tanto se deben encontrar subordinados a éste.

No se trata solamente de un cambio de estrategia de la alta dirección y las gerencias de las organizaciones; se trata de incidir directamente en la cultura de la organización y en el factor humano –la mayor fuente de complejidad en las empresas–; de cambiar el paradigma del pensamiento analítico y adoptar una visión sistémica de la cadena de suministro. Éste sigue siendo, al día de hoy, un gran desafío donde se presentan enormes oportunidades para las empresas mexicanas: pensar de forma global para después actuar localmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackoff, R. (1984). *Un concepto de Planeación de Empresas*. México: Limusa.
- Ackoff, R. (2010). *El paradigma de Ackoff. Una administración sistémica*. México: Limusa.
- Álvarez-Buylla, E., y Frank, H. A. (2013). *El Centro de Ciencias de la Complejidad de la UNAM: Piedra de Roseta para la ciencia en México. Interdisciplina, I (1)*, 171-180.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro (Quinta ed.)*. México: Pearson Educación.
- Boccaro, N. (2004). *Modeling Complex Systems*. New York, USA: Springer-Verlag.
- Chopra, S. y Meindl, P. (2008). *Administración de la Cadena de Suministro. Estrategia, planeación y operación (Tercera ed.)*. México: Pearson Educación.
- Christopher, M. (2011). *Logistics & Supply Chain Management (Cuarta ed.)*. Edimburgo, Gran Bretaña: Pearson.
- Fuentes Zenón, A. (1990). *El pensamiento sistémico. Caracterización y principales corrientes. Cuadernos de planeación y sistemas*. México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Hugos, M. (2003). *Essentials of Supply Chain Management (Primera ed.)*. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley.
- Jiménez, J. E. (2002). *Marco conceptual de la cadena de suministro: un Nuevo enfoque logístico*. Sanfandila: IMT.
- Lambert, D. M. y Cooper, M. C. (2000). *Issues in supply chain management. Industrial Marketing Management, 29 (I)*, 65-83.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., y Zacharia, Z. G.

- (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 22 (2), 1-25.
- Pochet, Y., y Wolsey, L. A. (2006). *Production Planning by Mixed Integer Programming* (Primera ed.). New York, USA: Springer.
- Poirier, C. (2003). *The Supply Chain Manager's Problem-Solver: Maximizing the Value of Collaboration and Technology*. Boca Raton, FL, USA: St. Lucie Press.
- Porter, M. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York, USA: The Free Press.
- Sarabia, A. (1995). *La Teoría General de Sistemas*. Madrid: Isdefe.
- Shapiro, J. F. (2007). *Modeling The Supply Chain* (Segunda ed.) Pacific Grove, CA, USA: Duxbury Press.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., y Simchi-Levi, E. (2009). *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies* (Tercera ed.). Singapore: McGraw-Hill.
- Wisner, J. D., Tan, K. C., y Leong, G. K. (2012). *Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach*. Mason, Ohio, USA: CENGAGE Learning.
- Wolfram, S. (2002). *A new kind of science*. Champaign, IL: Wolfram Media Inc.

CAPÍTULO 8

SIMULACIÓN MONTE CARLO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE FLUJO EN EMPRESAS QUE OPERAN BAJO UN ENFOQUE DE MANUFACTURA ESBELTA

Diego Fernández Soto^a, José Alfredo Jiménez García^b, Vicente Figueroa Fernández^b, José Martín Medina Flores^c.

Instituto Tecnológico de Celaya^a
Estudiante del programa de Maestría en Ingeniería Industrial
diego.16.90@hotmail.com^{a*}

Instituto Tecnológico de Celaya^b
Profesores Investigadores, Departamento de Ingeniería Industrial

Instituto Tecnológico de Celaya^c
Profesor de Carrera, Departamento de Ingeniería Mecánica

RESUMEN

En este capítulo se presenta una propuesta novedosa para mantener el flujo continuo de materiales en empresas que operan bajo el pensamiento esbelto. Para demostrar el funcionamiento de la propuesta, se analiza un sistema de abastecimiento de materiales en una empresa manufacturera, la cual provee a la industria automotriz de flechas de velocidad constante. En el sistema se considera la aplicación de las siguientes técnicas para mejorar el flujo de materiales: reducción del tamaño del lote, cambio rápido de modelo (SMED, por sus siglas en inglés) y manufactura celular, etc. Inicialmente la empresa tenía pérdidas o esperas por falta de abastecimiento de materiales que llegaban a ser del orden del 8%, pero con la propuesta de un nuevo sistema de abastecimiento de materiales y aplicando simulación Monte Carlo, se logró reducir hasta 0.50%.

Palabras Clave: manufactura esbelta, simulación Monte Carlo, esperas por falta de surtimiento.

ABSTRACT

This chapter presents a new proposal to maintain the continuous flow of materials in companies operating under lean thinking. To demonstrate how the proposal works, a material supply system is analyzed in a manufacturing company which supplies the automobile industry constant velocity shafts. In the system is considered the application of the following techniques to improve the flow of materials: Lot size reduction, fast change of model (SMED, for its acronym in English) and cellular manufacturing, etc. Initially the company had losses or waiting for lack of supply of materials that were becoming the order of 8%, but with the new proposed of a materials supply system and applying Monte Carlo simulation, it was reduced to 0.50%.

Keywords: lean manufacturing, Monte Carlo simulation, waiting period due to material shortage.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la competencia entre empresas ya no se presenta solo a nivel regional o nacional, ahora la competencia es a nivel mundial entre empresas ubicadas en cualquier lugar. Una de las industrias más competitivas es la del sector automotriz, donde países como Japón, Estados Unidos, Alemania, Italia, Francia, Corea del Sur, entre otros, se encuentran en una batalla sin descanso por ser los mejores en el mundo en este sector. Para lograrlo, ofrecen gran variedad de productos disponibles para diferentes mercados, fabrican vehículos que son alcanzables a los bolsillos de una gran cantidad de la población. En estos tiempos, ser propietario de un vehículo no es exclusivo de personas con grandes fortunas de dinero. Se dice que las empresas que desean ser competitivas deben lograr reducir los costos lo más bajo posible, para ofrecer los mejores precios, la clave del éxito para incrementar las utilidades, no es incrementar el precio, sino más bien, reducir los costos de producción.

Por otra parte también tenemos otro factor que influye en la competitividad de las empresas, ya que los clientes no solo esperan un producto de bajo precio, sino también desean adquirir un producto con la más alta calidad posible, que incluso supere sus expectativas. Pero esto no es todo, hay un último criterio que define a las empresas competitivas, no es suficiente el ofrecer productos a bajos precios y de gran calidad, si el tiempo de entrega no es el que el cliente espera, esto último también se convierte en un factor clave, para determinar cuando una empresa es competitiva (Gutiérrez, 2005). Si se quiere permanecer en el mercado, hoy en día y en el futuro y continuar teniendo utilidades, se requiere de la aplicación de herramientas que permitan a las empresas incrementar su competitividad.

Una de las estrategias que de alguna u otra forma intentan las empresas implementar para ser competitivas es la manufactura esbelta ("Lean Manufacturing"). Esta filosofía de producción con origen en Japón, permite eliminar todo tipo de desperdicios, los cuales se clasifican en inventarios excesivos, sobreproducción, reprocesos, movimientos innecesarios, esperas, transportes innecesarios y sobreprocesamiento (Liker, 2004). De acuerdo con Shah (2003), lean manufacturing consiste en cuatro vertientes básicas como que son: mantenimiento productivo total (TPM, por sus siglas en inglés), justo a tiempo (JIT, por sus siglas en inglés), administración total de la calidad (TQM, por sus siglas en inglés) y gestión de recursos humanos.

En este capítulo nos enfocamos a la aplicación correcta del Justo a tiempo, ya que esta vertiente permite ser muy eficiente en todo lo relacionado con la logística interna de una empresa, la idea básica es recibir los materiales en el momento correcto, en la cantidad correcta, con la calidad indicada y en el último momento posible para ser capaces de entregar productos terminados en el momento exacto y de esa manera no tener grandes cantidades de productos terminados, esperas (ocio debido a escases de materia prima), inventarios excesivos de materia prima en los almacenes e inventario en proceso. De esta forma se contribuye en el flujo óptimo de la cadena de suministro.

Por otra parte, otra herramienta que ha evolucionado y ha incrementado su uso es la simulación. Uno de los inconvenientes que en la actualidad persiste es que para simular generalmente se utiliza un software de propósito específico cuyos precios se consideran elevados. Esto se puede ver como una desventaja para el uso de esta herramienta, sin embargo, para aplicar simulación en la solución de un problema complejo, no se requiere forzosamente de un software de simulación, existen técnicas como simulación Monte Carlo, donde se puede utilizar una hoja de Excel (Faulín, 2005). En este capítulo se presenta una propuesta para resolver un problema complejo, donde se considera la aplicación de

herramientas de flujo de manufactura esbelta y simulación en un sistema logístico de surtimiento de materiales dentro de una empresa manufacturera.

Para lograrlo se propone además una heurística que sirve para asignar los recursos que serán los encargados de entregar los materiales a las diferentes células de producción. Para cumplir con la demanda del cliente, se utiliza la caja heijunka, en la cual se registra cada uno de los modelos a producir, la cantidad de cada uno de ellos, la célula en la que se producen ya la secuencia de producción. De acuerdo con Hüttmeir et al. (2009) heijunka significa controlar la variabilidad del arribo de la secuencia de los trabajos para permitir la utilización de los recursos a su máxima capacidad.

La información de los arribos de los pedidos de los clientes es proporcionada por el área de supply chain, quien se encarga de recibirlos y realizar un programa de producción que debe cumplirse a tiempo. Con respecto a la tecnología de grupos la empresa ya se encuentra consolidada, da tal manera que tiene bien clasificados cada uno de los modelos en de las familias de productos, y tiene bien definido, donde se deben de producir cada uno de los modelos. Por ejemplo, una de las células más complicadas es la célula 4, la cual debe producir 80 modelos diferentes para la empresa VW.

Actualmente en la empresa se tienen en total 17 células en operación y para efectos de este capítulo se estableció un programa de producción de tres modelos en cada célula. El sistema de surtimiento de materiales opera de acuerdo al esquema presentado en la Figura 1.1. En dicha Figura se observa la actividad de cada uno de los recursos que intervienen en la actividad de surtimiento de materiales como son los paqueteros, ruteros y surtidores. En este capítulo solo nos enfocamos en la actividad de los ruteros, quienes se encargan de abastecer maquinados y plásticos a las células de producción justo en el momento que se requieren los materiales para no tener exceso de inventario en proceso, las células tendrán solo el material que necesiten, en el momento que lo necesiten. El momento justo de entregar los materiales es precisamente cuando se está realizando el cambio de modelo (SMED). Cuando se termina el cambio de modelo, todos los materiales ya deben de estar en la célula de producción de no ser así, la empresa incurre en lo que denominan pérdidas por falta de surtimiento. Otra razón por las que solo nos centramos en los ruteros (montacarguistas) es debido a que son recursos escasos y costosos, en este caso la empresa solo cuenta con tres de ellos.

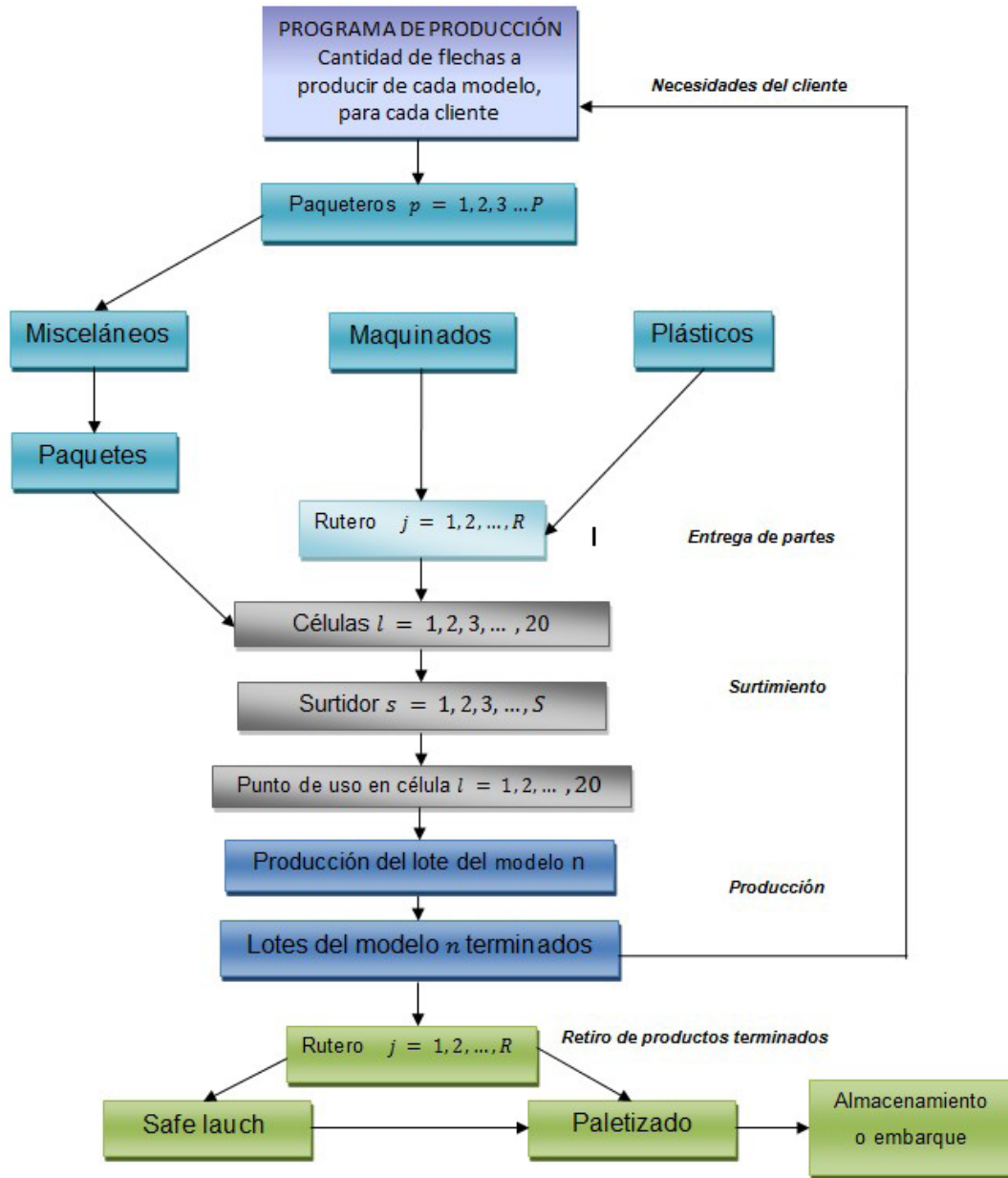


Figura 1.1 descripción del esquema de surtimiento de materiales
 Fuente: Tesis doctoral (Jiménez, 2013)

Básicamente, en este capítulo se presenta la solución al problema de pérdidas por falta de surtimiento de materiales para permitir el flujo continuo mediante el uso de simulación Montecarlo y la aplicación de una heurística propuesta por Jiménez (2013), se utilizó una hoja de Excel para facilitar los cálculos tal como lo recomienda Eckstein y Riedmueller (2002). Para la correcta implementación los resultados alcanzados en este capítulo se requieren de una gran sincronía entre los ruteros, para determinar qué rutero debe de entregar materiales, qué tipo de material, en qué célula y en qué momento.

II. MARCO TEORICO

2.1 HEURÍSTICAS

La heurística que se considera en este capítulo es de propósito específico y sirve para determinar la secuencia de entrega de materiales de cada uno de los ruteros, en otras palabras, determina en que momento el rutero debe tomar materiales, el tipo de material que debe de transportar y la célula en que debe de entregarlo.

Las heurísticas son algoritmos hechos a la medida del problema que se quiere tratar, por lo que su aplicabilidad está acotada a los supuestos de quien las diseña. Para la mayoría de problemas del mundo real, como el que se plantea en este capítulo, no se conoce un algoritmo exacto con complejidad polinómica a dicho problema. Además, el espacio de búsqueda suele ser enorme, lo cual hace generalmente que el uso de algoritmos exactos sea inaceptable. Debido a estos dos motivos, se deben utilizar métodos aproximados o heurísticas que permitan obtener una solución de calidad en un tiempo razonable a este tipo de problemas (Duarte, 2007). La definición de heurística que aparece en la real academia de la lengua en su cuarta aceptación es la siguiente: en algunas ciencias, la manera de buscar la solución de un problema mediante métodos no rigurosos, suele ser por tanteo, reglas empíricas, etc. (RAE, 2003).

La heurística que se presenta en este capítulo no se encuentra registrada en la literatura especializada, está diseñada exclusivamente para resolver el problema de surtimiento de materiales de la empresa manufacturera en cuestión. Sin embargo, se puede aplicar en otras empresas haciendo unos ligeros cambios de acuerdo a sus necesidades. Un requisito importante es que en su sistema de producción se base en los principios de la manufactura esbelta y que entre sus objetivos se encuentre reducir desperdicios tales como la espera y los inventarios en proceso.

2.2 Simulación Monte Carlo

La simulación Monte Carlo tiene su origen cuando John Von Neumann se encontraba enfermo, mientras tanto calculó la probabilidad de obtener un solitario en una baraja de 52 cartas. Mientras la estimaba mediante cálculos combinatorios, se le ocurrió un método práctico que podría aplicar a los problemas de difusión de neutrones y otras cuestiones de la física matemática. En sus experimentos, él observó que los resultados históricos eran similares al comportamiento del juego del solitario; por lo que determinó, que para llevar a cabo un experimento Monte Carlo, necesitaría una gran fuente de números aleatorios uniformemente distribuidos en un intervalo. Posteriormente usando los números aleatorios propuso usarlos para obtener variables aleatorias de interés mediante la técnica de la transformada inversa (Eckstein, 2002).

La flexibilidad y capacidad estadística de la hoja de cálculo, es especial para el desarrollo de los modelos de simulación, particularmente en el uso de la simulación Monte Carlo (Azofeifa, 2004). La simulación Monte Carlo tiene diferentes aplicaciones entre ellas las relacionadas con líneas de montaje como lo demostró Vanalle et al. (2012). Otra aplicación que tiene cierta relación con lo que se presenta en este capítulo es el realizado por Barrera (2010), para administrar un sistema de administración de inventarios dinámico.

Los principios para realizar proyectos mediante simulación Monte Carlos se encuentran explicados de manera detallada en la guía básica para la simulación Monte Carlo, propuesto por López (2008).

2.3 Lean Manufacturing

Los inicios de la manufactura esbelta no se centran solamente en Toyota; Henry Ford tuvo una parte importante dentro de todo este proceso (Villaseñor y Galindo, 2007).

Los autores Womack et al. (1992) en su libro "La máquina que cambio al mundo" quisieron dar a conocer el nuevo enfoque de producción propuesto por Toyota y hablaron de

“producción esbelta”, dado que la definición en inglés de “Lean” se traduce como magro, estilizada o sin despilfarro. Otra de las traducciones que se le ha dado a Lean es “ajustada” y algunas fuentes bibliográficas hablan de producción ajustada.

Manufactura esbelta es el nombre que recibe el sistema justo a tiempo en Occidente (Socconini, 2008). También se ha llamado manufactura esbelta o ágil, manufactura de clase mundial y Sistema de Producción Toyota.

La manufactura esbelta es una versión occidental de lo que propusieron los japoneses en el justo a tiempo, es en esencia la aplicación de un conjunto de herramientas que llevan a la empresa a la eliminación de todo tipo de desperdicio. Los principales desperdicios son: Inventarios excesivos, espera, sobreproducción, movimientos innecesarios, sobreprocesamientos, productos defectuosos y transportes innecesarios.

A continuación se describen los siete grandes tipos de pérdidas que ha identificado Toyota, el desperdicio que no añade valor en procesos de la empresa o de la producción. Estos tipos se pueden aplicar al desarrollo de producto, a la generación de órdenes, válidos también en la oficina y no solo en las líneas de producción (Liker, 2004):

1. Sobreproducción: Es la producción de artículos para los que no hay pedido, se generan desperdicios tales como sobre-utilizar los recursos, almacenar el exceso de materiales y generar costos de transporte por exceso de inventario.

2. Espera (tiempo de inactividad): Generado cuando se desaprovechan los operarios haciéndoles vigilar máquinas automáticas, o dando vueltas esperando el siguiente proceso, la siguiente herramienta, el siguiente proveedor, la siguiente pieza, etcétera, o simplemente sin poder trabajar por falta de material, retrasos en el proceso de lotes, parada de equipos y cuellos de botella.

3. Transportes innecesarios: Tiene lugar cuando se desplaza el producto en proceso (WIP, por sus siglas en inglés) en largos recorridos, lo que crea ineficiencias del transporte, movimientos de materiales, piezas, artículos acabados a un (o desde un) almacén, o entre procesos.

4. Sobreprocesar o procesar incorrectamente: Ocurre como consecuencia de la realización de pasos innecesarios para procesar las piezas. Cuando se procesa ineficientemente debido a herramientas defectuosas o al diseño del producto, lo que causa movimientos innecesarios y produce defectos. También se genera desperdicio cuando se producen productos de una calidad más elevada de la requerida.

5. Exceso de Inventario: El exceso de materia prima, de piezas en proceso o piezas acabadas que causan tiempos de proceso más largos, obsolescencias, daños en los artículos, en costos de transporte e inventario y retrasos. Además, el exceso de inventario esconde otros problemas como producciones no equilibradas, retrasos en las entregas de los proveedores, defectos, paros en los equipos y largos tiempos de preparación de las máquinas.

6. Movimientos innecesarios: Cualquier movimiento inútil de los operarios mientras trabajan, como mirar, alcanzar, apilar piezas, herramientas, etcétera. También el caminar se considera desperdicio.

7. Defectos: La producción de piezas defectuosas o por retocar. Las reparaciones por trabajos, chatarra, sustituciones e inspecciones que signifiquen desperdicio por movimiento, tiempo y esfuerzo. Liker (2004) hace mención a un octavo desperdicio adicional a los siete mencionados anteriormente.

8. Creatividad de los empleados no utilizada: Se pierde tiempo, ideas, aptitudes, mejoras y se desperdician oportunidades de aprendizaje por no motivar o escuchar a los empleados. De acuerdo con Villaseñor y Galindo (2007), los desperdicios que más se presentan en un proceso de fabricación son transporte, inventario y esperas con porcentajes de desperdicio de 20% en transporte, 20% en inventario y 15% en espera como se observa en la Figura

2.1.

Valor agregado	7 desperdicios 95%
5%	95%
10%	Sobreproducción
15%	Espera
20%	Transporte
10%	Sobrepcesamiento
20%	Inventario
10%	Movimiento
10%	Retrabajo

Figura 2.1 Distribución de los desperdicios en porcentaje.
Fuente: Villaseñor (2007)

III. METODOLOGÍA

El sistema que se representa es de eventos discretos, su estado cambia minuto a minuto a medida que se terminan de producir los lotes de los diferentes modelos en las células de producción donde fueron programados, detonando la necesidad de surtir nuevamente materiales de los distintos almacenes para la producción del siguiente lote programado de acuerdo con la caja heijunka. Este sistema se puede representar en una hoja de Excel y mediante simulación Monte Carlo encontrar un buen desempeño.

Se propone combinar el método de simulación Monte Carlo y la heurística propuesta por Jiménez (2013), la cual se describe más adelante. Se utilizó Excel como herramienta para la modelación del problema y para llevar el control de los resultados arrojados por el modelo.

Con relación al método de simulación Monte Carlo, se utilizó el procedimiento simplificado propuesto por Barrera (2010), que se describe a continuación:

Paso 1. Identificación del sistema complejo.

Paso 2. Identificación de las variables aleatorias para la toma de decisiones.

Paso 3. Identificación del espacio de muestro de la variable aleatoria.

Paso 4. Recolección de datos de la variable aleatoria.

Paso 5. Identificación de la función de probabilidad o construcción del cuadro de frecuencias absolutas o relativas.

Paso 6. Construcción de la función de probabilidad acumulada.

Paso 7. Determinación o construcción del cuadro de la transformada inversa de la función de probabilidad acumulada.

Paso 8. Generación de un número aleatorio.

Paso 9. Simulación de un valor aleatorio específico de la variable aleatoria mediante el cálculo con la sustitución del número aleatorio en la transformada inversa de la función de probabilidad acumulada o con la asignación del mismo en el cuadro de la función de probabilidad acumulada.

3.1 HEURÍSTICA DE SURTIMIENTO DE MATERIALES

Para definir la forma en que los rutereros entregaran los materiales, se utilizó la heurística propuesta por Jiménez (2013), la cual se describe mediante los siguientes 16 pasos:

Paso 0: Diseñar una hoja de Excel que permita representar los siguientes eventos: tiempos de entrega materiales, tiempos de producción de cada uno de los modelos TPkl (tiempo de producción del lote de productos del modelo k en la célula l), el tiempo de cambio de modelo en la célula l (TCDML), estatus de las células (en producción o cambio de modelo), estatus de los rutereros (en espera o en surtimiento) y tipo de material a surtir por cada ruterero. Para ello se debe considerar los pasos 1 al 9 de la metodología descrita en el apartado anterior y los 16 pasos de la heurística que se enlistan a continuación.

Paso 1: Definir las cantidades a producir de cada modelo en las diferentes células de producción, los TPkl, los TCDML, y la secuencia de producción de cada modelo en la caja heijunka.

Paso 2: Definir los tiempos de surtimiento de materiales desde cada almacén, hacia cada una de las células de producción. Aplicar el método de la transformada inversa para generar esta variable aleatoria, a partir del segundo lote de productos programado.

Paso 3: Suponer que ya se tienen todos los materiales para correr el primer modelo programado de la caja heijunka.

Paso 4: Iniciar el reloj en cero y realizar incrementos de un minuto. Parar el reloj hasta que se produzca el último lote programado en la caja heijunka.

Paso 5: Producir el primer modelo programado de cada célula cuya duración será igual a su respectivo TPkl.

Paso 6: Verificar los TPkl desde la célula l=1, hasta la célula L=20 y determinar cuál inicia su tiempo de cambio de modelo. Cuando el reloj de la simulación=TPkl, iniciar el primer cambio de modelo que dura un tiempo de TCDML. Los sucesivos TCDML dependen del reloj de simulación y sus respectivos TPkl. Si no hay células que requieran surtimiento de materiales, incrementar el reloj en un minuto hasta que se tenga al menos una célula en el estatus TCDML.

Paso 7: Cuando se inicie el cambio de modelo comenzar el surtimiento de materiales, siempre y cuando haya ruterero disponible. Tomar como criterio el primer ruterero en desocuparse, primero en ser asignado, si todos están libres asignar primero el R1 (ruterero1), enseguida R2 (ruterero 2) y finalmente R3 (ruterero 3). Entregar siempre primero maquinados y después plásticos.

Paso 8: Para la primera célula l que inicia cambio de modelo, asignar R1 para entregar maquinados y asignar R2 a entregar plásticos a la misma célula l.

Paso 9: Activar estatus de Ruterero, definir tiempo de inicio de surtimiento, el material que está surtiendo, tiempo de surtimiento y tiempo en que termino de surtir el material.

Paso 10: Después de cada surtimiento determinar si se presentaron pérdidas por falta de surtimiento en los casos donde el tiempo en el que el ruterero terminó de surtir materiales, superó el tiempo del cambio de modelo y registrar el tiempo en espera por falta de surtimiento (PFSkl).

Paso 11: Identificar el estatus de cada ruterero y asignar al primero en desocuparse a la célula que se encuentre en el estatus de TCDML con el valor más pequeño, es decir, aquella

que lleve más tiempo esperando a que la surtan de materiales. El barrido para identificar a la célula esperando por materiales se hará de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. Paso 12: Repetir los pasos 9 al 11 hasta que se terminen de producir todos los modelos planeados. Registrar el tiempo final en que se terminó de producir el último lote planeado en cada célula l (TTI).

Paso 13: Determinar las pérdidas totales por falta de surtimiento en cada una de las células mediante la siguiente ecuación: porcentaje de pérdidas por falta de surtimiento en célula $PFSTI = (\sum PFSKl / TTI) \times 100\%$.

Paso 14: Si existen más pedidos pendientes por producir incrementar el reloj en un minuto, sino, terminar la simulación.

Paso 15: Calcular el promedio global de pérdidas por falta de surtimiento mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ global de pérdidas por falta de surtimiento} = \frac{\sum_{l=1}^{20} PFSTI}{\text{número de células activas}}$$

Paso 16: Definir la ruta de entrega de materiales de cada rutero.

En la Figura 3.1, se presenta un diagrama de flujo que resume la heurística.

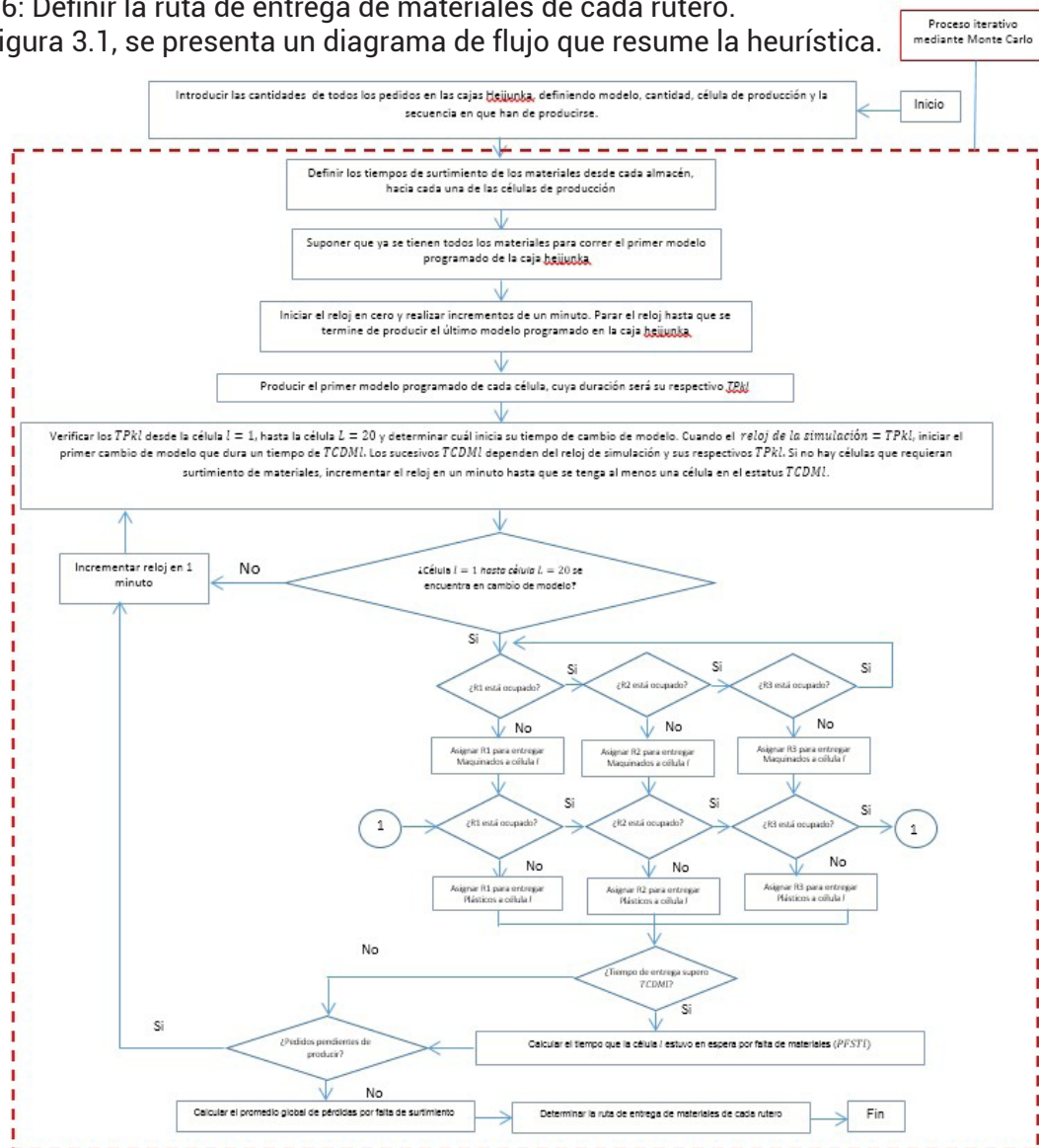


Figura 3.1 Diagrama de flujo de la heurística propuesta. Fuente: Jiménez (2013).

IV. RESULTADOS

Se implementó la heurística propuesta por Jiménez (2013) y se aplicó la metodología de nueve pasos de la simulación Monte Carlo. Las variables aleatorias que se generaron fueron la cantidad de piezas a producir (variable discreta) y el tiempo de cambio de modelo (variable de tipo continua, con distribución de probabilidad uniforme).

Paso 0: Se diseñó una hoja de Excel exclusivamente para representar todos los eventos posibles del sistema de surtimiento de materiales descrito.

Paso 1: En primer lugar se presenta la caja heijunka. En esta caja se planea la producción de tres lotes de diferente tamaño (los tamaños de lote más comunes) y diferente modelo en cada una de las células de producción como se muestra en la Tabla 4.1. Esta tabla corresponde a un escenario y se usa para explicar la metodología, sin embargo, sus valores pueden cambiar en relación a la cantidad de piezas a producir y los tiempos de cambio de modelo. La información contenida en la tabla es la siguiente: En la columna 1 se tiene la célula de producción. En la planta donde se realizó el análisis se tienen 20 células de producción, sin embargo, cuando se realizó la investigación solo 17 estaban activas. En la columna dos se presenta el número de parte o modelo, el cual fue modificado por cuestiones de confidencialidad. En la columna 3 se presenta la cantidad de piezas programadas para cada uno de los modelos. En la columna 4 se presenta el tiempo ciclo promedio para la familia de productos que se elaboran en esa célula. En la columna 5 se presenta el tiempo de producción que depende del tamaño de lote y el tiempo ciclo de la célula. En la columna 6 se presenta el orden o secuencia en que ha de producirse cada uno de los modelos. Finalmente en la columna 7 se presentan los tiempos de cambio de modelo de cada una de las células.

Tabla 4.1 Tabla Heijunka.

CELULA	MODELO	CANTIDAD (piezas)	TCl (seg)	TPkl (min)	SECUENCIA	TCDMI (min)
1	16	99	34.3	57.00	1	25
1	17	45		26	2	25
1	18	99		57	3	25
2	20	81	30.4	41	1	28
2	21	81		41	2	28
2	22	48		24	3	28
3	89	104	34.3	59	1	21
3	90	40		23	2	21
3	91	104		59	3	21
4	209	90	40.2	60	1	26
4	210	90		60	2	26
4	211	84		56	3	26
5	315	81	40.2	54	1	20
5	316	90		60	2	20
5	317	90		60	3	20
6	329	90	34.3	51	1	27
6	330	90		51	2	27
6	331	45		26	3	27
7	84	70	34.3	40	1	21

7	85	60		34	2	21
7	86	70		40	3	21
8	129	64	34.3	37	1	20
8	130	64		37	2	20
8	131	64		37	3	20
9	37	72	34.4	41	1	28
9	38	72		41	2	28
9	39	40		23	3	28
10	74	110	34.4	63	1	21
10	75	110		63	2	21
10	76	110		63	3	21
11	113	66	40.2	44	1	36
11	114	54		36	2	36
11	115	66		44	3	36
12	66	49	30.4	25	1	24
12	68	49		25	2	24
12	69	49		25	3	24
13	67	49	22	18	1	28
13	70	49		18	2	28
13	73	49		18	3	28
14	43	54	40.2	36	1	25
14	44	45		30	2	25
14	45	54		36	3	25
15	205	50	40.2	34	1	66
15	206	48		32	2	66
15	207	50		34	3	66
16	51	48	40.2	32	1	22
16	52	48		32	2	22
16	53	48		32	3	22
17	55	48	40.2	32	1	30
17	56	48		32	2	30
17	57	48		32	3	30

Se realizó una pequeña modificación en la columna 5 (TPk) consistente en el redondeo del tiempo de producción del lote del modelo k en la célula l, con la finalidad de facilitar la aplicación del método Monte Carlo simplificando los cálculos.

Paso 2: En la Tabla 4.2 se presentan los tiempos de surtimiento de materiales, desde los almacenes de maquinados y plásticos hacia cada una de las células de producción. En la tabla se presentan sólo los tiempos promedio, se recomienda generarlos mediante el método de la transformada inversa.

Tabla 4.2 Tiempos de surtimiento.

Almacén	CÉLULA (Tiempos en minutos)																
	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	17	19	20
Maquinados	8	7	9	7	7	5	6	8	9	6	5	5	4	5	6	7	6
Plásticos	6	5	6	5	5	4	4	6	7	4	4	4	3	4	4	5	5

Paso 3: El paso tres es muy importante, ya que representa el estado estable del sistema. El estado estable se logra cuando todas las células de producción ya iniciaron la producción del su primer lote y a partir de ese momento estarán produciendo, haciendo cambios de modelo o esperando cuando no tengan materiales. Por esta razón se estableció el supuesto de que para el primer lote de los modelos programados, ya se contaba con los materiales.

Paso 4: Para facilitar los cálculos, la hoja de Excel, se diseñó de manera que represente la metodología de solución mediante simulación Monte Carlo. En esta hoja de Excel se programaron todos los posibles estados del sistema conforme transcurre cada minuto. La escala se definió en minutos para facilitar todos los cálculos.

Paso 5 y 6: La Figura 4.1 muestra los tiempos TPKl para el primer lote programado en la caja heijunka de cada célula (en color verde) y su primer cambio de modelo (TCDMI, en color amarillo). Este evento se enmarco en color rojo para distinguirlos.

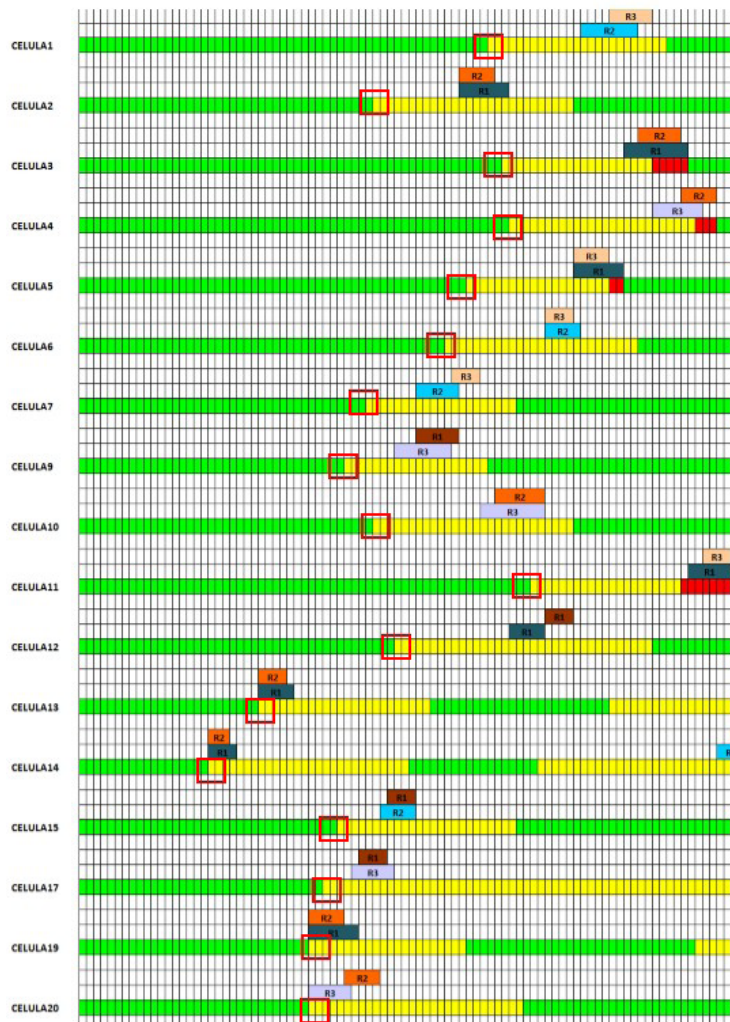


Figura 4.1 Primer lote producido y primer cambio de modelo.

Paso 7 y 8: En la Figura 4.2 se puede observar la aplicación de estos pasos, donde la primera célula que requiere materiales es la C14, por lo que es programado el rutero 1 para entregar maquinados y el rutero 2 para entregar plásticos. Este surtimiento simultáneo es posible porque se hace con dos ruterros distintos. De acuerdo a la escala utilizada, se puede observar que el tiempo que el rutero 1 emplea para surtir maquinados es de 4 minutos y el tiempo empleado por el rutero dos para surtir plásticos es de 3 minutos. Como se puede observar el tiempo en surtir materiales lo terminan de hacer mucho antes que se termine el cambio de modelo, por lo que la célula de producción al terminar dicho cambio de modelo estará en la posibilidad de comenzar la producción del modelo programado, sin incurrir en pérdidas por falta de surtimiento.

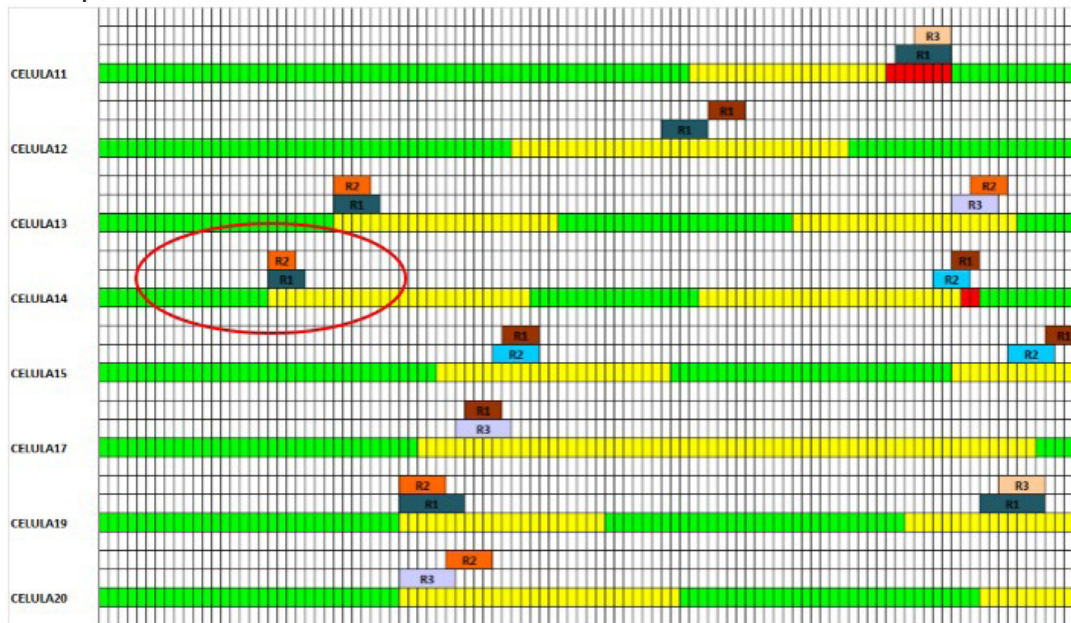


Figura 4.2 Surtimiento de materiales a la primera célula que lo requiere.

Paso 9: El estatus de surtimiento se definió mediante el siguiente código de colores. Para las células, verde significa que la célula se encuentra en producción, amarillo que se encuentra en cambio de modelo, rojo se encuentra en espera debido a que ya se terminó el cambio de modelo y aún no le han terminado de surtir. Para los ruterros Agua marina (oscuro 50%) significa rutero 1 surte maquinados; Agua marina (claro 40%) significa rutero 2 surte maquinados y blanco (oscuro 25%) significa rutero 3 surte maquinados. Con respecto al surtimiento de plásticos se definió el color anaranjado (oscuro 50%) cuando el rutero 1 surte plásticos, el color anaranjado (oscuro 25%) para cuando el rutero 2 surte plásticos y el color anaranjado (claro 40%), cuando el rutero 3 surte plásticos, como se observa en la Figuras 4.3, 4.4 y 4.5.

PRODUCCIÓN		RUTERO		MAQUINADOS	
CAMBIO DE MODELO		R1		PLÁSTICOS	
PÉRDIDAS POR FALTA DE SURTIMIENTO		R2			
		R3			

Figura 4.3 Código de colores para definir estatus de células y ruterros.


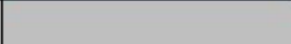
Nombre del color	Apariencia del color	Significado
Agua Marina, oscuro 50%		Rutero 1, surtiendo maquinados
Agua Marina, claro 40%		Rutero 2, surtiendo maquinados
Blanco, oscuro 25%		Rutero 3, surtiendo maquinados

Figura 4.4 Código de colores para definir las actividades de surtimiento de maquinados.

Nombre del color	Apariencia del color	Significado
Anaranjado, oscuro 50%		Rutero 1, surtiendo plásticos
Anaranjado, oscuro 25%		Rutero 2, surtiendo plásticos
Anaranjado, claro 40%		Rutero 3, surtiendo plásticos

Figura 4.5 Código de colores para definir las actividades de surtimiento de plásticos.

Paso 10: Las pérdidas por falta de surtimiento se presentan cuando la entrega de materiales ya sea por plásticos o maquinados termina después del cambio de modelo. Por ejemplo, este efecto se puede ver en la figura 4.6, donde el tiempo final de surtimiento del rutero 1 y 3 es igual a 181 minutos, mientras que la célula 11 terminó su cambio de modelo en el minuto 174, por lo que se tienen 7 minutos en pérdidas por falta de surtimiento en dicha célula, identificado en color rojo.



Figura 4.6 Identificación de pérdidas por falta de surtimiento en una célula.

Paso 11: En el paso once, se efectúa un barrido, donde se compara el tiempo donde el rutero j está desocupado y se asigna a la primera célula que requiera servicio de surtimiento. El barrido se hace de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, como se observa en la Figura 4.7. En este caso la primera célula en requerir servicio de surtimiento es la C14 (al final del minuto 18), posteriormente la célula C13 (al final del minuto 25), después, la célula C19 y la célula C20 (ambas después del minuto 32), sin embargo se atiende primero a la C19 y después a la C20 debido a la forma en que se hace el barrido.

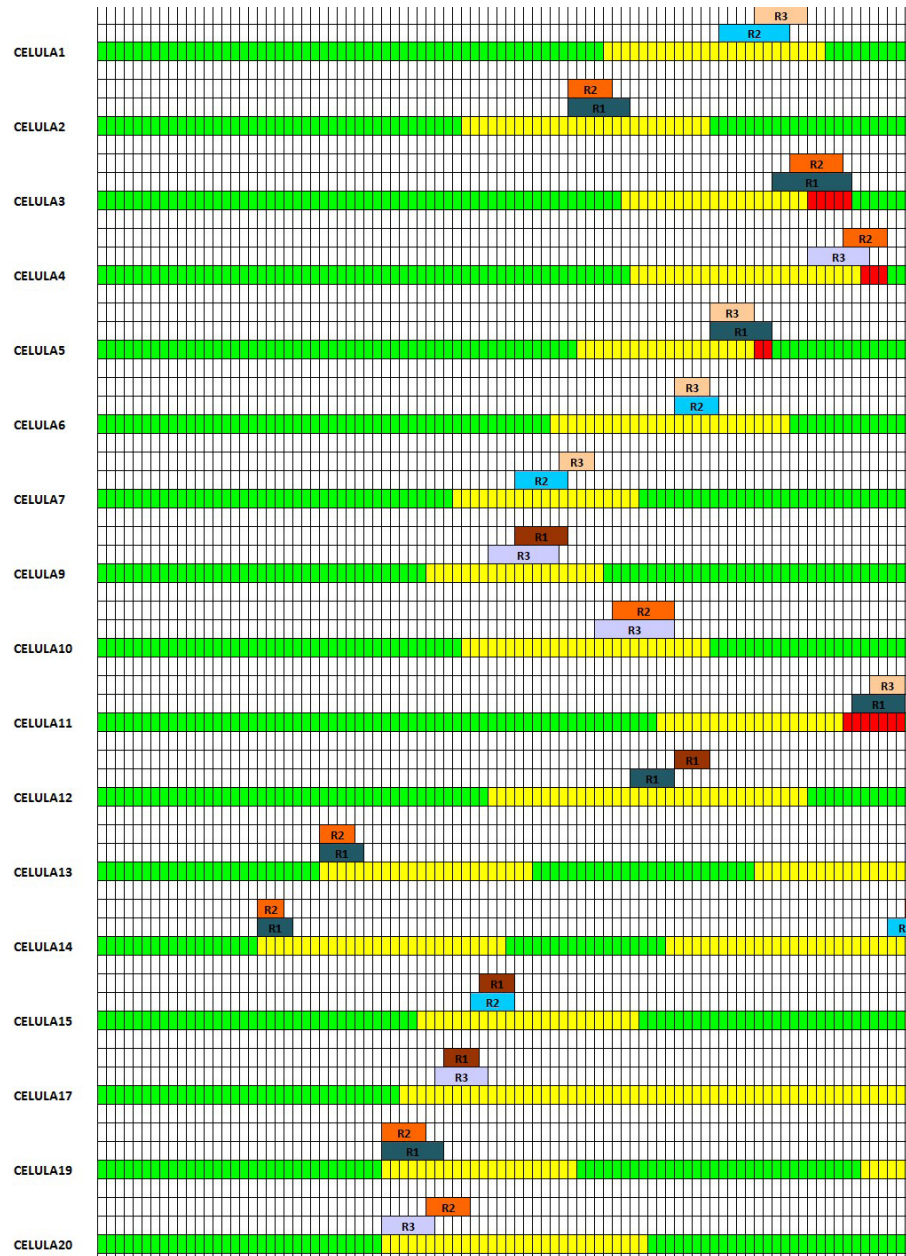


Figura 4.7 Ejemplificación del surtimiento de materiales a las células mediante una técnica de barrido.

Paso 12: Se repiten los pasos del 9 al 11 hasta realizar todas las asignaciones de manera que sean surtidas todas las células para poder producir todos los modelos programados en la caja heijunka. Los resultados se observan en la Figura 4.8, donde aprecia una fracción pequeña de la solución, mediante una ventana. Se utilizó una hoja de Excel para llevar el control del estado del sistema cada minuto, y poder analizar el desempeño de las células y de los ruterros al realizar los surtimientos.

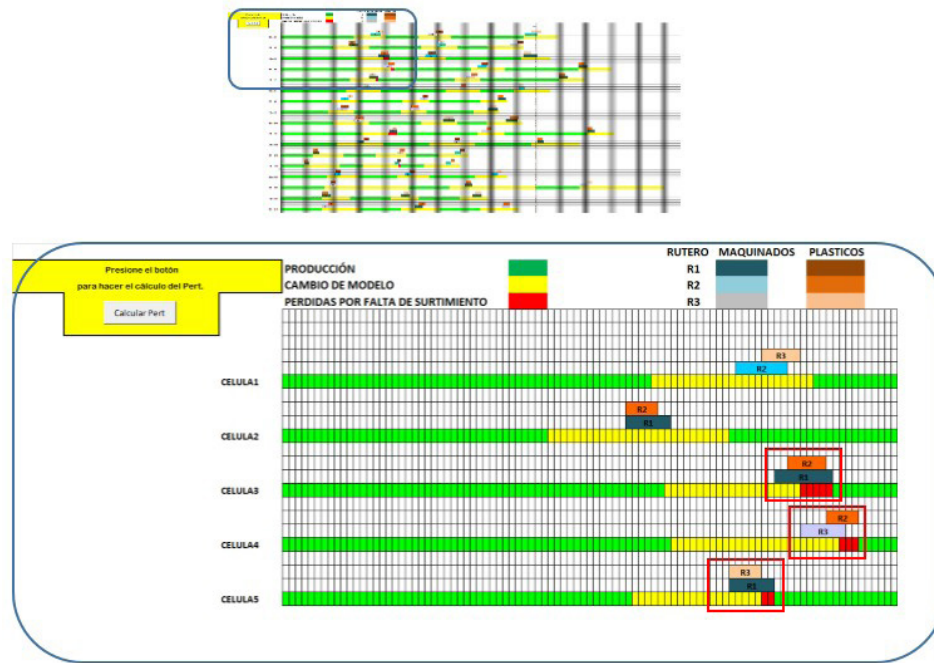


Figura 4.8 Resultado final del algoritmo en forma de diagrama de PERT.

Paso 13: Para la programación que se ejecutó de la caja heijunka de la Tabla 4.1 mostrada anteriormente, se calcularon los siguientes porcentajes:

$$PFST3 = (5 / 209) \times 100\% = 2.39\%;$$

A manera de explicación, PFST3 significa pérdidas por falta de surtimiento en la célula 3. Su cálculo se realizó de la siguiente manera: se sumó en primer lugar todos los minutos que la célula estuvo detenida por falta de materiales y posteriormente se dividió entre el tiempo que tardó la célula en terminar todos los modelos programados. En este caso tardó 209 minutos. El resultado se multiplicó por 100% para expresarlo en porcentajes. El resto de los cálculos para las células que presentaron pérdidas por falta de surtimiento se realizó de la misma manera (células 4, 5, 11 y 14). Estos porcentajes pueden cambiar dependiendo de la cantidad de piezas que se programen de cada modelo, en este capítulo se presentó el resultado solamente de un escenario, sin embargo, se pueden correr la cantidad de escenarios que se desee.

$$PFST4 = (3 / 257) \times 100\% = 1.17\%;$$

$$PFST5 = (2 / 236) \times 100\% = 0.85\%;$$

$$PFST11 = (7 / 259) \times 100\% = 2.7\%;$$

$$PFST14 = (2 / 140) \times 100\% = 1.43\%;$$

El resto de las células, no sufrieron pérdidas por falta de surtimiento.

Paso 14: Continuar avanzando minuto a minuto y actualizar el estado del sistema de cada célula y cada ruter. Si ya no hay más pedidos programados entonces se detiene el algoritmo y continuamos con el paso 15.

Paso 15: Las pérdidas por falta de surtimiento de manera global para este programa de producción fueron de 0.50%.

$$\% \text{ global de pérdidas por falta de surtimiento} = (2.39\% + 1.17\% + 0.85\% + 2.7\% + 1.43\%) = 0.50\%$$

17

Paso 16: A continuación se presenta la ruta de surtimiento de cada uno de los ruter. de acuerdo a los resultados arrojados por la heurística, resumidos en la Tabla 4.3. El surtimiento debe de hacerse de arriba hacia abajo.

Rutero 1			Rutero 2			Rutero 3		
Material a surtir	Célula	Minuto de inicio de sur-timiento	Material a surtir	Célula	Minuto de inicio de sur-timiento	Material a surtir	Célula	Minuto de inicio de sur-timiento
Maquina-dos	C14	19	Plásticos	C14	19	Maquina-dos	C20	33
Maquina-dos	C13	26	Plásticos	C13	26	Maquina-dos	C17	39
Maquina-dos	C19	33	Plásticos	C19	33	Maquina-dos	C9	45
Plásticos	C17	40	Plásticos	C20	38	Plásticos	C10	53
Plásticos	C15	44	Maquina-dos	C15	43	Maquina-dos	C6	57
Plásticos	C9	48	Maquina-dos	C7	48	Plásticos	C5	66
Plásticos	C2	54	Plásticos	C2	54	Plásticos	C1	70
Maquina-dos	C12	61	Plásticos	C10	59	Plásticos	C4	75
Plásticos	C12	66	Maquina-dos	C6	66	Maquina-do	C11	81
Plásticos	C5	70	Maquina-dos	C1	71	Plásticos	C13	88
Plásticos	C3	77	Plásticos	C3	79	Maquina-do	C19	92
Maquina-dos	C11	86	Plásticos	C4	85	Plásticos	C9	97
Maquina-dos	C14	92	Maquina-do	C14	90	Maquina-dos	C7	102
Maquina-dos	C19	95	Plásticos	C13	94	Maquina-dos	C1	110
Plásticos	C15	102	Maquina-do	C15	98	Plásticos	C2	116
Maquina-dos	C20	106	Plásticos	C9	103	Plásticos	C10	124
Plásticos	C7	112	Plásticos	C20	109	Maquina-dos	C12	129
Maquina-dos	C3	116	Maquina-dos	C3	114	Maquina-dos	C6	136
Plásticos	C1	122	Maquina-dos	C2	123	Plásticos	C5	141
Plásticos	C10	128	Maquina-dos	C14	130	Maquina-do	C19	146
Plásticos	C12	137	Plásticos	C14	134	Plásticos	C11	153
Maquina-dos	C13	141	Maquina-dos	C13	137	Maquina-do	C9	158
Plásticos	C17	145	Plásticos	C6	142	Plásticos	C15	164
Plásticos	C19	151	Plásticos	C17	146	Maquina-dos	C20	170

Maquina- do	C4	158	Plásticos	C5	150	Plásticos	C2	174
Maquina- do	C9	163	Maquina- do	C4	155	Plásticos	C6	180
Maquina- do	C7	171	Plásticos	C11	162	Maquina- dos	C3	187
Plásticos	C10	177	Maquina- dos	C15	166	Plásticos	C1	191
Maquina- do	C2	186	Plásticos	C7	171			
Maquina- do	C3	191	Plásticos	C20	175			
Maquina- do	C12	200	Plásticos	C10	180			
Plásticos	C5	217	Maquina- do	C6	187			
Maquina- dos	C4	232	Maquina- do	C1	192			
Maquina- dos	C11	239	Plásticos	C12	200			
			Plásticos	C5	217			
			Plásticos	C4	232			
			Plásticos	C11	239			

V. CONCLUSIONES

Se ha diseñado una heurística que permite definir rutas de entrega de materiales. Esta heurística se aplicó al caso concreto de una empresa dedicada a la producción de flechas de velocidad constante. Sin embargo, su aplicación se puede extender a diferentes sistemas de producción discretos que operan bajo los principios de manufactura esbelta, apoyado en el sistema de flujo de materiales, donde se intenta tener la menor cantidad de material en proceso y al mismo tiempo afectar lo menos posible a las células de producción en las esperas por falta de surtimiento de materiales.

Se logró establecer una ruta de entrega de materiales para cada uno de los ruterros, especificando los materiales que deben ser transportados, el ruterro que debe entregarlo, la célula de producción donde hay que entregar, el orden en que debe de hacerlo y el justo momento en que deben de iniciar con la entrega. De esta manera el ruterro contará con una hoja de ruta de entrega de materiales y conocerá con anticipación los materiales que ha de transportar y la célula a la que habrá de entregarlos así como el momento en que debe iniciar dicha entrega.

El problema fue resuelto para el caso concreto de la caja heijunka de la Tabla 4.1, sin embargo, la heurística está diseñada de manera que permite ejecutar cualquier programa de producción registrado en la caja heijunka, simplemente hay que actualizar las cantidades a producir de cada uno de los modelos en las diferentes células de producción.

Se logró reducir las pérdidas por falta de surtimiento a una cantidad menor a la solicitada por la empresa, cuyo objetivo es de 1% y se redujo hasta 0.50% en promedio por célula. Cabe aclarar que este porcentaje podría cambiar dependiendo del programa de producción que se ejecute, pero estará cercano al 1%.

Por lo anteriormente mencionado, se concluye que es de gran utilidad la aplicación de la

heurística propuesta en combinación con el método de simulación Monte Carlo, ya que se tiene una solución en cuestión de segundos lo cual representa una gran ventaja con respecto a los métodos óptimos donde el tiempo de solución puede ser muy extenso e impráctico. Aunque no se encontró la mejor solución posible mediante la aplicación de la heurística y simulación Monte Carlo, se facilita en gran medida la interpretación de los resultados y su implementación en el sistema real.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CONCyTEG por el apoyo otorgado a través del Programa Jóvenes Investigadores 2015, Convenio 107/2015 ITC.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azofeifa, C. E. (2004). Aplicación de la Simulación Monte Carlo en el cálculo del riesgo usando Excel. *Tecnología en Marcha*, 17(1), 97-109.
- Barrera, V. Á. R., & Nieves, Á. E. R. (2010). "Aplicación de simulación Montecarlo en un sistema de inventarios dinámico". *Administración y organizaciones*. p. 65-79.
- Eckstein, J., & Riedmueller, S. T. (2002). YASAI: Yet another add-in for teaching elementary Monte Carlo simulation in Excel. *Informations Transactions On Education*, 2(2), 12-26.
- Faulín, J., & Juan, Á. A. (2005). Simulación de Monte Carlo con Excel.
- Gutiérrez Pulido, H. (2005). *Calidad total y productividad*. México, editorial McGraw-Hill/ Interamericana.
- Hüttmeir, A., de Treville, S., van Ackere, A., Monnier, L., & Prenninger, J. (2009). Trading off between heijunka and just-in-sequence. *International Journal of Production Economics*, 118(2), 501-507.
- Jiménez, J.A. (2013). Análisis de las pérdidas por falta de surtimiento mediante heurísticas y métodos de optimización (Tesis doctoral inédita). Centro de Innovación aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC), León Guanajuato, México.
- Liker, J. K. (2000). *Las claves del éxito de Toyota*. Gestión.
- López, J.C. (2008). *Guía básica para la simulación Monte Carlo*. (1ra ed.). España: Grupo editorial AENOR.
- Muñoz, A. D. (2007). *Metaheurísticas* (Vol. 22). Librería-Editorial Dykinson.
- RAE. "Diccionario de la lengua española". (2003) ESPASA-CALPE.
- Shah R y Ward PT. Marzo (2003). "Lean manufacturing: context, practice bundles and performance". *Journal of operations management*. Vol. 21 No. 2, p. 129-149. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0).
- Socconini L. (2008) "Lean Manufacturing paso a paso". Editorial Norma, México.
- Vanalle, R. M., Lucato, W. C., Vieira Júnior, M., & D Sato, I. (2012). Uso de la simulación Monte Carlo para la toma de decisiones en una línea de montaje de una fábrica. *Información tecnológica*, 23(4), 33-44.
- Villaseñor A y Galindo E. (2007). "Manual de Lean Manufacturing". 1ra ed. México: Limusa.
- Womack J, Jones D, & Roos D. (1992). "La máquina que cambio el mundo" 1ra ed. España: McGraw-Hill.

CAPÍTULO 9

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL RFID Y OTRAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN INALÁMBRICAS APLICABLES AL CONTROL DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA.

R. Hernández^a, J. Valencia^{a,b*}, J. Canto^a.

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México^a.

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España^b.

*^b autor de correspondencia: javier.valencia@correo.uady.mx

RESUMEN

En este capítulo se presenta una comparativa entre las diferentes tecnologías de información inalámbricas existentes para el control de la gestión logística y el RFID –tecnología ampliamente difundida–. Las tecnologías a comparar con el RFID mediante las técnicas de benchmarking y de matriz FODA son: La banda ultra ancha, el Wi Fi y el GPS. Se concluye discutiendo cuáles tecnologías resultan más propicias para el control logístico.

Palabras clave: RFID; tecnologías de información aplicables a logística, análisis comparativo.

ABSTRACT

In this chapter a comparison between the RFID –a widespread technology– and different wireless information technologies available for the control of logistics operations is presented. The technologies compared through benchmarking and SWOT matrix techniques are: Ultra broadband, Wi Fi and GPS. We conclude by discussing what technologies are most favorable for the logistic control.

Keywords: RFID; information technologies applied to logistics; comparative analysis.

I. INTRODUCCIÓN

La Identificación por Radio Frecuencia (RFID), ilustrada en la figura 1, es una tecnología de identificación automática de dos vías que se da entre antenas, tags (elementos compuestos por un chip y una pequeña antena) y un lector (o middleware), lo anterior a través de ondas de radio. Esta tecnología tiene la particularidad de no requerir ni de contacto ni de línea de visión con el elemento a identificar (Runxian, Ainai, & Yongsheng, 2005) por lo que en los últimos años ha acaparado la atención de múltiples investigadores en todo el mundo por las ventajas que ésta ofrece al sector logístico.

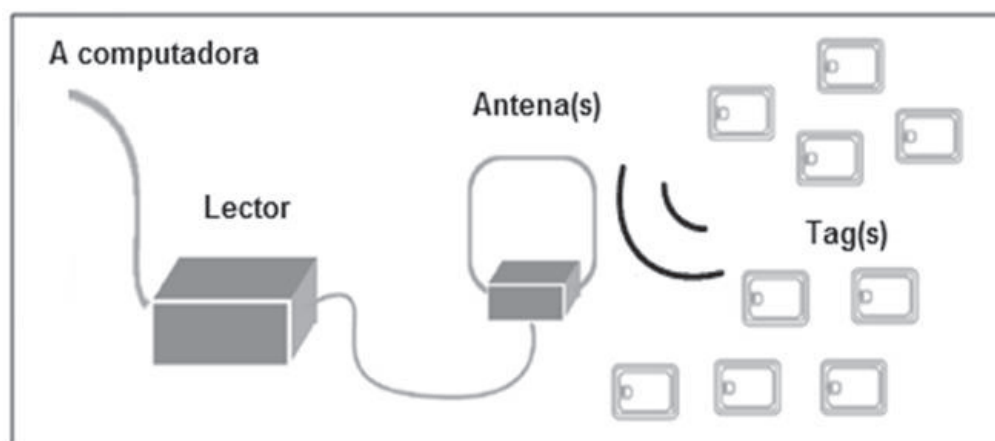


Fig. 1. La tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID).

Es debido a los diversos beneficios que la identificación por radiofrecuencia incorpora a las organizaciones que existen múltiples proyectos de aplicación de esta tecnología en diferentes ámbitos. Ejemplos de diferentes casos de éxito presentes en la literatura incluyen áreas tan dispares como la construcción (Weisheng, Huang & Li, 2005), la identificación animal (Athanasios, Charalampos, Patrikakis, Sideridis, Ntafis, & Xylouri, 2010) y el proceso de transporte (Muñuzuri, Escudero, Rodríguez, & Rubia, 2012).

Particularmente, y de acuerdo con (Muñuzuri, Escudero, Rodríguez, & Rubia, 2012), la incorporación de la identificación por radiofrecuencia en la logística y el transporte puede generar diversos beneficios en múltiples aspectos tales como:

- 1) El control de inventarios.
- 2) La trazabilidad
- 3) La integración de la cadena de suministro.

De acuerdo con los mismos autores, debido a estas bondades la introducción del RFID en operaciones logísticas mantiene una importante tendencia de crecimiento. Más aún, hoy en día esta tecnología es una de las herramientas más valiosas con las que se cuenta para hacer más eficiente y productiva la gestión de la cadena de suministro.

Es por lo anterior que existen diferentes trabajos relacionados con la identificación por radiofrecuencia en el ámbito de la logística y la gestión de la cadena de suministro; Prasanna y M. Hemalatha (2012) estudiaron como esta tecnología resulta muy útil en la correcta gestión de la carga dentro de los camiones. Así mismo, otros autores tales como (Lee, & Chan, 2009) han estudiado el RFID como una herramienta para gestionar la logística inversa, y en (Yang, Yang, & Yang, 2011) se ha analizado la aplicación de este tipo de identificación en casos de logística humanitaria. Una revisión completa de las diversas aplicaciones del RFID en operaciones relacionadas con la cadena de suministro puede encontrarse en (Sarac, Absi, & Dauzère, 2010).

A pesar de que el RFID se está utilizando cada vez con mayor frecuencia, su aplicación presenta ciertas limitaciones (Zhu, Samar, & Kurata, 2012), siendo algunos de los desafíos más importantes de ésta tecnología, de acuerdo con lo indicado en (Wu, Nystrom, Lin, & Yu, 2006), los siguientes:

- 1) Los efectos que generan los diversos materiales a identificar en las antenas.
- 2) La colisión provocada por la radio transmisión simultánea.
- 3) La influencia que tiene en la recepción la orientación entre el tag y las antenas.

Es por lo anterior que surge la necesidad de realizar una investigación acerca de las ventajas y desventajas que el RFID ofrece si se compara con otras tecnologías de identificación

aplicables al control de las operaciones logísticas. Dicha investigación se presenta en el presente capítulo con el objetivo de ofrecer al lector una fuente de información que le facilite la toma de decisión en lo relativo a los diferentes tipos de tecnologías antes comentadas. Más aún, este trabajo procura establecer que tecnologías son aplicables al sector logístico y cuáles no.

II. MARCO TEÓRICO

Como parte de este trabajo primeramente se deberán definir cada una de las tecnologías a comparar, lo que se hace en el presente apartado.

2.1. EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS, POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

De acuerdo con (Rey, 2012) el GPS es un sistema de navegación compuesto de una flotilla de satélites puestos en órbita por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos y sus estaciones en tierra firme. Usando el GPS se puede determinar automáticamente la posición (latitud y longitud) de una persona u objeto en la Tierra. Así mismo, y de acuerdo con el mismo autor, el GPS surgió debido a la necesidad de las fuerzas armadas de tener un sistema de navegación preciso y que funcionara en aplicaciones diversas.

El GPS permite a un número ilimitado de usuarios calcular con gran precisión y de forma continua tres parámetros: i) Posición 3D. Coordenadas y altura del usuario, ii) Tiempo. Los satélites emiten información temporal en UTC (Universal Time Coordinated) y iii) Velocidad del móvil.

De acuerdo con (Hernández, 2014), el GPS ofrece dos servicios de posicionamiento: Estándar y de precisión, conocidos como SPS (Standard Positioning Service) y PPS (Precise Positioning Service). Las características del PPS son: i) Precisión de 10 m en el plano horizontal y 13.8 en el vertical, ii) Información temporal en UTC con una precisión de 100 nseg referenciada al observatorio de la marina estadounidense, iii) Velocidad calculada con un error 0.1 m/seg., iv) Sus usuarios principales son militares, agencias del gobierno de EE. UU. y civiles autorizados. El servicio SPS utiliza las señales degradadas del GPS y sus principales características son las siguientes: i) Disponible para cualquier usuario en cualquier parte del mundo, ii) No hay restricciones ni límite de uso, iii) Ofrece una precisión de 100 m en el plano horizontal y 156 m en altura, iv) Permite fijar el tiempo con un error de 340 nseg.

2.2. BLUETOOTH

El Bluetooth es un estándar abierto para conectividad inalámbrica con soporte para la mayoría de las PCs y teléfonos celulares y su mercado principal es la transferencia de voz y datos entre PCs y periféricos; esta tecnología utiliza la banda de 2.5GHz. Además de redes periféricas y sincronización de datos, también puede aplicarse en redes para aparatos electrodomésticos y de entretenimiento (Hernández, 2014).

El Bluetooth trabaja en un canal de comunicación de 720 kbps en un radio de acción de 10 metros; esto lo hace mediante el uso de una frecuencia que se haya entre los 2.4 y los 2.48 GHz. Además, esta tecnología presenta un bajo consumo energético (UDLA, s.f.).

2.3. WI FI

Dentro de las redes de área local inalámbrica sin lugar a dudas la que mayor renombre e importancia ha adquirido últimamente es el protocolo IEEE 802.11x, el cual define a una serie de estándares y es mejor conocido como Wi Fi (UDLA, s.f.). La gran flexibilidad del Wi

Fi (siglas de Wireless Fidelity) hace posible su aplicación a distancias de hasta 100 metros alrededor del “access point” y ofrece la posibilidad de formar redes de área local y ubicuidad entre “hot spots” adyacentes (UDLA, s.f.). Lo anterior, posibilita que también se pueda conocer la ubicación de un producto y/o persona si se cuentan con los equipos suficientes para lograr la triangulación.

2.4. BANDA ULTRA ANCHA

Es una tecnología que permite una mayor conectividad y una gran velocidad de comunicación, siendo lo anterior razón por la cual ofrece a los usuarios una gran opción para la navegación Web –sobre todo en lo que se refiere a contenido multimedia–. La banda ultra ancha se define como cualquier tecnología de radio que tenga un espectro que ocupe un ancho de banda mayor al 25% de la frecuencia central, o un ancho de banda mayor que 1.5Ghz (Hernández, 2014); es por lo anterior que esta tecnología se diferencia de tecnologías como el bluetooth, a la que se le considera como de banda estrecha.

De acuerdo con (Guevara, 2010), actualmente se está trabajando en mejorar esta tecnología para poder crear las llamadas redes inalámbricas de área personal lo que, a su vez, facilitaría la transmisión de la información y la ubicación de los productos en un área dada.

2.5. EL RFID

Al igual que el reconocimiento por Código de barras, el RFID se enlaza a sus objetivos con el fin de identificarlos pero a diferencia del código de barras, y tal como se comentara previamente, el RFID no necesita que los objetivos sean visibles para que puedan ser detectados y leídos (Igoe, 2012). Actualmente, bajo las siglas RFID se agrupan las tecnologías que sirven para identificar objetos mediante ondas de radio.

La identificación antes comentada puede llevarse a cabo a una distancia variable, desde pocos centímetros hasta varios kilómetros. La distancia de recepción, fiabilidad y velocidad de la transmisión y la capacidad de información emitida depende de varias características como pueden ser la frecuencia de la emisión, la capacidad de la antena o el tipo de chip que se use para cada aplicación específica (Agencia Española de protección de datos, 2010). También de acuerdo con (Agencia Española de protección de datos, 2010), el funcionamiento de esta tecnología se basa en la señal de radio que genera la etiqueta RFID, en la que previamente se han grabado los datos identificativos del objeto al que está adherida. Un lector físico se encarga de recibir esta señal, transformarla en datos y transmitir dicha información a la aplicación informática específica que gestiona el RFID, tal transformación la realiza un equipo denominado middleware.

Esta tecnología también presenta ciertas limitaciones que deben ser solventadas, entre las que se cuentan: i) Las ondas de radio se atenúan al pasar por ciertos medios (particularmente agua) y se reflejan al chocar con metales, lo cual reduce notablemente el radio de lectura, ii) Amortización de la inversión: Antes de implantar esta tecnología es necesario realizar un estudio detallado de las mejoras que el usuario requiere y, si es posible, calcular el ahorro que supone, iii) Los usuarios tienen que familiarizarse con la tecnología; aunque es muy sencilla y en general fiable, el RFID implica un cambio en la forma de trabajo (Ferroxcube International Holding B.V., 2007).

Todo sistema RFID se compone principalmente de cuatro elementos:

Una etiqueta RFID.

También llamada tag, esta etiqueta se inserta o adhiere en un objeto, animal o persona, portando información sobre el mismo. En este contexto, la palabra “objeto” se utiliza en su

más amplio sentido, pudiendo ser una tarjeta, una llave, un producto, entre otros muchos (Portillo, Bermejo, & Bernardos, 2008).

Un lector o interrogador.

Es el equipo responsable de transmitir la energía suficiente a la etiqueta y de leer los datos que ésta le envíe. Consta de un módulo de radiofrecuencia, una unidad de control y una antena. Estos lectores están equipados con interfaces estándar de comunicación que permiten enviar los datos recibidos de la etiqueta a un sistema de procesamiento (Portillo, Bermejo, & Bernardos, 2008).

Una computadora o controlador

Este equipo es el que gestiona la información recibida mediante RFID. La computadora recibe la información de uno o varios lectores y se la comunica al sistema de información, al mismo tiempo que puede transmitir órdenes al lector (Portillo, Bermejo, & Bernardos, 2008).

Sistema de procesamiento de datos o middleware.

Un middleware es necesario para recoger, filtrar y manejar los datos. El middleware puede servir de intermediario entre el lector y las aplicaciones empresariales al encargarse de filtrar los datos que recibe del lector, de forma que únicamente llegue al software la información útil (Hernández, 2014).

III. METODOLOGÍA

La metodología seguida para el contraste entre las diferentes tecnologías antes comentadas es la que se muestra en la figura 2, en ella se clarifica como primeramente se compararán las tecnologías mediante la técnica de benchmarking, posteriormente se concluirá a partir de tal comparación si las cinco son propicias para la gestión logística y una vez hecha está comparación se realizarán las matrices FODA correspondientes a cada una de las alternativas aún evaluables para determinar cuándo se debe apostar por cada una.

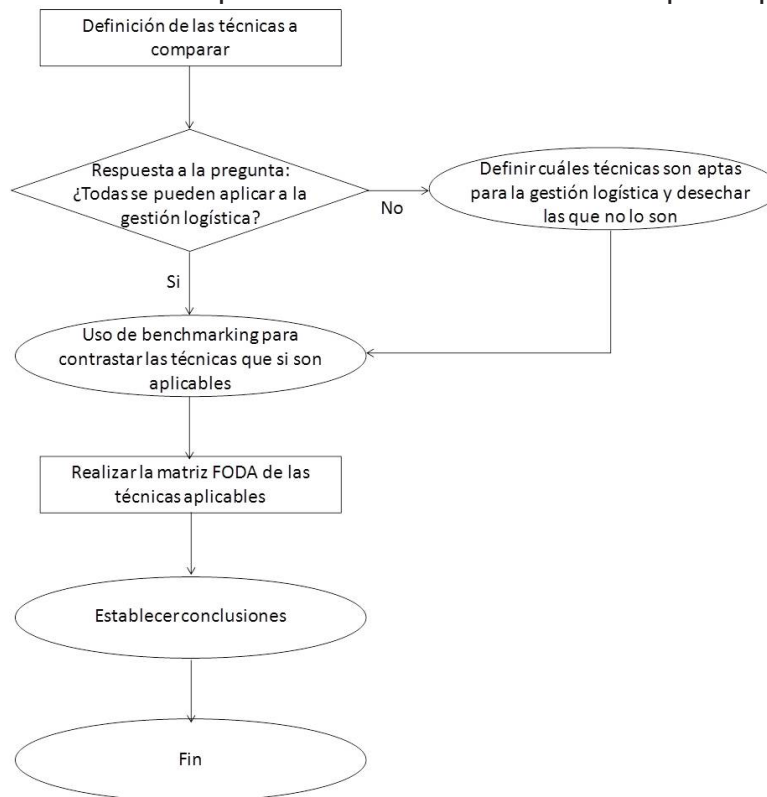


Fig. 2. La metodología seguida.

IV. RESULTADOS

De acuerdo con la metodología planteada en el apartado anterior, el primer resultado obtenido debería ser el benchmarking realizado a las diferentes tecnologías antes discutidas, tal análisis comparativo se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Cuadro comparativo de tecnologías disponibles.

	RFID Pasivo	RFID Activo	GPS	Bluetooth	Wi Fi	Banda ultra ancha
Operación en interiores	Si	Si	No	Si	Si	Si
Tamaño de Tags	3 mm - 5 cm	5 cm - 15 cm	5 cm - 15 cm	3 cm - 25 cm	3 cm - 10 cm	8 cm - 25 cm
Rango de lectura	0 m - 3 m	0 m - 30 m	0 m - 20,560 km	0 m - 10 m	0 - 10 m	0 - 10 m
Duración de baterías	N/A	Larga	Media	Media	Media	Media
Costo de infraestructura	Medio	Alto	Medio	Alto	Alto	Alto
Costo de mantenimiento	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Costo operativo	Bajo	Medio	Bajo	Alto	Medio	Alto
Frecuencias de operación	50 KHz - 2.5 GHz		1.5 GHz - 2.7 GHz	2.4 GHz - 2.483 GHz	2.4 GHz - 2.4835 GHz	3.1 GHz - 10.6 GHz
Permite transmisión masiva de datos	No	No	No	Si	Si	Si

Así mismo, y también de acuerdo con la metodología antes comentada, en este momento es pertinente plantearse si de acuerdo con los resultados de la tabla 1 todas las tecnologías discutidas –incluyendo la subclasificación del RFID en activo y pasivo– pueden ser utilizadas para el adecuado control de las operaciones logísticas.

En línea con lo anterior puede hacerse mención que dos importantes preceptos de la logística no fueron satisfechos por ciertas tecnologías: i) La posibilidad de controlar el flujo de productos a lo largo de toda la cadena de suministro y ii) Mantener los costos operativos al mínimo. En este sentido se tiene que si bien el GPS posee muchos beneficios no permite el control de los productos en interiores lo que resulta en un significativo problema para la gestión logística la cual en buena parte se lleva a cabo en ambientes cerrados como los centros de distribución; por otra parte, la banda ultra ancha y el bluetooth resultan costosas particularmente en lo que se refiere a la operación diaria, lo que dificulta su aplicación en la mayoría de los entornos logísticos donde mantener los costos al mínimo tiende a ser fundamental.

Es por lo anterior que tanto el GPS como la banda ultra ancha y el bluetooth difícilmente puedan ser consideradas como soluciones integrales para el control de la logística. Es por esto y siguiendo la metodología planteada que estas tecnologías no serán consideradas en la realización de las matrices FODA antes comentadas; dichas matrices servirán para concluir la valía de las tecnologías restantes para facilitar el control logístico a lo largo de la cadena de suministro.

De acuerdo con lo anterior, se muestra en las tablas 2 y 3 las matrices FODA correspon-

dientes a las tecnologías RFID y Wi Fi; dichas matrices se basaron en parte de (Hernández, 2014 y de Portillo, Bermejo, & Bernardos, 2008).

Tabla 2. Matriz FODA del RFID.

	FORTALEZAS (F)	DEBILIDADES (D)
	RFID	1) Tecnología ideal para lectura y captura de datos para identificar objetos.
2) No es necesario el contacto físico de la tarjeta con el lector ni línea de visión directa.		2) Falta de estandarización a nivel global, es decir, que todos los sistemas sean capaces de leer las mismas tarjetas.
3) Brinda comodidad y rapidez en la lectura.		3) Alto costo de la implementación, esto provoca que no todas las empresas puedan invertir en este tipo de tecnología.
4) Tecnología fiable y versátil.		4) Falta seguridad para evitar la lectura de datos de terceros no deseados.
5) Buen comportamiento en entornos agresivos tales como humedad, suciedad o lluvia.		5) La etiqueta puede ser leída a cierta distancia sin conocimiento del individuo que la porta.
6) La fiabilidad de la RFID es máxima, teniendo la menor tasa de error de todas las tecnologías de identificación.		6) Presenta fallas en transmisión recepción en contenedores metálicos y/o líquidos.
7) Mejora la eficiencia de los procesos y la productividad; la automatización reduce los errores humanos.		7) Las preocupaciones de los ciudadanos por la privacidad y la protección de datos.
	8) Manos libres en un proceso totalmente automatizado para conteo, seguimiento, trazabilidad y clasificación.	
	9) Mejora la captura de datos eliminando errores.	
	10) Facilita la gestión de activos y el manipulado de materiales, la trazabilidad y autenticación en la cadena de suministro.	
	11) Incrementa la rentabilidad.	
	12) Reduce los costos de operación, de producción y laborales.	
	13) Reduce la necesidad de inventario.	
	14) Aumenta el control de calidad.	
	15) Mejora el servicio al cliente.	
	16) Mejora la información a la gestión y a los clientes.	
	17) Reducción de la necesidad de informes, comprobantes y otros documentos en papel.	
OPORTUNIDADES (O)		

1) Se abren caminos para dar eficiencia a muchos procesos, el campo de aplicación del RFID es muy grande.	El RFID es la tecnología ideal para la identificación, control, trazabilidad en cadenas productivas y de distribución.	Se requiere un estándar global que converja fabricantes, gobiernos y usuarios para uniformizar la fabricación, implementación, uso y desarrollo de la tecnología RFID para sus usos actuales y futuros.
2) Reducción del costo de los tags, en especial los Activos, favorecerá el uso del RFID.	La reducción de los costos de tags activos agilizará la implementación del RFID en la trazabilidad y localización de personas y objetos.	La estandarización y la reducción de costos harán atractiva la implementación del RFID.
3) Reducción de costos de tags pasivos ayudará a implementar el control individual de ítems, y no por bloque o lote, como se hace actualmente.	La reducción de los costos de tags pasivos hará económicamente viable la implementación de RFID a nivel de ítems.	Dentro de la estandarización se deben de considerar protocolos de encriptación y seguridad que hagan que la transmisión y recepción en RFID no sea corruptible.
4) Reemplazo del código de barras como método de control.	Las características del RFID lo hacen ideal para integrarse al internet de las cosas, lo que incrementaría en buena medida e su uso.	Si se logran disminuir lo suficiente los costos, sobre todo de los tags pasivos, el RFID puede desplazar al código de barras en sus aplicaciones actuales.
5) Integrarse al desarrollo del internet de las cosas.	Por las bondades del control y seguimiento que tiene, el RFID puede ser un medio para alcanzar un incremento en la calidad y servicio al cliente.	Es necesario el desarrollo tecnológico que haga capaz al RFID de trabajar con elementos metálicos y líquidos sin que la transición/recepción se vea afectada.
6) La búsqueda continua de la calidad y servicio al cliente en todos los procesos de fabricación de bienes y servicios.		
AMENAZAS (A)		
1) La tecnología RFID ofrece oportunidades sin precedente para el robo y el seguimiento encubierto de las personas.	Mejorar la seguridad de los tags, lectores y del middleware para evitar acciones fraudulentas.	Gestión de fabricantes, operadores y usuarios para promover la estandarización global.
2) Sniffing (olfateo). Las etiquetas RFID están diseñadas para ser leídas por cualquier dispositivo de lectura compatible. Lectura Tag puede suceder sin el conocimiento de la portadora de etiquetas, pudiendo también ocurrir en grandes distancias.	Campañas informativas que concienticen sobre los benéficos y los riesgos que implica el uso del RFID.	Implementación de mejores herramientas de seguridad en los tags, antenas y software, para disminuir acciones fraudulentas mediante el RFID.

<p>3) Tracking (seguimiento). Los lectores RFID en lugares estratégicos pueden detectar y grabar tags con registro de identificación único, que luego se asocia con identidades personales. El problema surge cuando a los individuos se les sigue contra su voluntad.</p>	<p>Continuar con la investigación y desarrollo tecnológico del RFID para que siga siendo considerada como la mejor opción como herramienta de control, trazabilidad y monitoreo.</p>	<p>Reducción de costos en los equipos y etiquetas, sin descuidar la seguridad.</p>
<p>4) Spoofing (suplantación). Los atacantes pueden crear “auténticas” etiquetas RFID de escribir datos de la etiqueta objetivo en transpondedores RFID en blanco o regrabable.</p>		<p>Implementación de acciones legales contra todo aquel que utilice estas tecnologías de seguimiento y control fraudulentamente.</p>
<p>5) La demora para implementar un estándar mundial.</p>		
<p>6) Sensacionalismo respecto a la falta de seguridad de RFID.</p>		
<p>7) Se ha descubierto la viabilidad de generar virus que vía los tags corrompan la base de datos.</p>		
<p>8) Resistencia al cambio por parte del personal afectado.</p>		
<p>9) Aparición de nuevas tecnologías o el mejoramiento de las actuales.</p>		
<p>10) Reticencia de la gente a ser monitoreada/controlada.</p>		

Así mismo, se proporciona la matriz FODA correspondiente a la tecnología Wi Fi, tal como se propusiera previamente.

Tabla 3. Matriz FODA del Wi Fi.

	FORTALEZAS (F)	DEBILIDADES (D)
Wi Fi	1) Costos bajos de instalación.	1) No ofrece la calidad de servicio necesaria ni diferenciación entre los flujos de servicio.
	2) Facilidad de implantación o integración de equipamiento en interiores como en exteriores así como su configuración y puesta en marcha.	2) No es del todo estable en cuestión de velocidad de transmisión para distancias un tanto lejanas del denominado punto de acceso.
	3) El bajo consumo de potencia por los equipos Wi Fi influye de manera directa en el costo de esta solución que seguirá teniendo éxito a medio-largo plazo, sobre todo en lo que se refiere a equipos personales.	3) Interferencia con otro tipo de equipos (celulares, microondas, tabletas, teléfonos inalámbricos, computadoras, etc.).
		4) Disminución del desempeño con la distancia, el número de usuarios y la presencia de interferencia fija (paredes, edificios, árboles, muros, etc.).
	4) Por su alta penetración, hay gran disponibilidad de equipos.	5) Problemas de transición.
	5) Acceso a internet y alta capacidad de transmisión de datos.	6) Imagen de tecnología barata y sin calidad suficiente.
		7) Seguridad.
OPORTUNIDADES (O)		
1) El desarrollo continuo y las actualizaciones de sus estándares y sus especificaciones.	Considerar la calidad en el servicio dentro del desarrollo de esta tecnología.	Considerar dentro de la estandarización un plan de frecuencias para reducir la interferencia entre equipos.
2) Grandes pendientes en el tema de Calidad de Servicio (802.11e).	Seguir con el desarrollo tecnológico del Wi Fi sin afectar los costos de los equipos, su facilidad de implantación ni incrementar en demasía el consumo de potencia.	Considerar la viabilidad de incrementar la potencia de los equipos para tener mayor alcance sin afectar en lo posible el costo y consumo energético.
3) Alta demanda del mercado.	Mantener la alta demanda de Wi Fi explotando sus fortalezas.	Mejoras en la programación para resolver los problemas de transición o hangover.
4) Alianzas/complemento con otras tecnologías.		Complementarse con otras tecnologías para cubrir sus debilidades.
AMENAZAS (A)		
1) La tecnología Wi Fi ofrece oportunidades similares a las generadas por el RFID para el robo, seguimiento encubierto y generación de perfiles de comportamiento para hackers, minoristas e incluso el gobierno.	Mantener el desarrollo tecnológico del Wi Fi para mantenerlo como líder dentro de las opciones para transmisión inalámbrica de datos.	Debe de atacarse los problemas de interferencia, desempeño, transición para poder disminuir la percepción de falta de seguridad del Wi Fi.
2) La demora de la implementación de un estándar de seguridad.	Campañas para concientizar las ventajas y bondades del Wi Fi.	Dar prioridad a la Calidad de Servicio en el desarrollo del Wi Fi.

3) Sensacionalismo respecto a la falta de seguridad de Wi Fi.		
4) Resistencia al cambio por parte del personal afectado.		
5) Aparición de nuevas tecnologías que sustituyan al Wi Fi o el mejoramiento de las actuales.		
6) Resistencia de la gente a ser monitoreada/controlada.		

Como se puede apreciar, tanto la tecnología RFID como el Wi Fi presentan diversas ventajas también es necesario seguir trabajando en ellas pues ambas son perfectibles y aún presentan retos para el control logístico.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una comparación entre el RFID y cuatro tecnologías de información inalámbricas aplicadas a la logística: El GPS, la banda ultra ancha, el bluetooth y el Wi Fi.

La comparación antes mencionada se realizó mediante dos técnicas ampliamente difundidas, el benchmarking y la matriz FODA. Mediante el benchmarking se compararon las 5 tecnologías ya mencionadas (incluyendo el RFID) y se definieron que tres de ellas no pueden considerarse –al día de hoy– alternativas viables para el control integral de las operaciones logísticas, el GPS debido a que no posibilita la visión “in door” y la banda ultra ancha y el bluetooth debido a los altos costos operativos que estos significan. Naturalmente esto puede cambiar en el futuro debido a lo vertiginoso de los cambios tecnológicos.

En base a lo anterior se realizaron dos matrices FODA para analizar las diversas características de las tecnologías RFID y Wi Fi, dichas matrices concluyeron que si bien ambas tecnologías presentan diversas bondades también presentan diferentes oportunidades y amenazas que invitan a seguir trabajando en su perfeccionamiento. En este sentido, y siguiendo la metodología de la matriz FODA, se propusieron diversas líneas de acción para encaminar los esfuerzos a realizarse en lo que respecta tanto al RFID como al Wi Fi.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Española de protección de datos. (2010). Guía sobre seguridad y privacidad de la tecnología RFID. Madrid, España: Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación.

Athanasios, S., Charalampos, G., Patrikakis, Z., Sideridis, A., Ntafis, V., & Xylouri, E. (2010). A complete farm management system based on animal identification using RFID technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(2), 380-388.

Fernández, C. (2009). Estudio de la tecnología RFID y desarrollo de una aplicación para la localización de personas. Madrid, España: E. P. Superior-Universidad Carlos III de Madrid.

Ferroxcube International Holding B.V. (2007). Introducción al RFID. Madrid: España.

Guevara, J. S. (2010). Tecnología Ultra-Wideband. Caldas, Colombia: Facultad de Ciencias e Ingeniería: Universidad de Manizales.

Hernández, R. (2014). Inventario humano y localización en interiores aplicando tecnología

- RFID. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México.
- Igoe, T. (2012). *Getting started with RFID*. Sebastopol, Ca.: O'Reilly.
- Portillo, J., Bermejo, A. B., & Bernardos, A. (2008). *Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID): Aplicaciones en el ámbito de la salud*. Madrid, España: Fundación Madrid para el Conocimiento.
- Lee, C., & Chan, T. (2009). Development of RFID-based Reverse Logistics System. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 9299-9307.
- Muñuzuri, J., Escudero, A., Rodríguez, M., & Rubia, C. (2012). Evaluación y respuesta a los problemas y fallos de implantación en un proyecto piloto industrial de identificación por radio frecuencia (RFID). *Dyna*, 87(5), 593-600.
- Prasanna, K., & Hemalatha M. (2012). RFID GPS and GSM based logistics vehicle load balancing and tracking mechanism. *Procedia Engineering*, 30, 726-729.
- Sarac, A., Absi, N., & Dauzère, S. (2010). A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management. *International Journal of Production Economics*. 128(1), 77-95.
- Runxian, Y., Ainai, G., & Yongsheng, D. (2005). The RFID system against collision processing queuing modeling and analysis. *Journal of Computer Simulation*, 22, 286-288.
- Rey, J. (2012). *El Sistema de Posicionamiento Global-GPS*. Gainesville, Fl.: Universidad de la Florida.
- UDLAP.mx. Recuperado el 20 de marzo de 2015 de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_a_r/capitulo1.pdf
- Weisheng, L., Huang, G., & Li, H. (2011). Scenarios for applying RFID technology in construction project management. *Automation in Construction*, 20(2), 101-106.
- Wu, N., Nystrom, M., Lin, T. & Yu, H. (2006). Challenges to global RFID adoption. *Technovation*, 26(12), 1317-1323.
- Yang, H., Yang, L., & Yang, S. (2011). Hybrid Zigbee RFID sensor network for humanitarian logistics centre management. *Journal of Network and Computer Applications*, 34(3), 938-948.
- Zhu, X., Samar, K., & Kurata, H. (2012). A review of RFID technology and its managerial applications in different industries. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(1), 152-167.

CAPÍTULO 10

¿LAS NORMAS OFICIALES MEXICANAS, UNA REGULACIÓN O UN REQUISITO COMERCIAL?

Patricia López Juárez^{a*}, Mizraim Martínez Hernández^a, Ivonne López Hernández^a

Universidad Politécnica Metropolitana de Hidalgo^a
plopez@upmh.edu.mx^{a*}

RESUMEN

Hoy en día la logística representa una actividad significativa ya que evoluciona constantemente, desde el concepto de distribución como variable básica del mix marketing hasta convertirse en una herramienta clave en la economía actual. La logística no basta con enfocarse en hacer llegar el producto, en el sitio justo, en el tiempo oportuno y al menor costo posible; en la actualidad, este conjunto de actividades han sido redefinidas para enfocarse al cliente, su servicio, su atención y su satisfacción. Hasta ahora las empresas se organizan alrededor de las funciones de producción y marketing; el marketing logrará que el producto se venda, mientras que producir significa fabricar algo; por lo que el entorno del producto se conformará de elementos tangibles e intangibles como el diseño, la imagen, la marca, el envase, la etiqueta, por mencionar algunos.

La presente investigación se centra en las normas oficiales mexicanas del etiquetado para productos alimenticios preenvasados que no solamente son un requisito para el fabricante de cualquier producto, sino también es un acto de voluntad y buenas prácticas, convirtiéndose en nuestros días en un elemento esencial para su distribución en tiendas departamentales, supermercados, tiendas de conveniencia y en todo tipo de establecimiento formal; siendo la distribución (puntos de venta) parte de la cadena de suministro, que es el cómo hacer llegar mi producto a más clientes.

Las medianas y grandes empresas lo saben bien y cumplen con esta regla escrita o no, porque entienden que será un beneficio para ellas, reflejado en puntos de venta y con ello, mayores ganancias; sin embargo, esta situación no se ve en los productos artesanales y semiartesanales que se distribuyen y venden en el mercado informal.

En la presente investigación se resalta la importancia de la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, normativa de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas que se comercializan en nuestro país y los organismos que han sido creados por el gobierno federal, estatal y municipal para apoyo a los micro empresarios.

El beneficiado de esta investigación será sin duda el micro empresario que al tener en cuenta la importancia del etiquetado y de la cadena de suministro conformado por proveedores, fabricante, distribuidores (puntos de venta) y clientes, podrá no solamente sobrevivir, sino posicionarse en un sector tan competitivo, como es el sector de alimentos.

Palabras claves: Normas Oficiales Mexicanas, Dirección General de Normas, etiqueta, logística, cadena de suministro.

ABSTRACT

Now Logistics represents a significant activity since it evolves constantly, from the concept of distribution as a basic variable in the mix marketing to become a key tool in today's economy. Logistics is not enough to focus on the product, on the site, in the right time and at the lowest possible cost; Currently, this set of activities have been redefined to focus

on customer, your service, your attention and your satisfaction. So far the companies are organized around the functions of production and marketing; marketing will achieve the product is sold, while producing means making something; so the environment of the product conform elements tangible and intangible as design, image, brand, container, label, by mentions some.

This research focuses on the Mexican official standards of labelling for pre-packaged food products that are not only a requirement for the manufacturer of any product, but it is also an act of will and good practices, becoming our days in an essential element for distribution in department stores, supermarkets, convenience stores and all kinds of formal establishment; being part of the supply chain, which is how the distribution (POS) make my product to reach more customers.

Medium and large companies know well and meet the written or unwritten rule, because they understand that it will be a benefit to them, reflected in outlets and thus higher profits; however, this situation is not in artisanal and semi-artisanal products distributed and sold in the informal market.

In the present investigation there highlights the importance of the NOM-051-SCFI/SSA1-2010, regulation of labeling for food and not-alcoholic drinks that are commercialized in our country and the organisms that have been created by the federal, state and municipal government for support to the micro entrepreneur

The benefiter of this research will undoubtedly be the micro entrepreneur to consider the importance of labeling and supply chain composed of suppliers, manufacturers, distributors (POS) and customers can not only survive but positioned in such a competitive sector as is the food sector.

Keywords: Mexican Official Standards, General Standards, label, NOM-05, Supply chain.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de logística se piensa únicamente en el transporte, siendo mucho más que el movimiento de la carga de un punto a otro, por lo que es importante considerar los atributos que la conforman que de acuerdo con el Council of Logistics Management, la logística es "parte de la cadena de suministro que planea, implementa, controla eficiente y efectivamente el flujo y almacenamiento de bienes y servicios y de información desde el punto de origen hasta el punto de consumo para satisfacer las necesidades del cliente". Es por ello la importancia que reviste la logística para una empresa, ya que si no se toma en cuenta las necesidades del cliente, simplemente la empresa tenderá a morir.

El micro empresario debe considerar que la logística está inmersa en sus inventarios, producción, distribución, producto, envase, embalaje, etiqueta y por supuesto en las ventas, por lo que debe de considerarla como una parte fundamental para su negocio.

Es por ello, que la presente investigación se centra en la normativa que debe cumplir el etiquetado en los productos alimenticios que se distribuyen y venden en los establecimientos formales como parte de la logística; enfatizando que poco valdrá tener un producto "bonito" o "bueno" o "económico" si nadie lo conoce, si no se distribuye en un mercado formal, para lo cual requiere de una marca, una imagen, un envase y de una etiqueta, por nombrar algunos de los elementos indispensables para comercializar un producto.

A nivel internacional la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), publican la normativa que debe cumplir el etiquetado de los alimentos dándola a conocer en el Codex Alimentarius (Código de Alimentación) que es la compilación de todas las Normas, Códigos de Comportamientos, Directrices y Recomendaciones de la Comisión del Codex Alimentarius que es

el más alto organismo internacional en materia de normas de alimentación (FAO, 2014). Es conveniente precisar que debido al crecido exponencial de la comercialización a nivel internacional en cantidad y variedad de alimentos, la Comisión del Codex Alimentarius tiene por objeto proteger la salud de los consumidores y asegurar prácticas equitativas en el comercio de alimentos, trabajando para ello, más de 170 miembros en el marco del Programa Conjunto FAO/OMS. De esta manera, se garantiza alimentos inocuos¹ y de calidad a todas las personas y en cualquier lugar (CODEX Alimentarius, 2014).

En México para poder comercializar un producto sobre todo alimenticio, es indispensable que éste cumpla con estándares de calidad y etiquetado, los cuales ayudarán a que se comercialice garantizando con ello que se ha elaborado con higiene y cuidado. Dos de las dependencias responsables de esta vigilancia son la Secretaría de Salud y la Secretaría de Economía a través de la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, que establece las especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-información comercial y sanitaria (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2014).

Resulta oportuno mencionar que en nuestro país la normalización se plasma en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que son de carácter obligatorio, elaboradas por Secretarías Federales y las Normas Mexicanas (NMX) de ámbito voluntario, promovidas por la Secretaría de Economía y el sector privado a través de Organismos Nacionales de Normalización (Secretaría de Economía, 2014). Las normas son diversas como diversos son los productos, es decir dependiendo el producto será la norma que deberá cumplir.

Por lo que es conveniente precisar que es responsabilidad del Gobierno Federal garantizar que los productos que se comercialicen en territorio nacional, tanto elaborados en el país como importados, cumplan con la información comercial que debe exhibirse en su etiqueta o envase con el fin de contar con una efectiva protección al consumidor, siendo la etiqueta el medio principal de comunicación entre fabricante y el consumidor final, misma que puede ser presentada en forma de rótulo, marbete, inscripción, imagen u otra materia descriptiva o gráfica, escrita, impresa, marcada, adherida, sobrepuesta o fijada al envase del producto como el elemento informativo, que proporciona la información comercial y sanitaria del producto; así como, se menciona en la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010 (Dirección General de Normas, 2014) que habla sobre las especificaciones generales de etiquetado para productos y bebidas no alcohólicas preenvasados y su impacto regulatorio.

A pesar de ser un elemento indispensable (la etiqueta), normado e informativo las MiPymes desconocen la normatividad que debe cumplir su producto (Flores, Hernández, & Flores, 2014), por lo que esta investigación ayudará al empresario a identificar si su producto cumple con la normativa o en su caso saber a dónde dirigirse para capacitarse, siendo uno de los desafíos más importantes la capacitación, pues existe la necesidad de que las empresas se adapten al cambio generando con ello mayor productividad y más oportunidades de mercado (Latinoamericana, 2007).

A través de una investigación exploratoria, se pudo observar que los productos que se distribuyen en tiendas formales como supermercados, tiendas de conveniencia, u otro medio formal, si cumplen con la normativa, debiendo ser una regla tanto gubernamental como comercial, situación que no se ve en los productos artesanales, o semiartesanales que son distribuidos de manera ambulante o en pequeñas tiendas, viéndose afectado el fabricante por sus bajas ventas, así como el consumidor final porque desconoce el contenido de lo que está comprando (Ver Figura 1).



Figura 1. Productos artesanales y semiartesanales
Fuente: Elaboración propia

II. MARCO TEÓRICO

Para poder interpretar la normativa de un producto alimenticio, es importante considerar algunos términos que ayudarán a entender mejor el tema que se trata, por lo que este capítulo tiene como objetivo revisar la parte conceptual.

Antecedentes de las Normas

De hecho, no hay escritos concretos de saber cuando realmente nacieron las Normas Oficiales; sin embargo, en 1928 existía la Ley sobre Pesas y Medidas y su Reglamento que carecían de regulación en materia de normalización; por tal motivo, dicha ley y la Ley de Normas Industriales de 1947, fueron derogadas por la Ley General de Normas y de Pesas y Medidas bajo la responsabilidad de la Secretaría de Industria y Comercio (Huerta, 1998). En el ámbito internacional, en 1947 se crea la Organización Internacional de Normalización mejor conocida como ISO por sus siglas en inglés (International Organization for Standardization), conformada por 163 países miembros y una Secretaría Central ubicada en Ginebra, Suiza (ISO, 2014) cuya misión es promover el desarrollo de la estandarización, facilitando el intercambio de bienes y servicios a través de normas internacionales que dan especificaciones de clase mundial de productos, servicios y sistemas para garantizar la calidad, seguridad y eficiencia, facilitando el comercio internacional. En ese propósito, ISO ha publicado más de 19,500 normas internacionales cubriendo casi todas las industrias, desde la tecnología, la seguridad alimentaria, la agricultura y la salud.

En el caso de México, la estandarización fue por influencia de la economía estadounidense en la economía mexicana, lo que obligó al gobierno a emitir leyes y reglamentos que exigirían a los fabricantes, productores y prestadores de servicio a cumplir un mínimo de características en sus productos.

En 1986, con la entrada de México al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio, mejor conocido como GATT, cuya finalidad principal era la disminución de impuestos entre los países miembros bajo el principio de reciprocidad creado en 1947 y sustituido en 1995 por la Organización Mundial de Comercio (2014), organismo internacional para la apertura del comercio, fungiendo como foro para que los países negocien acuerdos comerciales y un lugar donde puedan resolver sus diferencias comerciales, México se

compromete a usar las recomendaciones de ISO y de otras organizaciones internacionales para crear sus propios estándares, lo cual se concreta con la Ley Federal de Metrología y Normalización en su primera versión publicada el 1 de julio de 1992 que obliga a usar un solo sistema cuantitativo de medidas llamado Sistema General de Unidades de Medidas que se integra con el Sistema Internacional de Unidades, además de una serie de documentos llamados normas que estandarizan en todo el territorio mexicano, las características de los productos.

Para este fin, se crearon dos organismos del gobierno federal: uno técnico, llamado Centro Nacional de Metrología (CENAM) y otro administrativo, denominado Dirección General de Normalización (DGN), (Quintanilla M., 2006), ambos organismos dependientes de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), hoy Secretaría de Economía.

¿Qué es una Norma Oficial Mexicana?

Resulta oportuno conocer desde su ámbito conceptual qué es una Norma Oficial Mexicana (NOM) cuyo sustento se encuentra en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Norma Oficial Mexicana es la regulación técnica de observancia obligatoria expedida por las dependencias competentes, conforme a las finalidades establecidas en el artículo 40, que establece reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación".

Su fundamento se centra en el Artículo 3, Fracción XI de la Ley Federal de Metrología y Normalización; casi siempre, una norma se mantiene vigente solo por cinco años. No obstante, un año antes de que se acabe su vigencia, se puede indicar en el Diario Oficial de la Federación que la norma entra en revisión para su sustitución, cancelación o refrendo. Y es una obligación que las dependencias publiquen los proyectos de normas oficiales mexicanas en el Diario Oficial de la Federación, para que cualquier interesado pueda dar su opinión antes de que la norma pueda ser adoptada; así como, la obligación de analizar y responder a los comentarios formulados durante ese período.

¿Cuál es el marco normativo de la NOM?

El marco normativo de una NOM está fundamentado por el derecho externo y el derecho interno, como así lo cita Quintanilla (2006), por lo tanto son aplicables en el ámbito nacional a través de *Ley Federal de Competencia Económica; Ley Aduanera; Ley de Comercio Exterior; Ley Federal de Protección al Consumidor; Ley General de Salud; Ley Federal de Sanidad Animal; Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público y sus reglamentaciones correspondientes*. En lo internacional, por una serie de organismos agrupados básicamente en tres rubros:

- Organismos internacionales clásicos: ISO, OEC, CODEX Alimentarius/FAO;
- Organismos normalizadores formales cuyas normas son usadas internacionalmente, American Society of Mechanical Engineering (ASME);
- Organismos normalizadores que podrían denominarse ad hoc, como el Internet Engineering Task Force (IEFT).

¿Qué es la normalización en un producto o servicio?

Tal como se ha mencionado, todo producto o servicio que se comercialice debe cumplir con una normalización, siendo ésta el proceso mediante el cual se regulan las actividades desempeñadas por los sectores público y privado en materia de salud, medio ambiente, seguridad, información comercial, prácticas de comercio, industrial y laboral, que establece las especificaciones, los atributos, las características de un producto, proceso o servicio. Esta normalización deben cumplirla tanto productos nacionales como extranjeros (Moreno, Trejo, & Moreno, 2010).

La normalización se plasma en un documento llamado "Norma" en el cual los sectores interesados como: fabricantes, usuarios y gobierno, acuerdan las características técnicas deseables en un producto, proceso o servicio; este documento se elabora, expedita y difunde a nivel nacional.

Tanto la metrología como la normalización son aspectos cualitativos de los bienes y servicios, regulados por la Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN), promulgada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de julio de 1992, que le dan validez a nuestro derecho. De acuerdo con las aportaciones de Quintanilla (2006) hay dos tipos de normas: las regulaciones técnicas y los estándares:

- Las regulaciones técnicas son especificaciones mínimas que deben reunir los productos o servicios, que expiden los gobiernos para proteger la seguridad de las personas y evitar que se dañe la salud humana, animal, vegetal y el medio ambiente.

- Por otro lado, están los estándares voluntarios, elaborados por organismos de normalización privados cuya importancia radica en que se basan en el consenso de los sectores involucrados y su aplicación es de manera voluntaria, aunque muchas veces se vuelven obligatorias.

¿Cuántos tipos de Normas existen en México?

La Ley Federal de Metrología y Normalización menciona distintos tipos de normas en las que encontramos las Normas Oficiales Mexicanas, las Normas Mexicanas, Las Normas de Emergencia y las Normas de Referencia; dentro del proceso de normalización, para la elaboración de las normas nacionales se consultan las normas internacionales y normas extranjeras con el fin de homologar.

- Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son la regularización técnica de carácter obligatorio en su alcance y tienen una vigencia de 5 años. Es expedida por dependencias normalizadoras competentes a través de los Comités Consultivos Nacionales de Normalización, de acuerdo al artículo 40 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

- Las Normas Mexicanas (NMX), solo expresan una recomendación de parámetros o procedimientos y no son obligatorias. El gobierno ha cedido la responsabilidad de emitirlas a organismos privados relacionados con la materia.

- Las Normas de Emergencia (NE) sólo tienen una vigencia máxima de doce meses, en dos períodos consecutivos de seis meses. Estas normas se utilizan en circunstancias de urgencia, por lo tanto su emisión no requiere el procedimiento de revisión.

- Las Normas de Referencia (NRF) son elaboradas por las entidades de la administración pública para aplicarlas a los bienes o servicios que adquieren, arrienden o contratan, cuando las normas mexicanas o internacionales no cubran los requerimientos de las mismas o sus especificaciones resulten obsoletas o inaplicables.

- Las Normas o lineamientos internacionales son documentos normativos que emite un organismo internacional relacionado con la materia, reconocido por el gobierno mexicano en los términos del Derecho Internacional (Normalización Nacional, 2014).

- Norma extranjera es aquella que emite un organismo o dependencia de normalización público o privado reconocido oficialmente por un país.

¿Cuántas normas existen en México?

De acuerdo con el Catálogo Mexicano de Normas a febrero de 2015 existen 974 normas distribuidas como se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1: Secretarías Federales y sus NOMs

Dependencia	Definitiva	Proyecto	Emergencia	Total
Secretaría de Comunicaciones y Transportes	111	107	0	218
SAGARPA	132	26	0	158
Secretaría de Salud	145	26	0	171
SEMARNAT	116	16	0	132
Secretaría de Economía	116	10	0	126
Secretaría de Energía	89	19	1	109
STPS	44	6	0	50
Secretaría de Turismo	7	0	0	7
Secretaría de Gobernación	1	1	0	2
Secretaría de Seguridad Pública	1	0	0	1
	762	211	1	974

Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaría de Economía-NOMS, 2015

De las NOMSs antes señaladas se podrá observar que las Dependencias con más regulaciones son: Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Secretaría de Salud, SEMANART, SAGARPA y Secretaría de Economía, como se muestra en la Figura 2.

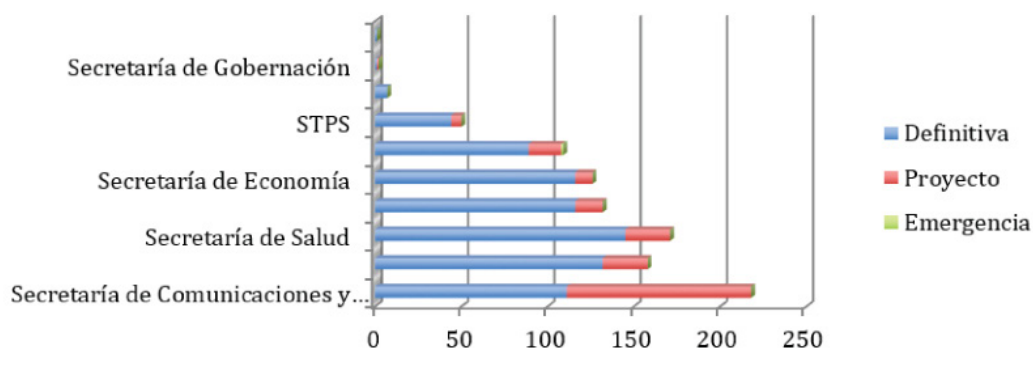


Figura 2. NOMs por Secretarías Federales

Fuente: Elaboración propia con información del Catálogo de Normas Oficiales Mexicanas, SE, 2015

Haciendo un análisis la Secretaría de Salud, es la dependencia con mayor número de normas (145 NOM) representando el 19% del total (ver Figura 3).



Figura 3. NOMs Definitivas por Secretaría Federal
 Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección General de Normas, 2015

Las NOMS se elaboran bajo cuatro principios claves: representatividad, consenso, consulta pública obligatoria y revisibilidad de las normas.

El diseño de una NOM

Es interesante conocer cómo se diseña una norma, ya que está compuesta por dígitos y letras y se conforma de la siguiente manera: para un proyecto de norma oficial mexicana será PROY-NOM- (número)- (dependencia) - (año); para una de emergencia será NOM – EM –(número) – (dependencia) – (año); y para una norma oficial definitiva será NOM – (número) – (dependencia) – (año).

También existen las Normas Mexicanas (NMX) que tienen una misión diferente: establecer requisitos mínimos de calidad con el propósito de brindar mayor orientación al consumidor. Muchas NMX son métodos de prueba y guías para sistemas de gestión. De cualquier forma, el cumplimiento de este tipo de normas, no es obligatorio. Se fundamentan en el Artículo 3, Fracción X de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

¿Quiénes se encarga de hacer las NOMs?

El Gobierno Federal es el encargado de identificar los riesgos, evaluarlos y emitir las NOMs para prevenirlos. Para su diseño se suman las voces de expertos externos provenientes de la academia, de las cámaras industriales, de colegios de profesionistas, de grandes empresas, que tienen el mismo peso que el de la autoridad; así las NOMs son elaboradas por Comités Técnicos que están integrados por representantes de todos los sectores interesados. Las Secretarías que participan en la elaboración de las NOMs, a través del Comité Técnico y que coloquialmente son conocidas como dependencias normalizadoras.

¿Quién vigila que se cumplan las NOMs?

En el ámbito comercial, la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) es el verificador de servicios y productos a través de su Subprocuraduría de Verificación, quienes realizan visitas para vigilar que se cumplan y aplican sanciones o clausuras a quienes no lo hagan.

Una NOM establece de manera general tres cosas:

- Definición del producto, servicio o proceso
- Especificaciones que éste debe cumplir
- Métodos de prueba con los que se puede verificar que cumplan.

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización en su artículo 9 establece que las dependencias competentes podrán realizar visitas de verificación y faculta al personal para recabar los documentos, evidencias o muestras necesarias. Es por ello, que la PROFECO puso en marcha el programa de “alertas al consumidor” trabajando conjuntamente:

PROFECO, COFEPRIS y SENASICA, analizando los productos que se encuentran en el mercado y determinar si alguno representa un riesgo para la salud (ver Figura No. 4).

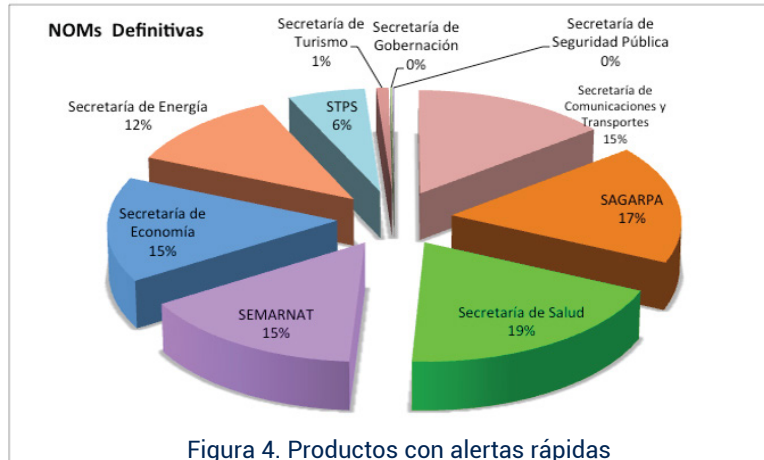


Figura 4. Productos con alertas rápidas
Fuente: Profeco.gob.mx (2014)

Las normas oficiales relacionadas con la NOM-051-SCFI/SSA1-2010
Las Normas Oficiales Mexicanas que complementan a la norma en cuestión, tanto técnica como general son las siguientes:

- NOM-002-SCFI-2011. Productos preenvasados- Contenido neto-tolerancias y métodos de verificación.
 - NOM-008-SCFI-2002. Sistema general de unidades de medidas
 - NOM-30-SCFI-2006. Información comercial, declaración de cantidad en la etiqueta-especificaciones
 - NOM-43-SSA2-2012. Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria
 - Norma Oficial Mexicana NOM-050-SCFI-2004. Información comercial etiquetado de productos.
 - NOM-086--SSA1-1994. Bienes y servicios, alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición, especificaciones nutrimentales.
- A continuación se ilustra la aplicación de las NOMs antes mencionadas en un producto posicionado en el mercado formal (ver Figura 5)

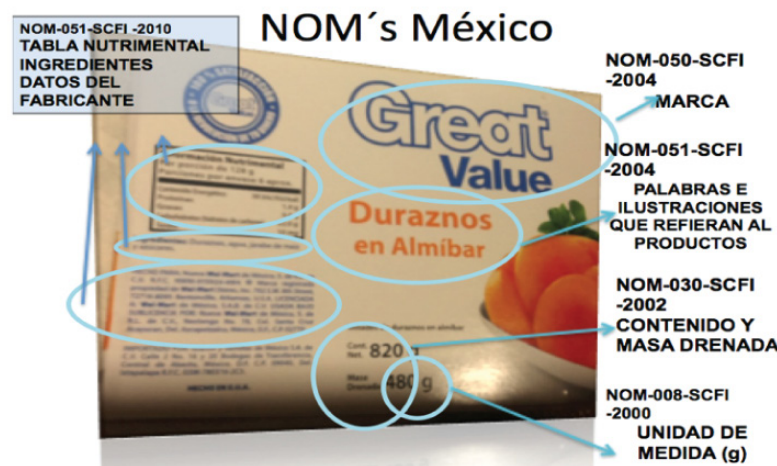


Figura 5. Ejemplo de producto con aplicación de normativa posicionado en el mercado formal
Fuente: Elaboración propia con información de la Dirección General de Normas, 2015

La NOM 051-SCFI-SSA1/2010

Esta norma es de suma importancia, ya que su cumplimiento garantizará que los productos que se comercialicen cumplan con la información comercial que debe exhibirse en su etiqueta o envase y sus objetivos principales son:

- Establecer información comercial y sanitaria
- De alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados
- Las características de la información

Como información sanitaria y comercial obligatoria se encuentra:

- Nombre o denominación del alimento o bebida
- Lista de ingredientes
- Etiquetado cuantitativo de ingredientes
- Contenido neto y masa drenada
- Nombre, denominación o razón social y domicilio fiscal
- País de origen
- Identificación del lote
- Fecha de caducidad o de consumo preferente
- Información nutrimental

De igual forma, se considera información adicional:

- Información o representación gráfica que no este en contradicción con lo establecido en la NOM
- Declaración de propiedades
- Leyes precautorias

El incumplimiento de la NOM

Es posible que un producto que se comercialice en el mercado formal no cumpla con la normativa estipulada en la NOM-051-SCFI-SSA1/2010, por lo que el gobierno federal a través de la PROFECO-SENASICA-COFEPRIS realizan visitas de verificación para determinar el incumplimiento de las NOMs, imponiendo sanciones administrativas previstas en la Ley Federal de Metrología y Normalización que van desde una multa, clausura temporal o definitiva, hasta el arresto por treinta y seis horas; suspensión o revocación de la autorización, aprobación o registro según corresponda. En caso de reincidencia, la multa impuesta por la infracción anterior se duplicará sin que en cada caso su monto total exceda de doble del máximo fija en el artículo 112A.

Cuando el producto o servicio no cumpla con la normativa, la autoridad competente prohibirá de inmediato su comercialización, por lo que el distribuidor deberá retirar del mercado y resarcir los daños que este haya causado, como lo indica el artículo 57 de la Ley Federal de Metrología y Normalización. Asimismo, los medios de comunicación masiva deberán difundir tales hechos de manera inmediata a solicitud de la dependencia competente, con el fin de causar el menor daño posible a mayor número de personas. (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2014).

Las etiquetas en un producto

La etiqueta debe ser ilustrativa, confiable, descriptiva, ya que ella dará la información que todo consumidor debe saber, adicionalmente de que debe cumplir con la NOM-051-SCFI/SSA1-2010.

Conceptualmente, una etiqueta es la parte de un producto que transmite información sobre el artículo y el vendedor. Puede ser parte del empaque o estar adherida al producto. La

etiqueta también podría describir varias cosas acerca del producto: quién lo hizo, dónde se hizo, cuándo se hizo, qué contiene, cómo debe usarse y qué precauciones habrá de tomarse en cuenta (Kotler & Armstrong, 2013). Para Kerin, Hartley y Rudelius (2009), la etiqueta "es una parte integral del empaque y suele identificar al producto o marca quién lo hizo, dónde y cuándo se hizo, cómo debe usarse y el contenido y los ingredientes del paquete". Es importante resaltar que la etiqueta y empaques falsos o engañosos constituyen una competencia desleal. Las etiquetas pueden engañar a los clientes, omitir la descripción de ingredientes importantes o carecer de advertencia de seguridad necesarias (Idem), es por ello, la relevancia del trabajo de la PROFECO que a través de la denuncia o supervisión en los puntos de venta, realiza inspecciones y retira del mercado los productos que no cumplen con la normativa de etiquetado en nuestro país.

Tipos de Etiquetas

Existen diferentes tipos de etiquetas (Marketing-Free, 2009), que se pueden utilizar en un producto para especificar su fabricación, uso y consumo entre las cuales se encuentran:

- Etiquetas Persuasivas: son aquellas que se centran en un tema o logotipo promocional, y la información al cliente es secundaria. En este tipo de etiquetas suelen incluirse declaraciones promocionales como: nuevo, mejorado, súper; las cuales ya no resultan muy persuasivas por los consumidores, por lo que este tipo no son muy favorables utilizarlas para comercializar un producto, a menos que no sea conocido por el consumidor o no exista un producto similar con el que se pueda confundir.
- Etiquetas Informativas: diseñadas con objeto de ayudar a los consumidores a que seleccionen adecuadamente los productos y a reducir su disonancia cognoscitiva después de la compra. Por ejemplo, una caja de cereales, que en la parte frontal suelen incluir una etiqueta persuasiva (el logotipo y frases promocionales) y en los costados, una etiqueta informativa (con información nutricional, ingredientes, forma de preparación).
- Etiqueta de Marca: es sencillamente la etiqueta sola aplicada al producto o al empaque, por ejemplo, la etiqueta de una prenda de vestir.
- Etiqueta Descriptiva: da información objetiva acerca del uso del producto, su hechura, cuidado, desempeño u otras características pertinentes.
- Etiqueta de Grado: identifica la calidad juzgada del producto mediante una letra, un número o una palabra. Por ejemplo, los duraznos enlatados tienen etiquetas de grados A, B o C y el maíz y el trigo ostentan etiquetas de grados 1 y 2.
- Etiqueta obligatoria: es uno de los medios que disponen los gobiernos para proteger al consumidor en su salud, seguridad y de los informes engañosos.
- Etiqueta sistemática: informa sobre la composición y las propiedades de los productos.
- Etiqueta concebida y aplicada por los productores y vendedores: la mayor parte de las etiquetas no obligatorias entran en ésta categoría ya que describen el contenido en forma total o parcial.

Cómo está integrada una etiqueta

La etiqueta se considera como la tarjeta de presentación del producto, por lo que ésta debe ser transparente y comprensible y consta de dos paneles, el primero indica la información básica del producto:

1. Denominación o nombre del producto: indica que es exactamente el producto.
2. Marca comercial: se entiende todo signo utilizado para distinguir en el mercado, productos, servicios, establecimientos industriales y comerciales. Su principal característica de una marca es que ésta debe tener caracteres distintivos, para distinguirse de otras marcas de productos similares. (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2015). Para la Revis-

ta Merca 2.0 (2015) las marcas comerciales se clasifican por su composición en:

- Una palabra o palabras con o sin significado idiomático, se le conoce como: Marcas nominativas;
- Etiquetas con figuras, imágenes, símbolos, dibujos: Marcas innominada;
- La combinación de palabras con elementos figurativos que muestran a la marca como un elemento o como un conjunto distintivo se le denominan Marcas mixtas;
- Envoltorios, envases, formas del producto o su representación, se denomina: Marca 3D.



Fuente: Revista Merca2.0, 2015

Cabe hacer mención que el registro de marca en México se realiza ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial y tiene una vigencia de 10 años contados a partir de la fecha de presentación de la solicitud, renovables por períodos de la misma duración de Acuerdo al Artículo 95 de la Ley de la Propiedad Industrial (Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial, 2015).

3.Contenido neto: cantidad de producto preenvasado que permanece después de que se han hecho todas las deducciones de tara cuando sea el caso.

El segundo panel se encuentra constituido por los siguientes elementos:

- 1.La tabla nutricional: es aquí donde se declara la cantidad de nutrientes contenidos en el alimento, la cual debe contemplar estrictamente el contenido de: los carbohidratos, el sodio, el potasio, el colesterol, las grasas y las vitaminas contenidas en el producto.
- 2.Dirección y nombre del fabricante, importador o distribuidor del producto: para que el consumidor identifique quien elabora el producto y donde lo elabora.
- 3.La declaración de ingredientes: en ella se deben mencionar todos los ingredientes con que está elaborado el producto, mencionándolos en forma decreciente (mayor a menor), es decir del que este compuesto en mayor medida el producto al que represente una cantidad menor.
- 4.La fecha de caducidad: se indica en el producto para saber su durabilidad.
- 5.Lote: código que especifica el número de producto de acuerdo al inventario que lleve la empresa, puede ser colocado en la etiqueta o el envase que lo contenga.
- 6.Código de barras: el Código de Barras es un símbolo de identificación único y preciso que cualquier producto necesita implementar para poder ser vendido en las cadenas comerciales, es además indispensable para conquistar nuevos mercados (GS1 México, 2015).
- 7.País de origen: se indica para saber la procedencia del producto.
- 8.Leyendas precautorias: previene al consumidor sobre el cuidado, uso y consumo del producto.
- 9.Línea de atención: colocada para permitirle al consumidor pedir información sobre el producto.

Funciones de una etiqueta

Las etiquetas desempeñan diversas funciones entre las cuales se encuentran:

- En primer lugar, identifican el producto o la marca.
- En segundo lugar, descripción e información del producto.
- En tercer lugar, sirven para describir el producto: quién lo fabricó, dónde, cuándo, qué contiene, cómo se utiliza e indicaciones de uso seguro.
- En cuarto lugar promocionar mediante diseño, frases promocionales que las distinguen del resto.
- Y por último, dan cumplimiento de las leyes, normas y reglamentos vigentes de cada país. El cumplimiento de todos estos elementos permitirá la elaboración de un etiquetado adecuado y proporcionará la ventaja de poder comercializar los productos, además de cumplir con las normas, leyes y reglamentos establecidos por los organismos regulatorios.

Una regla no escrita

Vender en México como en otros países, se requiere que el producto cumpla con algunos estándares de calidad y comerciales. Lo referente a calidad, está fundamentado por las Normas Oficiales Mexicanas y los comerciales son reglas no escritas; que a pesar de ello, son reglas bien conocidas por los fabricantes, que de no cumplirlas, no podrán vender sus productos.

Organismos de apoyo para el cumplimiento de la normativa

El gobierno federal, estatal y municipal, han creado organismos para asesorar y acompañar al microempresario en la comercialización de sus productos y en las regulaciones que deben de cumplir; algunos de ellos son:

- La Secretaría de Economía: es una dependencia del Gobierno Federal encargada de emitir reglas y criterios de carácter general en materia de comercio exterior, es por ello que ésta Secretaría fue una de las involucradas en la elaboración de la norma NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones Generales de Etiquetado para Alimentos y Bebidas no Alcohólicas Preenvasados-información comercial y sanitaria, ya que uno de sus objetivos es preservar la salud de los seres humanos.
- Secretaría de Salud a través de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), cuyo objetivo es contribuir a un desarrollo humano justo, incluyente y sustentable, mediante la promoción de la salud como objetivo social compartido y el acceso universal a servicios integrales y de alta calidad que satisfagan las necesidades y respondan a las expectativas de la población.

III. METODOLOGÍA

En este capítulo se dará a conocer la metodología manejada durante la presentación de la investigación, las herramientas utilizadas y la forma en la que se realizó la investigación, para detectar la importancia del etiquetado en alimentos procesados envasados comercializados en nuestro país.

Enfoque

El enfoque seleccionado para realizar esta investigación fue el método cualitativo; ya que, el proceso a seguir dentro de este enfoque se centra en la detección de la problemática, para después obtener y ordenar las fuentes de información, las cuales auxiliaron a definir y determinar el planteamiento del problema, para finalmente analizar la información obtenida y poder detectar la razón por la cual se origina un problema (SinapSit, 2012).

Método y Técnica de la investigación

Para ahondar en el problema de investigación se emplearon métodos y técnicas distintos; herramientas metodológicas de la investigación, ya que permiten instrumentar los procesos específicos de ésta (Rojas, 2013).

Considerando que método es la manera de alcanzar un objetivo; es decir es el camino

que sigue una investigación (Ludin Rosental, citado por Rojas), los métodos pueden ser generales o particulares. El primero son el análisis y la síntesis, la inducción y la deducción, el experimental y otros. Los métodos particulares son aquellos que cada disciplina ha desarrollado de acuerdo a sus propias necesidades (Idem) por lo que esta investigación tuvo un método general, con un alcance cualitativo, en donde el investigador, no siguió un proceso claramente definido, ni se está probando ninguna hipótesis, solamente se está presentando la información de manera sencilla y clara sobre la descripción de la normativa que debe cumplir un producto alimenticio con datos obtenidos en diferentes referencias bibliográficas. (Patton, 1980 citado por Hernández, (2013).

El tipo de estudio realizado fue exploratorio, ya que sirvió para aumentar el grado de familiaridad con el tema a investigar, con el objeto de ahondar más adelante en una investigación más completa; para lo cual se utilizaron fuentes secundarias (Dankle 1986, citado por Hernández) a través de libros, portales institucionales nacionales e internacionales que proporcionaron la información que se vierten en esta investigación de tipo documental, resaltando la consulta de los portales de la Secretaría de Economía, Dirección General de Normas, Procuraduría Federal del Consumidor y la Secretaría de Salud, principales organismos encargados de elaborar la normativa aplicable a los productos alimenticios que pretendan ser comercializado en el mercado nacional

Diseño

La realización de esta investigación fue transversal ya que fue en un tiempo determinado (Hernández, 2012), así como no experimental; ya que sólo se observó el etiquetado de los alimentos procesados en algunos supermercados, como muestra de nuestra investigación.

IV. RESULTADOS

Qué comemos y por quién fue elaborado debería ser dos preguntas básicas al momento de comprar nuestros alimentos que se contestan a través de la información que hay en el etiquetado. Aun cuando en nuestro país no se cuenta con una cultura de revisar los alimentos que se consumen, el gobierno ha puesto mayor interés en hacer que los productos tanto nacionales como extranjeros cumplan con la normativa que garanticen su calidad e inocuidad.

Se resaltó la importancia que tienen las NOM en los productos alimenticios, siendo las NOMs regulaciones técnicas de carácter obligatorio que contienen información, requisitos, especificaciones, procedimientos y metodología que permiten a las distintas dependencias gubernamentales establecer parámetros evaluables para evitar riesgos a la población, a los animales y al medio ambiente

Centrándose esta investigación en la aplicación de la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, que especifica claramente todos los elementos que una etiqueta debe contener y que dicha información está al alcance de todos a través del portal de la Dirección General de Normas en el Catálogo de Normas Oficiales de la Secretaría de Economía.

La normativa es clara en su cumplimiento y en la forma en que se deberá cumplir, siendo el medio informativo entre el fabricante y el consumidor la etiqueta del producto. Esta información es obligatoria por lo tanto quien no la cumpla, será sancionado que va desde una multa, clausura temporal o definitiva, hasta el arresto por treinta y seis horas de acuerdo con la Ley Federal de Metrología y Normalización.

Cuando se comercializan alimentos la normativa tanto en México como en el resto del mundo es mucho más compleja, es decir, el empresario deberá cumplir con cada una de las NOMs que le son señaladas, para lo cual el gobierno a través de la PROFECO, COFEPRIS y SENASICA realizan visitas de inspección en los puntos de venta en fechas estratégicas, imponiendo sanciones o retirando del mercado productos que no cumplan con la norma-

tiva.

Pareciera difícil cumplir con dicha normativa, pero la realidad es sencilla, en donde la capacitación juega un papel muy importante que puede ayudar a realizar mejor las cosas, por lo que para facilitar esta labor, el gobierno ha puesto al alcance de los empresarios información y oficinas que proporcionan asesorías en el tema de normativa, siendo la más representativa, la Secretaría de Economía.

V. CONCLUSIONES

Se observó que los productos que se comercializan en lugares formales si cumplen con la normativa, mencionando que la distribución y el etiquetado forman parte de la cadena de abastecimiento. Esto lo han entendido las grandes empresas, que alguna vez fueron pequeñas y que con estrategias y conocimiento han sabido colocar sus productos a mayores puntos de venta y con ello, mayores ganancias.

Poco valdrá tener un producto "bonito" o "bueno" o "económico", si nadie lo conoce, si no se distribuye en un mercado formal, para lo cual requiere de una marca, imagen, envase y de una etiqueta, por nombrar algunos de los elementos indispensables para comercializar un producto.

A lo largo de esta investigación se perciben varias áreas de oportunidad para las MiPymes que solo han considerado al producto como lo más importante, dejando a un lado la etiqueta y los puntos de venta formales, por no contar con un etiquetado que les permita vender sus productos a un mayor número de clientes.

En esta investigación el principal beneficiado, es el micro empresario que busca posicionar su producto en el mercado, al describir la importancia de la etiqueta, desde el punto de vista normativo y comercial; así mismo, las fuentes de información y capacitación con las que cuenta nuestro país, resaltando que al no contar con los elementos antes mencionados será imposible que tenga las ganancias esperadas y que en un corto o mediano plazo, el fracaso será inevitable.

Cómo se pudo observar existen medios y organismos gubernamentales para que los fabricantes y comercializadores de productos alimenticios puedan cumplir cabalmente con la normativa, resaltando el papel de la Secretaría de Economía, percibiéndose que la mayoría de los productos que se comercializan en el mercado formal si cumplen con lo estipulado en las NOMs.

Como pudo observarse el asesoramiento que el gobierno ofrece a la comunidad empresarial, en su gran mayoría es gratuita; los servicios de particulares, tienen un costo, que más bien sería una inversión a mediano y largo plazo, que el micro empresario puede recuperar al ver que sus ventas crecen.

En resumen, tanto el producto como su imagen y la forma en que se distribuye forma un conjunto que el empresario debe tomar en cuenta, recordando que a mayores ventas, mayores ganancias y que la diferenciación entre un producto bueno y uno de calidad estará en la forma de presentarlo, por lo que la etiqueta juega un papel importante, no solo como normativa, sino como estrategia de ventas y posicionamiento.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2014, 14-Julio). Ley Federal sobre Metrología y Normalización. México, D.F., México.

CODEX Alimentarius. (1 de Enero de 2014). CODEX Alimentarius. Recuperado el 4 de Febrero de 2014, de CODEX Alimentarius: www.codexalimentarius.org

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios . (01 de 01 de 2014). Cofer-

pis. Recuperado el 10 de 01 de 2015, de <http://www.cofepris.gob.mx>
Dirección General de Normas. (01 de 01 de 2014). Dirección General de Normas. Recuperado el 20 de 10 de 2014, de Catálogo de Normas Oficiales: www.economía-noms.gob.mx
Flores, R., Hernández, I., & Flores, I. (01 de 01 de 2014). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperado el 08 de 02 de 2015, de <http://uaeh.edu.mx>
González Suárez, E. (1 de 04 de 2010). Redalyc.org. Recuperado el 06 de 10 de 2014, de Limitaciones de los estudios descriptivos - explicativos en el análisis de la gestión del conocimiento: <http://www.redalyc.org/pdf/1814/181421576004.pdf>
GS1 México. (01 de Enero de 2015). GS1 México. Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de <http://gs1mexico.org>
Hernández, R. (27 de 07 de 2012). Diseño de investigación transversal y longitudinal. Recuperado el 10 de 10 de 2014, de <http://es.slideshare.net/Spaceeeboy/diseño-de-investigación-transversal-y-longitudinal>
Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2013). Metodología de la Investigación. McGraw-Hill.
Huerta, C. (Mayo-Agosto de 1998). Biblioteca Jurídica Virtual. Recuperado el 20 de Enero de 2015, de Revista Jurídica: <http://juridicas.unam.mx>
Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. (01 de Enero de 2015). IMPI. Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de <http://impi.gob.mx>
ISO. (1 de Enero de 2014). ISO. Recuperado el 4 de Febrero de 2014, de ISO: www.iso.org
Kerin, R., Hartley, S., & Rudelius, W. (2009). Marketing. México: McGraw-Hill.
Kotler, P., & Armstrong, G. (2013). Fundamentos de Marketing. México: Pearson Educación de México.
Latinoamericana, O. d. (2007). Eumed.net. (H. Serna, & R. Delgado, Edits.) Recuperado el 08 de 02 de 2015, de <http://eumed.net>
Marketing-Free. (1 de Septiembre de 2009). Marketing-Free. Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de <http://www.marketing-free.com/producto/etiquetas.html>
Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. (01 de Enero de 2015). INAPI. (G. d. Chile, Productor) Recuperado el 10 de Febrero de 2015, de <http://inapi.cl>
Moreno, J. A., Trejo, P., & Moreno, H. (2010). Comercio Exterior sin barreras, todo lo que usted necesita saber en materia aduanera y de comercio exterior. México, D.F.: Tax Editores Unidos, S.A. de C.V.
Normalización Nacional. (2014, 1-Enero). Retrieved 2014, 3-Noviembre from Secretaría de Economía: www.secretaria.gob.mx
Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (01 de 01 de 2014). FAO. Recuperado el 28 de 01 de 2015, de <http://www.fao.org>
Organización Mundial del Comercio. (01 de 01 de 2014). Organización Mundial del Comercio. Recuperado el 08 de 02 de 2015, de WTO: <http://www.wto.org>
Quintanilla, M. (2006). Las Normas Oficiales Mexicanas, Su constitucionalidad, impacto en la modernización del Derecho Mexicano y estrecha vinculación con el Derecho Internacional. México, D.F.: Editorial Porrúa.
Revista Merca2.0. (01 de Enero de 2015). Merca2.0. Recuperado el 11 de Febrero de 2015, de <http://mercado20.com>
Rojas, R. (2013). Guía para realizar investigaciones sociales. Plaza y Valdés Editores.
Secretaría de Economía. (01 de 01 de 2014). Secretaría de Economía. Recuperado el 8 de 10 de 2014, de Normalización: www.economia.gob.mx
SinapSit. (2012). ¿Qué es el método cualitativo? Recuperado el 10 de 10 de 2014, de <http://www.sinapsit.com/ciencia/que-es-el-metodo-cualitativo/>

CAPÍTULO 11

ANÁLISIS TEXTUAL: UN ENFOQUE FACTORIAL MÚLTIPLE PARA EXPLORAR LA EVOLUCIÓN DE LOS DESASTRES Y GESTIÓN DEL RIESGO EN MÉXICO.

Jesús Escalante Euán^{a*}, Daría Hernández Ramírez^a, Miriam Chan Pavón^b

Universitat Politècnica de Catalunya^{a*}
Barcelona Tech, España (jesus.escalante@upc.edu)
Universidad Autónoma de Yucatán^b
Mérida, México

RESUMEN

A partir de una selección de informes y reportes técnicos (IRT) publicados por organismos internacionales durante los años 2000-2014, emprendimos un estudio basado en una metodología que puede ser aplicable a cualquier conjunto de artículos o documentos científicos. Para este capítulo elegimos como eje de análisis la prevención de riesgos y desastres naturales en México. El objetivo es presentar una visión global de las publicaciones relacionadas al tema, además revelar los cambios a lo largo del período, identificando los tópicos más relevantes. Los resultados revelaron una evolución del vocabulario, la determinación de períodos homogéneos y fechas de cambio en el desarrollo de la investigación. La metodología combina varios métodos del análisis textual: Análisis de Correspondencias, Palabras características e Incrementos característicos.

Palabras clave: análisis textual, gestión del riesgo, desastres naturales, análisis de correspondencias.

ABSTRACT

From a selection of abstracts and technical reports (IRT) published by international organizations during the last ten years 2000 to 2014, we assumed a study based on a methodology that can be applied to any set of articles or scientific papers. For this chapter we chose as the focus of analysis the prevention of risks and natural disasters in Mexico. The objective is to present an overview of publications related to the topic, and reveal the changes over the period, identifying the most relevant topics. The results revealed an evolution of vocabulary, determination of homogeneous periods and dates of change in the development of research. The methodology combines several methods of textual analysis: Correspondence Analysis, characteristics words and characteristic words increases.

Keywords: textual analysis, risk management, natural disasters, correspondence analysis.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objeto la exploración lingüística de una selección de textos publicados en la última década sobre gestión del riesgo y los desastres naturales en México. La muestra de trabajos evaluados se compone, teóricamente de reportes, informes ejecutivos y técnicos de diferentes organismos internacionales, dentro los que destacan: Comi-

sión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, UNISDR.

En la práctica, no se trata de un sección uniforme de textos. Dejando de un lado estas diferencias siempre existentes en la longitud y extensión del documento, este análisis reúne los documentos más importantes en materia de gestión y análisis de riesgos ante contextos de desastre natural.

La motivación de emprender un estudio de esta naturaleza, es ampliar los alcances del análisis de textos, para inferir e interpretar la evolución y comportamiento de los temas eje, a una muestra representativa de documentos y valorar su evolución en el tiempo. Así como también identificar los temas relevantes, visualizar las fechas de cambio, períodos homogéneos que nos permitan seguir las novedades, tendencias o desarrollos que se producen en este campo de la investigación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. EL ENFOQUE LEXICOMÉTRICO Y LA ESTADÍSTICA TEXTUAL

Los enfoques lexicométricos o de la estadística textual están apoyados en las técnicas estadísticas desarrolladas por la Escuela Francesa de Análisis de Datos (Benzécri, 1973, 1977, 1981). El desarrollo de las técnicas de la estadística textual ha hecho que el análisis estadístico de textos se haya constituido en una herramienta interdisciplinaria, integrada por la estadística, el análisis del discurso, la lingüística, la informática, el procesamiento de encuestas y la investigación documental, entre otros.

El ADT es cada vez más utilizado en diversos campos de las ciencias: Historia, Política, Economía, Sociología, Psicología, Medicina, etc. El ADT desarrollado a partir de las aportaciones de Jean Paul Benzécri (Benzécri, 1981) ha permitido la construcción y estudio de grandes matrices de datos mediante la aplicación del Análisis Factorial a tablas de contingencia de $n \times p$ (filas \times columnas).

El ADT se refiere a procedimientos que implican contar las ocurrencias de las unidades lingüísticas básicas (generalmente palabras) y operar algún tipo de análisis estadístico a partir de los resultados de tales recuentos.

2.2. CODIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN TEXTUAL

Identificar las unidades léxicas requiere un cuidadoso proceso (Labbé D., 1990) que consiste en corregir las faltas de ortografía. Eventualmente, opera una lematización que convierte la forma gráfica de cada ocurrencia en su forma estandarizada llamada lema (o voz del diccionario: infinitivo para los verbos, singular para los sustantivos, masculino singular para los adjetivos, etc.) e identificar la categoría gramatical de cada ocurrencia.

Seguimos aquí la norma lexicométrica introducida por Labbé (1990). Consecuentemente empleamos el término genérico palabra como sinónimo de lema. Definir la stoplist, o lista de palabras consideradas no útiles en el estudio en curso.

En general, dicha lista contiene las preposiciones, artículos, pronombres, conjunciones y adjetivos posesivos y demostrativos.

Seleccionar un umbral de frecuencia, dado que la comparación entre respuestas sólo tiene significado si las palabras tienen una frecuencia mínima (Lebart, L., Salem, A., 2000). Una regla pragmática consiste en eliminar las palabras escogidas por menos de 2% de los individuos.

Así, se adopta una norma para el recuento lexicométrico que es estable, comprensible y reproducible: no varía durante el pretratamiento de un corpus de textos, ni de un corpus a otro, es fácil de entender por los usuarios y de aplicar en cada estudio y/o por cada usuario (Bécue, 2010)

Las palabras conservadas constituyen las columnas de la tabla léxica, siendo una tabla de frecuencias particular. La suma de una fila corresponde a la longitud conservada del resumen mientras que la suma de una columna es la frecuencia total de la palabra que la encabeza.

III. METODOLOGÍA

A continuación se describe la metodología, que parte de una tabla de frecuencias y la matriz de datos contextual de los informes ejecutivos y reportes técnicos. El análisis textual, suele acompañarse de un análisis de correspondencias.

3.1. SOFTWARE

Los análisis estadísticos fueron realizados mediante una función programada en R, BiblioMineR (Hernández Daría, 2012). Esta función fue integrada al paquete TextoMineR.

Selección de textos

Las búsqueda de materiales apropiados podría representar alguna dificultad, pero los recursos empleados han resultado una buena inversión al conseguirse una colección de textos que permiten utilizarse en los diversos análisis a posteriori. En este sentido, lo que resulta conveniente es elegir documentos que en su estructura temática represente una identidad adyacente al tema central de la investigación.

El énfasis de la investigación parte de un análisis minucioso de los contenidos de cada informe o resumen ejecutivo, mediante un Análisis estadístico de Datos Textuales (ADT), Análisis de Correspondencias (AC), una Clasificación Jerárquica con Restricción de Continuidad (CC), palabras características (PC) e Incrementos Característicos (IC).

3.2. ESTRUCTURA DE LOS DATOS

La estructura de la base de datos está conformada por 24 filas y 4 columnas. Las filas corresponden a los documentos y las columnas a las variables que describen estos documentos¹ (título, resumen, año de publicación y el organismo de referencia).

3.3. TRATAMIENTO DEL CORPUS

Esta etapa consiste en la segmentación de palabras o expresiones que se consideran indivisibles.

Con los resúmenes de los documentos se construyó un corpus, a partir de los 24 resúmenes con una longitud de 28,657 ocurrencias y que contiene 4,653 palabras distintas. La longitud promedio por resúmenes fue de 1,194 ocurrencias y en promedio 194 palabras distintas.

Por lo general se eliminan las formas gráficas irrelevantes o que suelen aparecer ocasionalmente. Se suele emplear la lematización como un proceso de homogeneización, que consiste en llevar a las formas verbales al infinitivo, los sustantivos al singular y los adjetivos al singular masculino.

También se sustituyen algunas palabras por otras equivalentes. Se define una variable

(Acción, América, Rolando, Vargas, & Morales, 2014; Banco Interamericano de Desarrollo., 2000, 2003, 2014; CEPAL, México, & Desastres., 2011; Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2003; Naciones Unidas, 2008; OCDE, 2008).

(Banco Interamericano de Desarrollo., 2005; Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2000, 2014; ONU/EIRD, 2008; United Nations Publication, 2010, 2014a). (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2010; OCDE, 2010, 2013b; Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2013; United Nations Publication, 2002, 2014b). (OCDE, 2013a, 2013c)

léxica cuyas modalidades son las formas gráficas del corpus tratado. Con esta variable se construyen las tablas de contingencia particulares.

El corpus fue tratado con el objetivo de eliminar palabras que, desde el punto de vista estadístico, no aportan información adicional y también se definió un mínimo de ocurrencia de las palabras en cada documento. Los criterios de selección fueron eliminar:

- (i) Las palabras con frecuencia mínima de 5, (ii) las palabras que no estuvieran en al menos 3 documentos, (iii) eliminar las preposiciones y conjunciones y finalmente (iv) eliminar los pronombres personales y demostrativos.

Codificamos el texto de los resúmenes en una matriz con 24 filas/resúmenes y 894 columnas/palabras (Figura 1). A esta primera tabla yuxtaponemos dos columnas correspondientes por año de publicación y organismo de referencia (Tabla 1). Esta base se usa para presentar los resultados que se presentan más adelante.

Tabla 1. Información del corpus antes y después de la selección

	Ocurrencias	Documentos	Dif/Pal	Long.Prom/Doc
Selección previa	28657	24	4653	1194
Selección posterior	14641	24	895	610

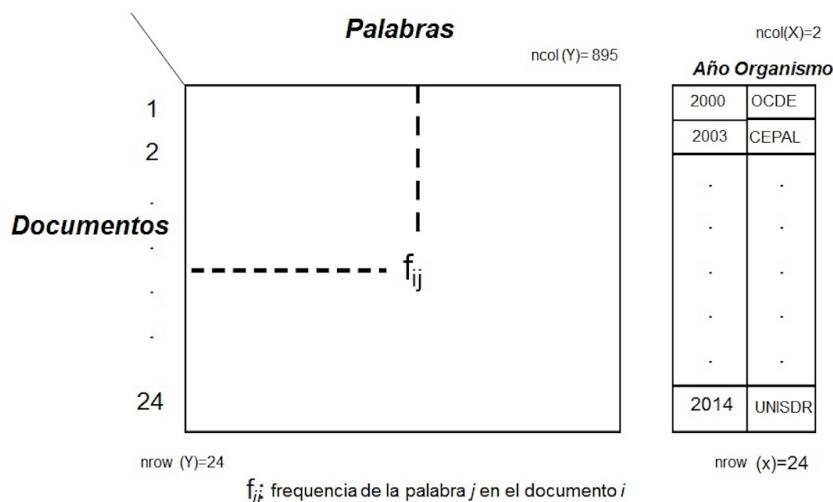


Figura 1. Tabla de Documentos x palabras y variables contextuales

3.4. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS (AC)

El método de AC, como se usa en la actualidad, es atribuible a Benzécri (1973), Escofier (2003) y Greenacre, (2008). Benzécri (1981) y Lebart et al (1985) iniciaron la aplicación de este método al campo textual Lebart et al (2000) formalizaron con un lenguaje matemático reducido esta aplicación.

El AC es un método para el tratamiento de tablas de contingencias (tablas de frecuencias de dimensiones ()) que permite estudiar las relaciones existentes entre las filas y las columnas de dicha tabla a través de la representación gráfica de las mismas simultáneamente.

3.5. HERRAMIENTAS DE SOPORTE PARA LA LECTURA DE LOS EJES PRINCIPALES METAKEYS

Kerbaol(2006) denomina metakeys a los grupos de palabras cuyas contribuciones son muy altas en un eje. De este modo tenemos dos metakeys por eje, uno positivo y otro negativo.

Una palabra puede estar presente en varios metakeys. Los metakeys formados definen temas (Hernández D., Bécue-Bertaut M., 2014; Kerbaol et al., 2006; Morin, 2006)

Para facilitar la explicación de los pasos que seguimos para la construcción de los metakeys nos apoyamos en el esquema de Morin (2006).

Herramientas visuales

La Figura 2, ilustra lo que podemos obtener en el primer espacio factorial cuando nuestros documentos son monotemáticos. Definimos A, B, C y D como grupos de temas, ya sean definidos con base en palabras o documentos.

En este caso, cada tema tiene su proyección sobre un eje. La interpretación a partir de esta figura permite identificar sin ambigüedad los distintos grupos temáticos y los documentos relacionados con ellos. Idealmente querríamos construir un esquema como éste, pues la interpretación es hasta evidente.

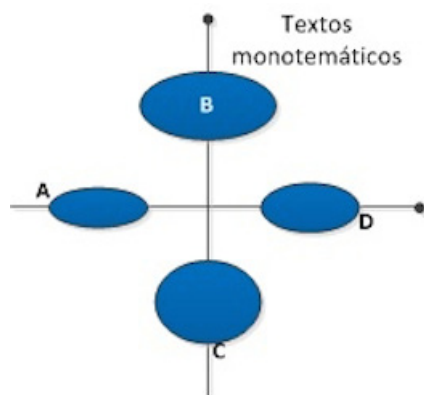


Figura 2. Esquema ideal para la identificación de temas

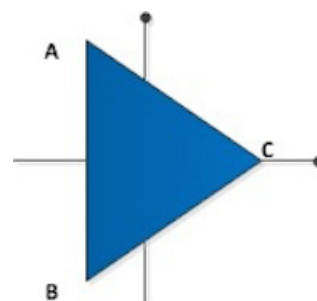


Figura 3. Esquema común

La (Figura 3) ilustra la situación más frecuente, por ejemplo algunos de los temas están bien representados (C) sobre el primer eje positivo y está en oposición con otros temas (A) y (B). Las proyecciones de los temas (A) y (B) en la parte izquierda del primer eje se mezclan. Si nos enfocamos en la parte negativa del eje, donde los temas se mezclan, será difícil interpretar los resultados.

Para poder hacerlo, seleccionamos las palabras y los documentos cuyas contribuciones a la inercia son grandes (por lo general, tres veces la contribución media por palabras o por documento); hacemos esto en cada parte de los ejes que conservamos (positiva y negativa). La inercia total sobre un eje es igual al valor propio correspondiente, de modo que el umbral es fácil de calcular. Con estas palabras formamos metakeys.

Una vez encontrados los metakeys, se requiere trabajar con expertos del campo de estudio que estamos tratando. En este punto, tenemos que mostrar los resultados de diferentes maneras pues estamos buscando una asociación significativa de palabras que podría referirse a un tema en particular.

3.6. VOCABULARIO CARACTERÍSTICO

Las palabras características identifican palabras con una frecuencia muy alta o con una muy baja frecuencia en cada parte del corpus (Lebart, L., Salem, A., & Berry, 1998). El conteo de palabras en el grupo se compara a los otros conteos que se obtendrían de todos los muestreos posibles comprendidos en , ocurrencias aleatorias extraídas de todo el corpus, sin remplazo (siendo la hipótesis nula). Si la palabra es relativamente más frecuente en el grupo que en la totalidad de los grupos, es decir, (respectivamente, menos frecuente en el grupo que en el conjunto de los grupos) con una significación estadística (p-valor < 0.05), esta palabra se considera como característica (o no característica, respectivamente) de este grupo.

IV. RESULTADOS

La (Figura 4) representa un inventario de aquellas palabras más frecuentes que constituyen el diccionario. Al analizar el vocabulario, se observa un corpus con un glosario relevante en frecuencia y contenido, del total de ocurrencias (14.461) 15,6% están representadas tan sólo por 16 palabras.



Figura 4. Las 100 palabras más frecuentes

Tabla 2. Glosario

Glosario	Frecuencia	No Documentos
Desastres	407	21
Riesgo	389	17
País	248	21
Gestión	155	16
Reducción	150	18
Desarrollo	139	18
Naturales	105	19
Información	96	17
México	92	9

Pérdidas	82	14
Condiciones	63	16
Políticas	62	12
Acciones	61	11
Cambio	58	14
Vulnerabilidad	56	15
Sistemas	54	11
Capacidad	50	14
Perdidas	82	14

No es extraño encontrar a "desastres" y "riesgo" como los dos léxicos más frecuentes, con 487 y 389 ocurrencias, respectivamente. Después se hallan aquellas palabras que definen al grupo, a este respecto fueron: gestión (155), reducción (150), México (92), pérdidas (82), condiciones (63), entre otras. (Ver Tabla 2).

También léxicos como "vulnerabilidad" se encuentra entre el segundo grupo de palabras frecuentes. Sin embargo, al comparar esta expresión con "riesgo", observamos que el número de veces que se menciona esta última es cuatro veces mayor que la primera.

Esto se explica porque el discurso en la muestra de 24 documentos estudiados, está conformada por criterios y enfoques hacia estrategias de mitigación ante contextos de desastre, y mucho menos conceptos muy específicos como resiliencia y vulnerabilidad, entre otros.

Otro grupo de palabras que llamaron nuestra atención fueron: información, pérdidas, condiciones, políticas, acciones, cambio, vulnerabilidad y sistemas.

La razón es por su ubicación en la tabla de frecuencias, en apartados posteriores se referirá a este respecto con más detalle.

4.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS TEMAS A TRAVÉS DE METAKEYS

Mediante la aplicación de un AC, a la tabla Documentos×palabras (24 informes y palabras), se crearon los metakeys/metadocs asociados con los ejes principales. Primero presentamos los resultados clásicos del AC y después los metakeys/metadocs y temas encontrados a través de éstos.

4.2. VALORES PROPIOS DEL AC

En la (Figura 5) se muestran los valores propios del AC. Los dos primeros son relativamente altos: 0.38 y 0.26, respectivamente. La proporción de inercia que conservan es relativamente débil, 11.5% y 8.0%. En conjunto, los primeros 5 ejes, explican sólo 40% de la inercia total. Esto significa que cada documento emplea un número reducido de palabras y por consiguiente, existe una asociación fuerte entre pequeños grupos de palabras y documentos.

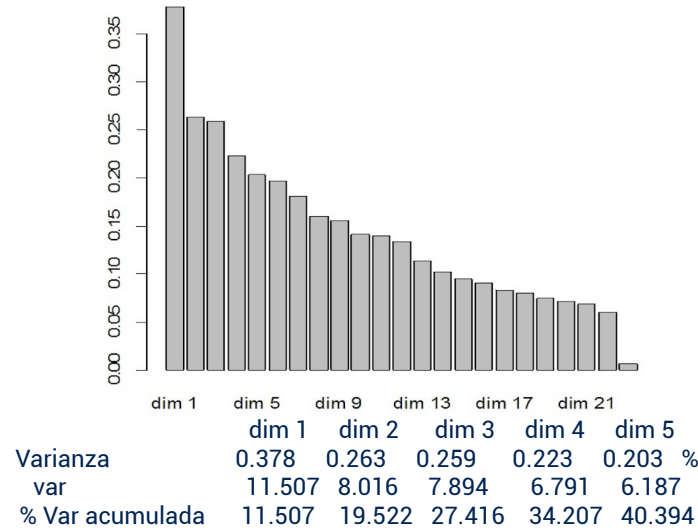


Figura 5. Valores propios del AC

4.3. NUBE DE DOCUMENTOS Y PALABRAS

Una vez establecidos los factores con mayor aporte proporcional de variabilidad, se construyó el primer plano factorial y las nubes de puntos asociadas a los documentos y a las palabras. La nube de puntos formada por las palabras es parecida a la nube de los documentos, no sólo por la dispersión, sino por la forma que presenta (Figura 6). Por la estructura de las dos nubes de puntos, podemos decir que no existe ningún documento y ninguna palabra dominantes.

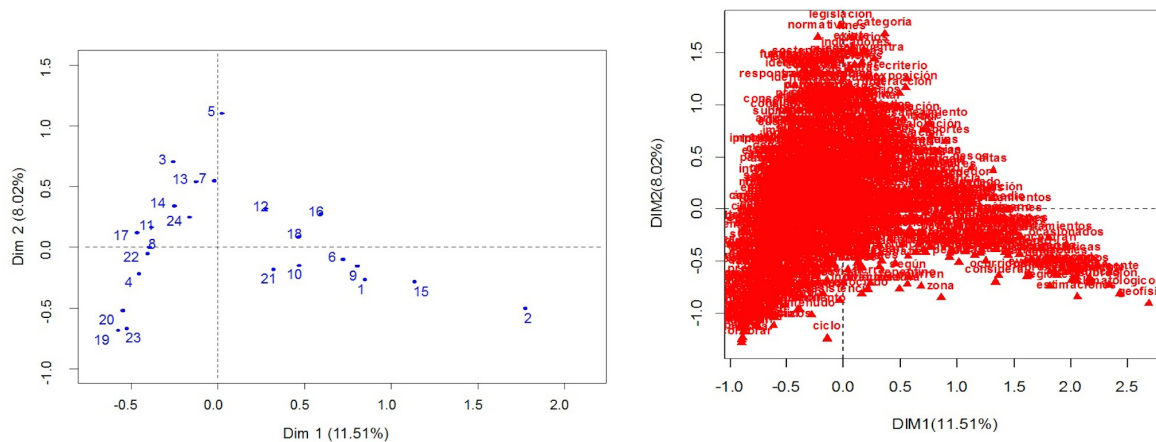


Figura 6. a) Proyecciones de los documentos sobre el primer plano principal.
b) Proyecciones de las palabras sobre el primer plano factorial

Identificación de los metakeys/metadocs

De acuerdo con la metodología propuesta por Kerbaol (2006) y Morin (Morin, 2006), se realizó un tratamiento a todas aquellas palabras con una contribución mayor a tres veces de su contribución media, esto dio origen a los metakeys, esta actividad fue acompañada de una sesión de trabajo (workshop) con un panel de expertos, algunos de ellos miembros de la Red de Desastres Climáticos (Redesclim). Producto de la discusión y las reflexiones,

se discriminaron los temas por su relevancia; el procedimiento efectuado para cada eje fue el mismo, se expone a continuación sólo el primer eje como referencia:

- Seleccionar las palabras que más contribuyen en el eje (metakeys)
- Definir el tema
- Seleccionar los documentos que más contribuyen en el eje (metadocs)

Para entender mejor la relación entre las palabras y documentos, seleccionamos los documentos más fuertemente asociados a cada extremo de los ejes, después de un análisis, identificamos y discriminamos para cada uno de ellos todas aquellas palabras que más contribuyen en función al eje que pertenecen.

En la Figura 7 se identifican los metakeys y los metadocs que caracterizan el primer plano factorial del AC. Los metakeys y los metadocs, reúnen las palabras y resúmenes cuya contribución es mayor a tres veces la contribución media de su respectivo grupo en los dos primeros ejes.

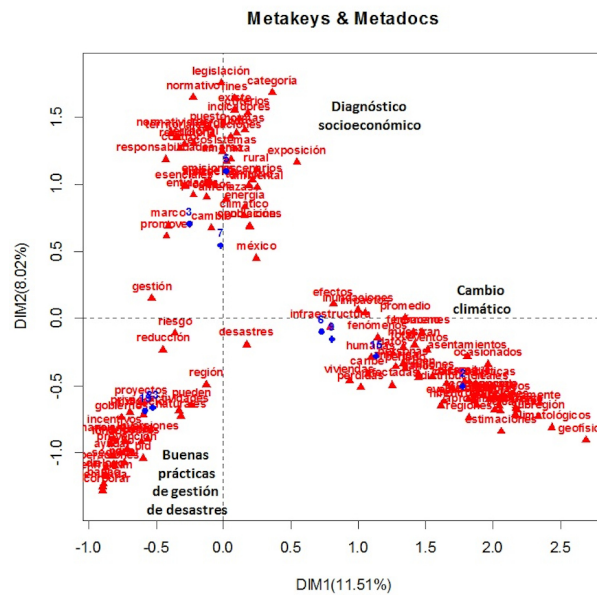


Figura 7. Palabras y Documentos (Metakeys/Metadocs) con contribuciones mayor a tres veces la contribución media en el primer eje

De acuerdo a la figura anterior, es posible identificar las cuatro nubes de palabras y resúmenes. La cantidad de ejes que consideramos para este análisis fueron cinco. En el primero, corresponde a la región positiva identificada como (DIM1+), en ella se observa un conjunto de palabras (metakey1+) relacionadas con un metadoc1+, compuesto por los documentos 2 y 9. Las palabras que destacan son: daños, pérdidas, tormentas, inundaciones, impactos, niño e infraestructura, entre otras. Este metakey1+/metadoc1+ está, a su vez, enfrentados con el segundo eje (DIM2+), donde se localiza el metakey2+ formado por las palabras: criterios, procesos, indicadores, exposición, situaciones, escenarios, por mencionar las palabras más significativas, que están estrechamente relacionadas con el metadoc2+, formado por los informes 5 y 7.

En contraste, la (DIM2-) se agrupan las palabras: prevención, seguros, mitigación, inversiones, financiamiento, pérdidas, incentivos, desastres, daños y operaciones, etc., Estos contenidos le corresponden a los metadoc2- (23 y 19).

En este mismo sentido, el metakey3+ localizado en la parte positiva del tercer eje (DIM3+), está formado por palabras tales como: subsidios, agua, producción, consumo, transporte, políticas, productividad, precios e innovación presentes en los informes (7 y 13). En cuanto

a la parte negativa (DIM3-) se refieren al riesgo, desastres, procesos, amenazas, gestión, información e indicadores como las palabras más características propios del metadoc3-. En el penúltimo metakey, ubicado en la DIM4-, figura la comunicación. Implementación, desastres, prácticas, sistema, regional, internacional, actores, estrategia, organizaciones, coordinación, resiliencia, humanitaria, redes, territorios, sociedades, y conocimiento, correspondientes al metadoc4-, compuesto con los documentos 5 y 9.

En contraste, en el metadoc5+ figuran una mayor diversidad de documentos (16, 24, 6, y 21), que se relaciona con el siguiente grupo de palabras (metakey5+), tales como: efectos, pobreza, desarrollo, huracán, impacto, factores, recuperación, reconstrucción, vulnerabilidad y ordenamiento, como las palabras caracterizadoras de esta dimensión.

Finalmente, en la (DIM5-) el grupo de palabras que conforman el metakey5- y que se asocian al metadoc5 son: lineamientos, comunicación, criterios, amenazas, tormentas, eficacia, practica, riesgo y climáticos y climatológicos.

Aunque en el gráfico sólo se presenta el primer plano factorial, hay muchos otros temas relacionados, tales como: riesgo, desastres, y daños. También figuran aquellas palabras asociadas a tópicos financieros como: inversiones, financiamiento, subsidios, fondos y precios, que fueron identificados en otros ejes.

En la (Tabla 3) se detallan metakeys que fueron identificados con un tema. Para cada uno, aparece la lista de las palabras que lo conforman, en concordancia a una contribución mayor a tres veces la contribución media, también figuran en la parte de la derecha, el nombre o nombres de los documentos relacionados a cada tema (metadocs).

Tabla 3. Metakeys y metadocs

Dimensión	Metadocs	Metakeys	Tema
DIM1+	2) Cambio climático y cambios para el turismo en América Central. 9) La estimación de los efectos de los desastres en América Latina, 1972-2010.	[1] "dólares" "millones" "daños" "mil" "geofísicos" "estimaciones" [7] "eventos" "pérdidas" "centroamérica" "datos" "cepal" "personas" [13] "sur" "tormentas" "américa" "evento" "climáticos" "afectadas" "caribe" [20] "climatológicos" "promedio" "origen" "reales" "respectivamente" [25] "características" "total" "sección" "huracanes" "erupciones" "regiones" [30] "afectada" "subregión" "viviendas" "efectos" "fenómenos" "impactos" [36] "volcánicas" "ocasionados" "asentamientos" "humanas" "período" [37] "inundaciones" "niño" "distribución" "infraestructura"	Cambio climático

<p>DIM2+</p>	<p>5) Impacto socioeconómico de las inundaciones registradas en el estado de tabasco de Septiembre a noviembre de 2011. 3) Cambio climático y cambios para el turismo en América Central</p>	<p>[1] "normatividad" "criterios" "territorial" "procesos" "indicadores" [4] "amenazas" "normativo" "ambiental" "condiciones" "fines" "normas" [7] "responsabilidades" "territoriales" "categoría" "climático" "control" [10] "cambio" "exposición" "amenaza" "legislación" "población" "área" [13] "territorio" "mexico" "escenarios" "emisiones" "rendición" [37] "promover" "ecosistemas" "entidades" "futuro" "energía"</p>	<p>Diagnóstico socio-económico</p>
<p>DIM2-</p>	<p>23) Lecciones Aprendidas de la Gestión del Riesgo en Procesos de Planificación e Inversión para el Desarrollo. 19) El desafío de los desastres naturales en América Latina y el Caribe</p>	<p>[1] "banco" "prevención" "naturales" "seguros" "mitigación" "inversiones" [7] "gobiernos" "financiamiento" "pérdidas" "financieros" "región" [12] "incentivos" "pobres" "actividades" "ayudar" "demanda" "proyectos" [18] "desastres" "estimaciones" "enfrentan" "fondos" "daños" "operaciones"</p>	<p>Buenas prácticas de gestión de desastres</p>
<p>DIM3+</p>	<p>7) Manual para la Evaluación de Desastres. 13) Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe, 1990-2011 Tendencias.</p>	<p>[1] "México" "subsidios" "energía" "emisiones" "crecimiento" "ambientales" [7] "biodiversidad" "agua" "producción" "consumo" "economía" "transporte" [13] "políticas" "invernadero" "esfuerzos" "productividad" "precios" "ley" [19] "gases" "desafíos" "efecto" "ingresos" "costos" "objetivo" "innovación" [26] "económicos"</p>	<p>Manuales y lineamientos</p>
<p>DIM3-</p>	<p>7) Manual para la Evaluación de Desastres</p>	<p>[1] "normatividad" "riesgo" "responsabilidades" "desastres" "procesos" [6] "territorial" "condiciones" "territoriales" "normativo" "criterios" [11] "amenazas" "gestión" "incipiente" "información" "indicadores"</p>	<p>Normas y criterios</p>

DIM4+	11) Perspectivas OCDE: México Políticas Clave para un Desarrollo Sostenible. 17) Evaluación de la Política y la práctica operativa del Banco frente a desastres naturales e inesperados.	[1] “comunicación” “implementación” “naciones” “lineamientos” “desastres” [6] “mundial” “prácticas” “caribe” “sistema” “sostenible” “regional” [12] “coordinación” “actores” “subregionales” “estrategia” “consideraciones” [17] “internacional” “organizaciones” “desarrollo” “resiliencia” “humanitaria” [22] “regionales” “redes” “territorios” “sociedades” “conocimiento”	Política ambiental
DIM4-	4) Tabasco: características e impacto socioeconómico de las lluvias extremas de 2008. 8) Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres.	[1] “viviendas” “banco” “país” “amenazas” “criterios” “datos” “riesgo” [6] “indicadores” “tendencias” “categoría” “exposición” “zonas” “acceso” [16] “normas” “prevención” “pronósticos” “inversiones” “servicios” “análisis”	Diagnóstico sectorial
DIM5+	16) Gestión de riesgo de desastres naturales. 24) El cambio climático y reducción del riesgo. 6) Impacto socioeconómico de las inundaciones registradas en el estado de Tabasco de septiembre a noviembre de 2011. 21) Huracán Mitch: Una mirada a algunas tendencias temáticas para la reducción del riesgo.	[1] “mitch” “efectos” “pobreza” “desarrollo” “estimación” “económica” [7] “consecuencia” “transversales” “huracán” “impacto” “incidencia” [12] “factores” “afectado” “recuperación” “reconstrucción” “vulnerabilidad” [17] “ordenamiento” “sociales” “adaptación”	Estudio de caso huracán Mitch
DIM5-	2) Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe	[1] “lineamientos” “comunicación” “mexico” “exposición” “criterios” [6] “amenazas” “tormentas” “comunicaciones” “eficacia” “prácticas” [11] “riesgo” “categoría” “climáticos” “aumentar” “climatológicos” [16] “estimaciones”	Estadísticas

4.5. DESARROLLO CRONOLÓGICO

En este apartado, mediante la reagrupación de los documentos por años y la aplicación de cuatro métodos (AC, Método de Clasificación, palabras características e Incrementos Característicos), analizamos la evolución del vocabulario utilizado, identificamos las similitu-

des y oposiciones de los años de acuerdo a las palabras usadas, determinamos períodos en que se manifiestan cambios importantes en el vocabulario y estudiamos la evolución progresiva de estos cambios (Tabla 4).

Construimos la tabla léxica agregada años-agregados × palabras, donde los años son las filas y las palabras las columnas. La matriz consta de 5 filas/años y 895 columnas/palabras (Figura 8).

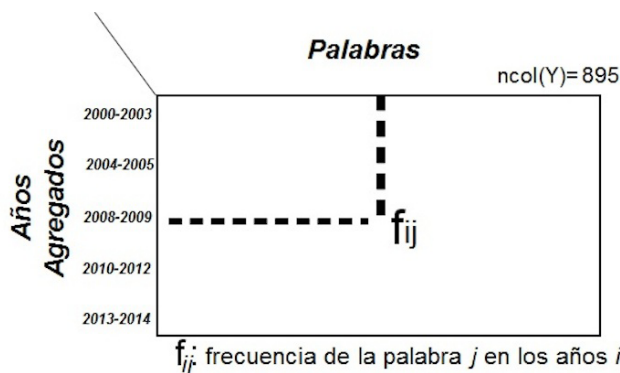


Figura 8. Matriz años agregados y palabras

TABLA 4. DISTRIBUCIÓN DE LOS DOCUMENTOS Y PALABRAS EN POR GRUPO DE AÑOS

Documentos	Ocurrencias	% Total	Palabras	Palabras	Ocurrencias	
	(antes)		(antes)	(después)	(después)	
2000-2003	4	5235	18.27	1658	683	2883
2004-2005	2	3150	10.99	1084	513	1786
2008-2009	4	2572	8.98	1012	434	1166
2010-2012	5	5081	17.73	1735	643	2391
2013-2014	9	12619	44.03	2756	840	6415
Total	24	28657	100.00	1194	895	14641

4.6. VALORES PROPIOS

En la (Tabla 4) se muestran los valores propios del AC, se observa que los valores son más pequeños que en el análisis anterior, esto es común en el análisis de tablas léxico agregadas. El primer valor propio es de 0,25 y el segundo es de 0,15. Esto indica que existe aún considerable vocabulario común. Respecto a la variabilidad explicada por los ejes, vemos que los dos primeros ejes explican casi el 70% de la variabilidad total.

Tabla 5. Valores propios del AC a la tabla léxica agregada

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4
Variancia	0.251	0.154	0.130	0.053
% de var.	42.690	26.219	22.008	9.083
% Var. Acumulado	42.690	68.909	90.917	100.000

Una de las cuestiones que se plantearon en un inicio, fue en relación a la posibilidad de explorar los cambios en el vocabulario a través del tiempo. La (Figura 9) explica la existencia de cambios en el vocabulario utilizado, se ven representados por los períodos: (i) de (2000 a 2005), (ii) de (2008 a 2012) y (iii) (2013 a 2014).

En el primer periodo identificado, se puede concluir que los temas se focalizaron en identificar los elementos asociados al riesgo, estrategias de prevención y mitigación de daños. Otro de los aspectos centrales fueron la formulación y evaluación de proyectos, mismos que estuvieran respaldados por mecanismos, instrumentos e incentivos que permitieran financiar dichas iniciativas. El sector Gubernamental se hizo patente, en los diversos informes en este periodo como un organismo garante de la seguridad en las regiones.

Entre el 2008 y 2012, los temas centrales fueron la capacidad de adaptación, implementación y desarrollo de las regiones. Se argumentó la importancia del trabajo colaborativo y de generar redes para reducir los impactos en las regiones afectadas.

A diferencia de los dos periodos anteriores, en los últimos dos años (2013-2014), se representó sobre un creciente interés, de mantener estimaciones, indicadores y procesos ágiles que permitieran darle un seguimiento a los recursos destinados para mitigar los daños. También se hizo referencia a la normatividad subyacente a la exposición inherente al riesgo, y eventuales desastres en las zonas de estudio.

En síntesis se puede decir que la última década se ha orientado a identificar los factores de riesgo como eje central de estudio, acompañado por el aspecto financiero que ha sido notable en los diferentes periodos analizados. Este factor se acompaña de prácticas encaminadas a la evaluación, búsqueda de mecanismos y de indicadores confiables como instrumentos para la asignación de recursos.

Palabras relevantes como operaciones, coordinación, organizaciones, paradójicamente sólo aparecen en algunos períodos. La palabra estrategia, se puede encontrar en los documentos referidos entre el 2000-2005, después se disipa en los siguientes, en contraste la palabra sistemas se mantiene vigente desde el 2000 al 2012.

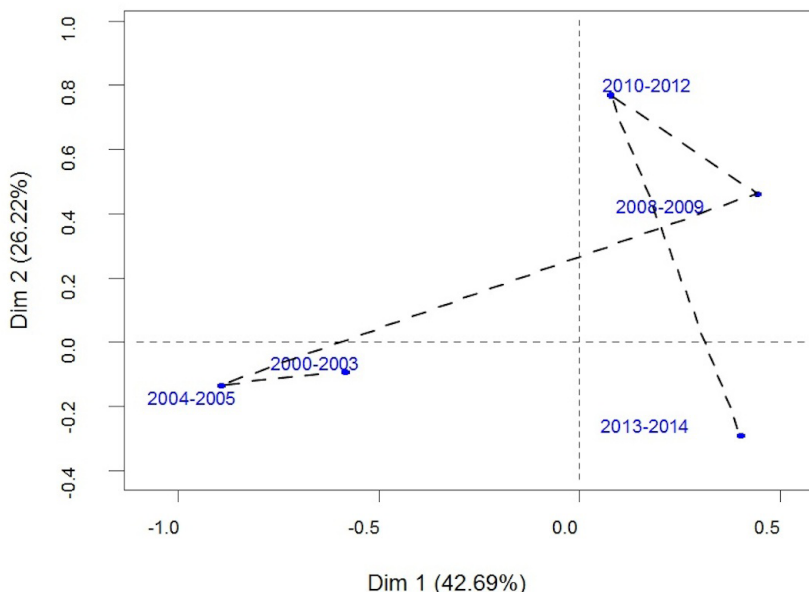


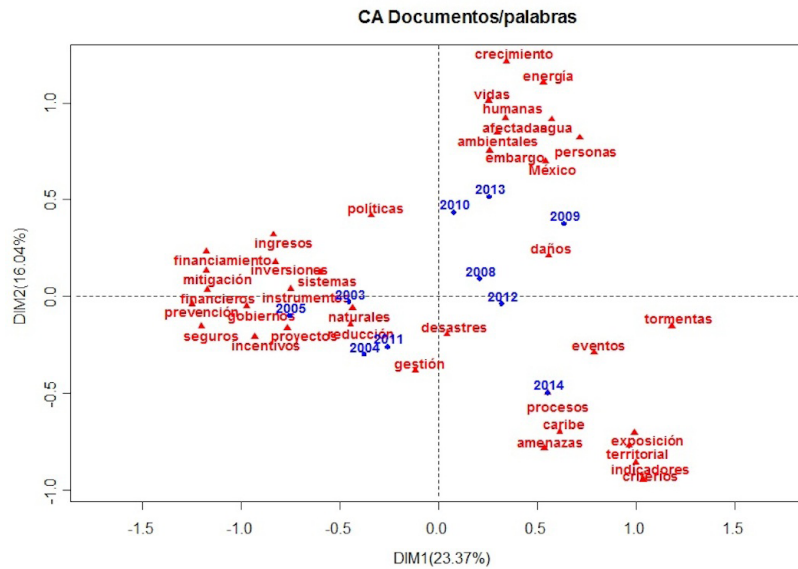
Figura 9. Análisis de correspondencias

Para explicar la relación entre los años y el vocabulario utilizado, se clasificaron las palabras que se relacionan en los periodos de estudio, la (Figura 10) ilustra la distribución espacial de palabras y al margen un listado de ellas. Esta conjugación de elementos nos permitió inferir que fue lo que determinó cada uno de los periodos.

De acuerdo a la segmentación propuesta (figura anterior), revela que los periodos de (2000 a 2005), está definido por sus características léxicas y la evolución del vocabulario, particularmente en palabras como: prevención, incentivos, evaluación, operaciones, riesgo, sistemas, estrategias y operaciones, por mencionar algunas.

Los resultados son congruentes y similares a los análisis previos, en cuanto a permanen-

cia y consistencia. Se infiere que los cambios del léxico son debidos principalmente a la ocurrencia de fenómenos característicos en ciertas instancias y momentos previos a la publicación de los (IRT), como por ejemplo el huracán Mitch, que dio origen a diversos estudios, diagnósticos e informes de daños.



Desarrollo	Vocabulario	Período
Diagnósticos	[1] “prevención” “mitigación” “seguros” “inversiones” “proyectos” [6] “gobiernos” “incentivos” “financiamiento” “instrumentos” “evaluación” [11] “operaciones” “riesgo” “sistemas” “mecanismo” “experiencia” [16] “estrategias” “preparación”	“2000-2005”
Instrumentación de iniciativas sostenibles para el desarrollo	[1] “sostenible” “adaptación” “implementación” “desarrollo” [5] “reducción” “regional” “organizaciones” “global” “contribuir” [10] “internacional” “transversales” “local” “incluyente” “subsidios” [15] “sistemas” “relación” “agencias” “aumento” “flujos” “redes” [21] “trabajo” “agua” “diseño” “leyes” “mundial” “coordinación”	“2008-2012”
Estimaciones e indicadores	[1] “datos” “méxico” “millones” “personas” “climático” “daños” [7] “promedio” “eventos” “procesos” “agua” “criterios” “territorial” [13] “viviendas” “dólares” “riesgo” “promedio” “normatividad” “exposición” [19] “condiciones” “daños” “estimaciones” “indicadores”	“2013-2014”

Figura 10. Evolución del vocabulario

También se destaca (a partir de la misma figura), como los informes técnicos ligados a diversos eventos ocurridos entre (2008 a 2012) incorporan en su discurso palabras como reducción, adaptación y desarrollo, propiciando una mayor diversidad y comprensión de los resultados en cuanto a la evolución del discurso. Por citar algunas expresiones tales como: sostenible, incluyente, redes y coordinación, se mencionan en periodos específicos y luego se prescinden de ellas, reduciéndose a vocablos tales como: daños, riesgos e indicadores.

En este mismo orden de ideas, un análisis importante fue identificar los incrementos y decrementos de aquellas palabras en los periodos de estudio. En este sentido, se observa que entre (2000 y 2003), los informes y reportes técnicos estudiados (IRT), versaron en relación a los efectos del huracán Mitch (Tabla 6).

Por lo tanto se explica que los estudios se avocaron a argumentar la importancia de obtener apoyos y potenciar el desarrollo de la región afectada, algunas palabras relevantes fueron: emergencias, gestión, préstamos y riesgo, esta última se cita en (80) ocasiones en el periodo (2004-2005), y de manera global (389) citas.

El vocabulario en este período se acompañó de palabras tales como gestión (33) y reducción (30). En contraste las que desaparecieron del léxico fueron reconstrucción (14), prevención (53), y vulnerabilidad (24).

Tabla 6. Incremento y decremento del vocabulario 2000-2003

Incrementos	Decrementos
2000-2003	2000-2003
2004-2005 [[2]]increment [1] “banco” “emergencias” “gestión” “inesperados” “naturales” [6] “política” “préstamos” “programación” “recomendaciones” “riesgo”	2004-2005 [[2]]decrement [1] “ambientales” “apoyo” “desarrollo” “efectos” [5] “huracán” “mitch” “sistema” [8] “sociales” “vulnerabilidad”
2008-2009 [[3]]increment [1] “actividad” “adaptación” “agrícola” “agua” “amenazas” [6] “asentamientos” “aumento” “cambio” “climáticos-climatológicos” [10] “degradación” “deslizamientos” “desplazamiento” [13] “estatal” “eventos” “humanas” “impactos” “implementación” [18] “inundaciones” “lluvias” “normas” “ordenamiento” “patrones” [23] “pérdidas” “período” “personas” “precipitaciones” “procesos” [28] “producción” “redes” “regionales” “resiliencia” “rural” [33] “sequías” “subregional-subregionales” “temperaturas” [36] “tormentas” “zonas”	2008-2009 [[3]]decrement [1] “actividades” “desarrollo” “estrategias” “evaluación” [5] “enfoque” “financiamiento” “financieros” “fondos” “gestión” [9] “incentivos” “ingresos” “instituciones” “instrumentos” “inversiones” [14] “mecanismo” “mecanismos” “Mitch” “mitigación” “naturales” [19] “objetivos” “país” “política” “políticas” “prevención” [24] “privado” “proyectos” “riesgo” “sector” “seguros” “sistemas” [30] “vulnerabilidad”

Las palabras que se incorporaron entre (2008 y 2009) muestran un creciente interés de los organismos particularmente en temas de desastres (44), pérdidas (13) y su recuperación (31), esta última refiere las citas globales y su relevancia se extiende hasta el año 2014. Un evento hidrometeorológico recurrente en la historia de los desastres en México han sido las inundaciones, a pesar de los daños y efectos por desastre del huracán “Mitch” en el periodo (2008-2009) tan solo se le refiere en 8 ocasiones y de manera global, 21. En contraste a las tormentas que tuvieron una frecuencia interna y global de (8 y 17) res-

pectivamente. Esta última dentro del grupo de palabras características vinculadas a los fenómenos hidrometeorológicos tales como: precipitaciones y lluvias.

Otro aspecto que cobra relevancia fue la aparición de conceptos como degradación, impactos y resiliencia, esta última tan sólo referida en el 2011 en 4 ocasiones y de forma global (11).

En ese año se llevaron a cabo estudios vinculados al cambio climático, y se estudiaron nuevos tópicos relacionados con zonas y regiones vulnerables, se refieren iniciativas sobre políticas, procesos y sistemas que deberían ser articuladas para que las regiones sean cada vez más resilientes frente a los eventos climáticos.

A pesar de que algunos tópicos de interés anteriores a 2009 se mantuvieron en los años siguientes, se observa más homogeneidad en el vocabulario observado entre (2008 y 2009) en contraste con (2004 y 2005), esto se deduce por el mayor número de palabras cronológicamente características entre estos periodos. Esta observación se ve reforzada por la gran similitud entre los incrementos de los léxicos observados.

Tabla 7. Incremento y decremento del vocabulario 2010-2012 y 2013-2014

Incrementos	Decrementos
2010-2012 [[4]]increment [1] “adaptación” “agricultura” “américas” “cambio” [5] “capacidades” “ciudad” “climático” “comunicación” [9] “conocimiento” “contexto” “coordinación” “crecimiento” [13] “desarrollo” “diversidad” “economía” “emisiones” [17] “energía” “entidades” “generar” “humanitaria” “implementación” [21] “impulsar” “incluyendo” “incluyente” “intercambio” [25] “internacionales” “ley-leyes” “local” “manera” “marco” [30] “mecanismos” “naciones” “nivel-niveles” “organismos” [34] “procesos” “pública” “reciente” “regional” “relación”	2010-2012 [[4]]decrement [1] “actividades” “áreas” “asegurar” “ayudar” “banco” “capacidad” [5] “códigos” “condiciones” “demanda” “financiamiento” “fondos” [13] “funcionamiento” “grupos” “huracán” “incentivos” [21] “institucionales” “inversiones” “mecanismo” “menos” “Mitch” [29] “mitigación” “naturales” “operaciones” “pérdidas” “período” [33] “personas” “poner” “préstamos” “prestatarios” [37] “prevención” “privados” “proyectos” “reconstrucción” “reducir” [41] “riesgo” “seguros” “técnica” “vulnerabilidad” “zonas”
2013-2014 [39] “afectación” “afectadas” “ambientales” “amenazas” “resolución” “sostenible” “subregionales” “subsídios” “asociados” “baja” “bases” “biodiversidad” “bosques” “territorios” [12] “características” “caribe” “Centroamérica”	2013-2014 [[5]]decrement [1] “acciones” “adaptación” “agenda” “aguas” “asistencia” “atención” [7] “casos” “comité” “comunidades” “contribuir” “cooperación”
“climáticos” [16] “comunicación” “condiciones” “control” “costa” “costos” [21] “criterios” “cumplimiento” “daños” “datos” “distribución” [26] “economías” “efectos” “embargo” “energía” “escenarios” [31] “estimaciones” “estudios” “eventos” “exposición” “expuestos” [36] “fenómenos” “frecuencia” “fuentes” “geofísicos” [40] “identificadas” “importantes” “incipiente” “incremento” [44] “indicadores” “índice” “información” “infraestructura” [48] “legislación” “lineamientos” “muestra” “muestrean” “normas”	[12] “demanda” “desarrollo” “estrategias” “evaluación” “experiencia” [17] “factores” “financiamiento” “financieros” “fondos” [21] “instrumentos” “instituciones” “funcionamiento” “gobiernos” [25] “incentivos” “ingresos” “internacional” “inversiones” “mecanismo” [30] “mercado” “miembros” “mitigación” “naciones” “naturales” [35] “necesidades” “operaciones” “organismos” “organizaciones” [39] “participación” “políticas” “preparación” “préstamos” “prevención” [44] “privados” “programación” “proyectos” “recursos” “redes” [49] “reducción” “región” “seguros” “sistemas” “sociedad”

<p>[53] "normatividad" "ocurrencia" "pérdidas" "personas" "procesos" [58] "promedio" "protección" "recuperación" "reportes" [62] "respectivamente" "responsabilidades" "sectoriales" "similar" [66] "sismos" "sistemática" "territoriales" "subregión" "tendencia" [71] "terremoto" "territorial" "territorio" "valoración" "variables" [76] "vidas" "viviendas"</p>	<p>[54] "sostenible" "subregionales" "transversales" "vulnerabilidad"</p>
---	---

Por ejemplo, adaptación aparece desde el 2012 y su uso permanece hasta el 2014. Las palabras capacidades (50), procesos (46), evaluación (46), incentivos (24) y subsidios (19) fueron referenciados globalmente en una media de 37 ocasiones (Tabla 7).

La mayor parte de las investigaciones se han centrado en los desastres (407), riesgos (389), gestión (155) y reducción (150). Por otra parte aspectos positivos para contrarrestar estos efectos se mencionan: desarrollo (139), prevención (64), acciones (61), capacidad (50), mitigación (49) y evaluación (46), por mencionar algunos.

En cuanto a las acciones a implementar (36), inversiones (29), normatividad (34) y recuperación (31) estas dos últimas menciones se han citado en los dos últimos años, mientras que las implementaciones e inversiones se dejaron de mencionar desde el 2005.

Parece ser que la tendencia de las investigaciones futuras se centrará entorno reducción de daños, destinando recursos para proteger a la población, mediante iniciativas dirigidas por los gobiernos implementando cada vez más instrumentos con enfoque ambiental. La metodología se vuelve más compleja y requiere de métodos estadísticos más sofisticados y multidisciplinarios.

La segmentación sugerida en la (Figura 11) conforme a los períodos (2003-2004), (2005-2008), (2009-2010), (2011-2012) y (2013-2014), discutidos anteriormente, están representados por sus características léxicas, por la evolución del vocabulario y guardan congruencia con los apartados referidos en las secciones anteriores. Los cambios en el léxico son debidos, principalmente, al desarrollo mismo de la investigación, a la presencia de eventos climáticos en tiempo y magnitud.

V. CONCLUSIONES

Mediante el análisis textual, pudimos explorar y extraer los temas vinculados a la prevención de riesgos y desastres naturales en México, identificar los temas clave por periodos de publicación, así como los las palabras típicas de los documentos estudiados.

La metodología permitió identificar a partir de un conjunto de documentos las características entorno a la evolución de los temas y del vocabulario en el tiempo. Partiendo de este desarrollo, es posible inferir el progreso de la investigación en temas muy puntuales, fue posible identificar, definir y caracterizar los períodos de la investigación en función a los temas y palabras principales.

Por ejemplo, si el lector quisiera documentarse sobre el cambio climático, sólo tendría que remitirse a los documentos donde se aborda el tema, y no al conjunto muestra. Por ejemplo los documentos 2 y 9, refieren tópicos selectos entorno al Diagnóstico socioeconómico (5 y 3). También se identificaron otras temáticas de interés como: Buenas prácticas de gestión de desastres (23, 19, 7,13), Normas y criterios (7) y Política ambiental (11 y 17).

Para el caso del Diagnóstico sectorial, puede remitirse al Estudio de caso huracán Mitch (16, 24, 6, y 21), podrá notar que fueron diversos documentos los que lo abordaron, finalmente para explorar datos y cifras para América Latina, podrá examinarse la referencia (2).

Es importante destacar que para este ejercicio, nos orientamos en tratar un tema ampliamente estudiado en América Latina y México, la gestión del riesgo y los desastres naturales. Este ejercicio de análisis, nos permitió enriquecer el estado del arte, discriminar obras irrelevantes y contribuyó de manera importante para focalizar las brechas y redundancias temáticas, identificando áreas de oportunidad y explorar nuevas líneas de investigación. Un objetivo también importante fue ampliar y diversificar las contribuciones de la metodología del análisis textual, empleando como soporte una función programada con el software R.

Aún existen relaciones complejas entre las palabras características y léxico de los informes analizados, esto requerirá en una segunda instancia aplicar métodos estadísticos más sofisticados y multidisciplinarios.

Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos, Conacyt.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acción, P. De, América, D., Rolando, L., Vargas, D., & Morales, L. D. (2014). Guía para la Aplicación de Criterios en la Identificación de Acciones Claves para la Planificación de la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) en América Latina y el Caribe.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2000). El desafío de los desastres naturales en América Latina y el Caribe Plan de acción del BID.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2003). GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES NATURALES.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2005). Banco Interamericano de Desarrollo Evaluación de la Política y la práctica operativa del banco frente a naturales e inesperados.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2014). Informe iGOPP Regional.
- Bécue, M. (2010). Minería de textos. Aplicación a preguntas abiertas en encuestas.
- Bécue-Bertaut, M., Kostov, B., Morin, A., & Naro, G. (2014). Rhetorical Strategy in Forensic Speeches: Multidimensional Statistics-Based Methodology. *Journal of Classification*, 31(1), 85–106. doi:10.1007/s00357-014-9148-9
- Benzécri, J. P. (1973). *Analyse des données. Analyse des correspondances (Vol. 2)*. (P. Dunod., Ed.).
- Benzécri, J. P. (1977). *Histoire et Préhistoire de l'Analyse des Données. Partie V: l'Analyse des Correspondances. Les Cathiers de l'Analyse Des Données*, 2, 9–40.
- Benzécri, J. P. (1981). *Pratique de l'analyse des données. Linguistique & lexicologie (Vol. 3)*. (P. Dunod., Ed.).
- CEPAL, S. S. en M., México, C. N. de P. de, & Desastres. (2011). TABASCO : CARACTERÍSTICAS E IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE LAS LLUVIAS.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2003). Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres.
- Escofier, B. (2003). *Analyse des correspondances*. (P. Dunod, Ed.).
- Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. (2010). *Lecciones Aprendidas de la Gestión del Riesgo en Procesos de Planificación e Inversión para el Desarrollo Lecciones Aprendidas de la Gestión del Riesgo en Procesos de Planificación e Inversión para el Desarrollo*.
- Greenacre, M., L. P. (2008). La práctica del análisis de correspondencias. Fundación BBVA.
- Hernández D., Bécue-Bertaut M., B. I. (2014). How scientific literature has been evolving over the time ? A novel statistical approach using tracking verbal-based methods . (pp. 2185–2199).

- Hernández Daría, B.-B. M. (2012). BiblioMineR: una herramienta estadística para la revisión bibliográfica. Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/16500/1/memoria.pdf>
- Kerbaol, M., Bansard, J., & Coatrieux, J. L. (2006). An analysis of IEEE publications. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 25(April), 6–9.
- Labbé, D. (n.d.). Analyse des données textuelles et Statistique lexicale (Textual Data Analysis and Lexical Statistics), 1–9.
- Labbé D. (1990). Normes de saisie et de dépouillement des textes politiques. *Cahier Du CERAT*, 1–135.
- Lebart, L., Salem, A., B. M. (2000). Análisis estadístico de textos. (Milenio, Ed.).
- Lebart, L., Salem, A., & Berry, L. (1998). Exploring textual data. (D. Kluwer, Ed.).
- Legendre, P., Legendre, L. (1998). Numerical Ecology. (A. E. Science., Ed.) (2nd ed.).
- Morin, A. (2006). Intensive use of factorial correspondence analysis for text mining: application with statistical education publications. *Statistics Educational Research Journal (SERJ)*, (1990), 1–6.
- Naciones Unidas. (2008). La gestión del riesgo de desastres hoy.
- OCDE. (2008). Territorial Reviews Yucatán, Mexico. Merida, México.
- OCDE. (2010). Perspectivas OCDE : México Políticas Clave para un Desarrollo Sostenible.
- OCDE. (2013a). Evaluación de desempeño ambiental.
- OCDE. (2013b). Evaluaciones de la OCDE sobre el desempeño ambiental.
- OCDE. (2013c). Sistema Nacional de Protección Civil.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2000). Huracán Mitch: Una mirada a algunas tendencias temáticas para la reducción del riesgo.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2013). Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe , 1990-2011.
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2014). Criterios en la Identificación de Acciones Claves para la Planificación de la Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) en América Latina y el Caribe.
- ONU/EIRD. (2008). El cambio climático y la reducción del riesgo de desastres.
- United Nations Publication. (2002). Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales.
- United Nations Publication. (2010). Cambio climático y retos para el sector turismo en Centroamérica.
- United Nations Publication. (2014a). Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe.
- United Nations Publication. (2014b). La estimación de los efectos de los desastres en América Latina 1972-2010.

CAPÍTULO 12

DISEÑO DE PLANES DE CONTINGENCIA ANTE DESASTRES NATURALES: EL CASO DE LA DISTRIBUCIÓN DE AYUDA HUMANITARIA BALANCEADA Y SU SOLUCIÓN CON TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN CLÁSICAS Y DE VANGUARDIA.

Ivo Erasmo Buzón Cantera^{a*}, Ángel Ruiz Bartolomé^b y Jaime Mora Vargas^a

Tecnológico de Monterrey Campus Estado de México. Atizapán de Zaragoza, México

^{a*} jmora@itesm.mx

Université Laval. Quebec, Canadá^b

RESUMEN

México es un país frecuentemente afectado por desastres naturales, como terremotos o inundaciones. Algunos desastres ocurridos en México en la última década han generado gran devastación, dejando a una gran cantidad de personas desvalidas que necesitan de la ayuda humanitaria para sobrevivir. La distribución de ayuda humanitaria tras un desastre busca satisfacer las necesidades básicas de los afectados. Ayuda humanitaria insuficiente, carencia de unidades de transporte, y una red de comunicación dañada son problemas que se presentan frecuentemente los administradores. Ante esta situación es importante considerar la realización de una distribución balanceada, en la cual el principal objetivo es repartir la ayuda humanitaria disponible de manera justa y equitativa entre los afectados. Para considerar todos estos elementos se presenta un modelo de ruteo para la gestión del abastecimiento y la distribución de la ayuda humanitaria. El modelo es resuelto mediante un algoritmo híbrido entre un algoritmo metaheurístico y un método exacto, es decir, un algoritmo mateheurístico. Este trabajo está orientado hacia el diseño de planes de contingencia ante desastres naturales.

ABSTRACT

México is a country where natural disasters occurs every year, mainly hidrometeorological disasters (floods and storms). Some of those disasters occurred during last decade had provoqued great devastation with a considerable number of people affected all of them with needs of humanitarian aid in order to survive. Humanitarian aid distribution. The humanitarian aid distribution after a disaster aims to meet the basic needs of those affected. The insufficient aid, lack of transport units and damaged communication network are problems that frequently occur. In this situation it is important to consider conducting a balanced humanitarian aid distribution, with the main objective to deliver available humanitarian aid in a fairly and equitably way among those affected. This chapter presents a hybrid optimization model for decision making in the humanitarian logistics supply chain. This paper is oriented to the design of contingency plans for natural disasters of sudden origin.

Palabras Clave: Distribución de ayuda humanitaria, Mateheurístico, Recocido simulado.

I. INTRODUCCION

De acuerdo a los términos de referencia del Sistema Nacional de Protección Civil de Mé-

xico (2011) se define un desastre como un evento concentrado en tiempo y espacio, en el cual la sociedad o una parte de ella sufre un severo daño e incurre en pérdidas para sus miembros, de tal manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento de las actividades esenciales de la sociedad, afectando el funcionamiento vital de la misma. Un desastre produce destrucción, pérdidas humanas y materiales, dejando a una población desvalida que no puede satisfacer sus necesidades básicas. Las infraestructuras han sido parcial o totalmente destruidas y las cadenas de suministros habituales no operan en sus condiciones normales. Tras un desastre es necesaria la puesta en marcha de la logística humanitaria de manera rápida y eficaz, sustituyendo a la logística comercial. Sheu (2007) define a la administración de la logística humanitaria como un proceso de planeación, administración y control de los flujos de ayuda humanitaria, información y servicios desde los puntos de origen (centros de acopio) hasta los puntos de destino para satisfacer las necesidades urgentes de las personas afectadas en condiciones de emergencia. Dentro de la logística humanitaria, la distribución de ayuda humanitaria (DAH) es la actividad que realiza el transporte de la ayuda humanitaria desde el centro de distribución local (CDL) a los puntos de distribución (PD) a partir de los cuales la ayuda humanitaria es repartida directamente a la población afectada. Balcik y col. (2008) establecen que un mal desempeño de la DAH produce sufrimiento a los afectados por una privación de sus necesidades básicas. Kovacs y Spens (2007) indican que el atraso en el suministro de ayuda humanitaria puede resultar en pérdida de vidas; en consecuencia, un buen plan de la DAH es absolutamente necesario para repartir la ayuda humanitaria disponible. Huang y col. (2012) y Perez y col. (2010) resaltan que el plan de DAH es realizado frecuentemente de manera improvisada y puede conducir a un uso ineficiente de los recursos, a una respuesta lenta y a una injusta distribución de la ayuda. De manera similar, Ergun y col. (2011) argumentan que las personas responsables de la administración de la cadena de suministro y de la logística humanitaria en la mayoría de las organizaciones no son especialistas y no poseen las herramientas o sistemas adecuados para resolver los problemas relacionados con la DAH. De acuerdo a la literatura disponible, una respuesta exitosa a un desastre no es improvisada; Van Wassenhove (2006) recomienda la planeación de la ayuda humanitaria como garantía para establecer la respuesta más efectiva, sin embargo, la realización del plan para la DAH de manera rápida y óptima es una tarea difícil. Aunque la distribución de ayuda humanitaria es diferente a los problemas clásicos de distribución, las técnicas de investigación de operaciones aplicadas a la DAH pueden mejorar su eficiencia y eficacia considerablemente.

Este trabajo propone un modelo para el problema de DAH balanceada o "justa" entendiendo por esto que la ayuda humanitaria se distribuye en forma equitativa así como en el momento adecuado entre la población afectada por un desastre natural. El modelo se extiende a varios periodos e incluye las decisiones de ruteo y de asignación de ayuda humanitaria a los PD; a fin de realizar una distribución balanceada se considera como función a optimizar a la satisfacción atrasada de la demanda así como el inventario en los PD. El modelo toma como base una formulación clásica del problema de ruteo de vehículos propuesto por Toth y Vigo (2002). Para resolver el problema de DAH balanceada se desarrolla un método híbrido de optimización basado en un algoritmo de inteligencia artificial (recocido simulado) que integra la solución de un sub-problema de programación entera para realizar una exploración del espacio de soluciones de manera eficiente.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 DESASTRES NATURALES EN MÉXICO

En México el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) es el organismo público instituido para crear, gestionar, promover y evaluar políticas públicas para la reducción de riesgos, conducir la Escuela Nacional de Protección Civil, coordinar sistemas de información sobre riesgos y sistemas de alerta e impulsar una cultura nacional en materia de protección civil. El CENAPRED realiza anualmente un reporte detallado de los desastres ocurridos en México; lamentablemente en estos reportes anuales no se presenta información sobre la cadena de suministro humanitaria o bien sobre el método o herramientas para la apoyar la toma de decisiones en la distribución de la ayuda humanitaria. Sin embargo los reportes del CENAPRED muestran la complejidad de la administración de la logística humanitaria en los desastres ocurridos en México. Todos los datos presentados en esta sección provienen de los reportes “Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana” del CENAPRED (2009) y CENAPRED (2014).

Desde el año 2000 al 2012, los desastres de origen hidrometeorológicos son el tipo de desastre que más afecta a México, causando generalmente más del 90% de las pérdidas económicas. La figura 1 muestra el valor de las pérdidas económicas en millones de pesos desde el año 1999.

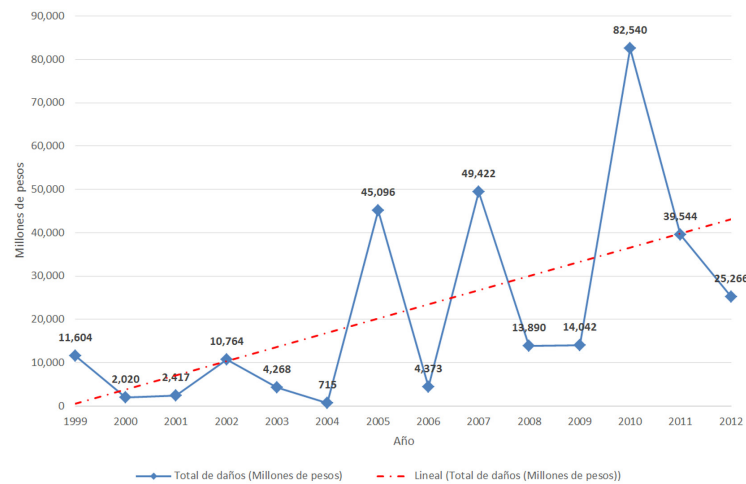


Figura 1. Costo de los desastres hidrometeorológicos, fuente CENAPRED (2014).

Como ejemplo de la complejidad y magnitud de los desastres hidrometeorológicos (los cuales por su definición son súbitos y de origen natural) se tiene a las inundaciones de 2007 en el estado de Tabasco. Dicho estado tiene un alto riesgo de sufrir inundaciones por su geografía e hidrología. La mayor parte del territorio es una planicie con una altura no superior a los 30 metros sobre el nivel del mar y una pendiente muy pequeña. La ciudad de Villahermosa, capital del estado de Tabasco tiene una población de 558,524 habitantes, se encuentra a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar, se ubica a 60 km de la línea de costa. La hidrología de Tabasco es una red compleja de ríos, lagos y arroyos. Los dos ríos de mayor caudal de México son el Grijalva y el Usumacinta, ambos pasan a través de Tabasco y desembocan en el Golfo de México. El volumen de agua de los dos ríos es aproximadamente de 125 mil millones de metros cúbicos de agua y representa el 35% del caudal de todos los ríos del país. Estos factores propician que año con año, Tabasco sufra de inundaciones por la acumulación de lluvia local así como por el desbordamiento de sus ríos. En el año 2007, a partir del 22 de octubre se registraron fuertes y continuas lluvias en

los estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas por la combinación del Frente Frio Número 4 y una baja presión vinculada a la tormenta tropical Noel. El Gobernador del estado de Tabasco activó los mecanismos de emergencia por lo que el Gobierno Federal declaró el estado de emergencia el 27 de octubre. La etapa de respuesta de emergencia fue del 28 octubre al 20 noviembre. El fenómeno fue de tal magnitud que se estima que en su momento más álgido estaba cubierto de agua el 62% de la superficie estatal. Afectó a cerca de 1,500 localidades (90% rurales), dejó a casi 1.5 millones de damnificados (75% de la población del estado), casi 6,500 kilómetros de carreteras y caminos afectados (73% de la red del estado) y 132 puentes, 570 mil hectáreas agrícolas siniestradas y 123 mil viviendas con daños. Ante esta situación, se implementó la logística humanitaria para satisfacer las necesidades de los damnificados. En la logística humanitaria participaron entidades federales y estatales, organizaciones no gubernamentales y se contó con el apoyo de países e instituciones extranjeros.

En el párrafo siguiente se presentan algunos datos que resaltan la complejidad de la administración de la distribución de ayuda humanitaria. Se evacuaron a 850 mil personas, de las cuales 158 mil permanecieron en alguno de los 1,435 refugios temporales instalados y el resto con familiares o amigos. El FONDEN (Instrumento financiero para proporcionar auxilio y asistencia ante situaciones de Emergencia y desastre) repartió entre la población las siguientes cantidades de ayuda humanitaria: 1.104.298 despensas, 219.920 cobertores, 252.130 colchonetas, 37.490 láminas, 460.990 litros de agua, 4.425 rollos de hule, 1.160.000 costales, 71.334 paquetes de aseo personal, 24.719 paquetes de limpieza, 119.840 pañales, 86.900 toallas sanitarias, miles de medicamentos, 450 letrinas y 50,000 litros combustible. Los estados mexicanos no afectados por el desastre aportaron: 213 camiones, 13 plantas potabilizadoras, 107 camionetas, 18 plantas de energía, 8 pipas, 4 torres de iluminación, 19 trailers, 44 equipos de bombeo, 9 unidades médicas móviles, 19 vehículos de apoyo, 18 equipos de maquinaria pesada, 9 ambulancias, 7 cocinas comunitarias, 86 lanchas, 7 anfibios, 14 helicópteros, 3 aviones, 720 personal operativo, 241 médicos y enfermeras y 57 paramédicos. Se entregaron 468 toneladas de suministros provenientes de más de 29 países y de 16 organismos internacionales. A estas cantidades hay que sumar las aportaciones del Ejército Mexicano y Marina, las Organizaciones no gubernamentales (Cruz Roja entre otras) y de la población en general.

Heras (2012) realiza varias entrevistas a responsables y expertos de respuesta a desastres de México, de instituciones gubernamentales y no gubernamentales. De las entrevistas Heras (2012) obtiene el siguiente diagnóstico, en referencia a la capacidad y metodologías utilizadas:

- 1) En México, la administración pública no cuenta con manuales para la realización de la logística humanitaria, menos aun en la legislación.
- 2) Existe un centro de información nacional que sirve de apoyo a los decisores.
- 3) Varios entrevistados de organizaciones no gubernamentales mencionan la falta de coordinación con las instituciones gubernamentales e información para la toma de decisiones operativas.
- 4) Algunos entrevistados identifican una falta de preparación de los decisores.
- 5) En la normatividad nacional, no hay impedimento para que cualquier ciudadano o instancia establezca centros de acopio y/o distribución de ayuda humanitaria, lo que lejos de ayudar, generalmente, se convierte en una problemática adicional.
- 6) Tras un desastre de gran magnitud, las organizaciones más grandes tanto gubernamentales como no gubernamentales se coordinan bajo el mando de Protección Civil del

Estado. El área afectada es dividida en zonas y se asignan a cada organización en función de sus capacidades.

El trabajo de Heras (2012) muestra la necesidad de establecer métodos eficientes en la logística humanitaria en México.

2.2 FASES DE LA LOGÍSTICA HUMANITARIA

La logística humanitaria está dividida en cuatro fases, Altay y Green (2006):

- La fase de atenuación (mitigation phase): es una fase previa al desastre que consiste en la aplicación de medidas para reducir o atenuar o prevenir los impactos negativos del desastre.
- La fase de preparación (preparedness phase): en esta fase se desarrollan planes de acción que serán puestos en práctica cuando ocurra un desastre. La fase de atenuación y la fase de preparación se realizan al mismo tiempo.
- La fase de respuesta (response phase): esta fase corresponde a la movilización y a la puesta en funcionamiento de los servicios durante y después del desastre. Tiene el objetivo de proteger a la población y reducir las pérdidas humanas y materiales.
- La fase de recuperación (recovery phase): esta fase define las medidas a tomar para restablecer las condiciones normales o previas al desastre.

Ergun y col. (2011) dividen a la fase de respuesta en dos etapas, una primera etapa de respuesta de emergencia y una segunda etapa de estabilidad. De manera similar, Nolz y col. (2010) define dos etapas en la fase de respuesta, la etapa de ayuda inmediata (respuesta de emergencia) tiene el objetivo de rescatar a la población y proveer ayuda de emergencia y la etapa de ayuda para la supervivencia (estabilidad) cuya función es abastecer de alimento, abrigo y medicinas a la población afectada. Este trabajo se centra en la fase de respuesta.

2.3 ESTADO DEL ARTE

El trabajo de Altay y Green (2006) es considerado como uno de los pioneros dentro de la literatura en administración de la logística humanitaria y provoca, en los años siguientes, una verdadera avalancha de trabajos, como atestiguan las recientes publicaciones científicas, Caunhye y col. (2012), De la Torre y col. (2012) y Anaya-Arenas y col. (2014). En los trabajos publicados se presentan diferentes modelos para la DAH, cada trabajo aborda el problema de DAH de manera diferente en función de las decisiones que quiere responder y de los supuestos establecidos. Así, por ejemplo, Balcik y col. (2008) y Sheu (2007) identifican oportunidades para el uso de sistemas inteligentes de transporte en la DAH. Aun cuando la mayoría de los casos los problemas de DAH son demasiado complejos para resolverlos mediante métodos exactos en un tiempo razonable, se han manejado modelos pequeños como el descrito en De Angelis y col. (2007) sobre un modelo de planificación y ruteo. En general, la complejidad del problema invita a utilizar métodos de descomposición en varias etapas, por ejemplo Barbarosoglu y col. (2002) presentan un método heurístico interactivo para la coordinación de los dos sub-problemas con un sistema de múltiples criterios jerárquico. Yi y Ozdamar (2007) y Perez y col. (2010) utilizan un método con dos etapas: La primera etapa define un problema de flujo en redes entero mixto, en el cual los vehículos se representan como productos siendo su flujo una variable entera. La segunda etapa define las rutas y la carga para cada vehículo. Balcik y col. (2008) presentan un sistema con dos fases. La primera fase genera todas las rutas posibles no dominadas y

en la segunda fase ciertas rutas son seleccionadas y asignadas a los vehículos mediante un programa de afectación que determina igualmente la carga de los vehículos y las cantidades a distribuir en cada PD. Nolz y col. (2010) presentan una formulación matemática entera no lineal y un método heurístico basado en el algoritmo genético de ordenamiento no-dominado II (NSGA-II). Berkoune y col. (2013) también propone un algoritmo de tipo genético para solucionar un problema de distribución de ayuda humanitaria. Azimi y col. (2012) se interesan a la localización de centros de distribución satélites hacia donde se dirigen los siniestrados para recibir la ayuda humanitaria. El problema consiste en situar esos centros de manera a que los siniestrados no tengan que recorrer una gran distancia, al tiempo que se asegura un reaprovisionamiento óptimo de los centros satélites. Finalmente, la importancia de tener una función objetivo que represente la distribución balanceada es tratado en Huang y col. (2012), que presenta un modelo de la DAH para un solo periodo y que minimiza el balance de reparto a los PD. Recientemente Holguin-Veras y col. (2012) discuten el concepto de costo social y la necesidad de garantizar una distribución de ayuda justa y equilibrada.

A la vista de los trabajos revisados, parece claro que la búsqueda de una distribución justa y equilibrada entre los PD es fuertemente deseada, pero ha sido escasamente tratada. El objetivo principal de este trabajo es de considerar explícitamente este aspecto en un modelo de distribución y proponer un método eficaz de solución.

III. METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema de distribución de ayuda humanitaria (PDAH) puede ser formalmente definido como sigue. Sea $G=(V,A)$ un grafo dirigido donde $V=\{0,\dots,n\}$ es el conjunto de los nodos y $A=\{(i,j) : i,j \in V, i \neq j\}$ es el conjunto de los arcos. El nodo 0 corresponde al CDL y el resto de nodos representan los PD. Un tiempo de recorrido c_{ij} no negativo está asociado a cada arco $(i,j) \in A$ y representa el tiempo necesario para recorrer la distancia del nodo i al nodo j . En el presente trabajo se considera que los tiempos de recorrido son simétricos, es decir, $c_{ij}=c_{ji}$ para todo arco. Una flota heterogénea está disponible, representada por el conjunto K , y cada vehículo $k \in K$ está limitado en la capacidad de carga C_k (unidades de producto) y en el tiempo de trabajo máximo τ . Cada PD $i \in V \setminus \{0\}$ está asociado con una demanda no negativa conocida d_{it} para cada periodo t del horizonte de planeación, el CDL está asociado a una demanda igual a cero. La ayuda disponible en el CDL, H_t , es positiva y conocida para cada periodo t del horizonte de planeación T y es inferior en cada periodo a la demanda total. Las siguientes hipótesis son utilizadas: los vehículos puedan realizar varias rutas en cada periodo, varios vehículos pueden visitar el mismo PD en un mismo periodo, se permite satisfacer parcialmente la demanda de los PD y, finalmente, los vehículos pueden realizar varias rutas sin sobrepasar el tiempo de trabajo máximo τ . El almacenaje de ayuda humanitaria en los PD para satisfacer la demanda del periodo siguiente también está permitido. El objetivo principal del PDAH es minimizar las penalizaciones por satisfacer la demanda tardíamente. Los factores de penalización se definen en relación con el atraso: a) Si la demanda es satisfecha en el mismo periodo no hay penalización. b) Si la demanda es satisfecha con un atraso de 1 o 2 periodos se define los factores de penalización β_1 y β_2 . c) Si la demanda no es satisfecha está asociada a un factor de penalización β_3 . También incluye un objetivo secundario que busca balancear la distribución entre los PD. El balance se refiere al grado de equidad en el servicio recibido por los

PD. La equidad total, es decir que todos reciban exactamente el mismo servicio, no puede lograrse por las limitaciones en los recursos del problema. El servicio recibido por cada PD se mide al calcular la demanda no satisfecha porcentual y se incorpora al objetivo a través de una función convexa lineal por segmentos que relaciona el porcentaje de demanda no satisfecha del PD con un peso (figura 2). Huang y col. (2012) postula que esta forma de establecer el balance tiene dos ventajas frente a la minimización de la diferencia máxima del servicio recibido por los PD. La primera ventaja es que el modelo se mantiene lineal. La segunda ventaja es que se obtienen mejores resultados en los otros objetivos.

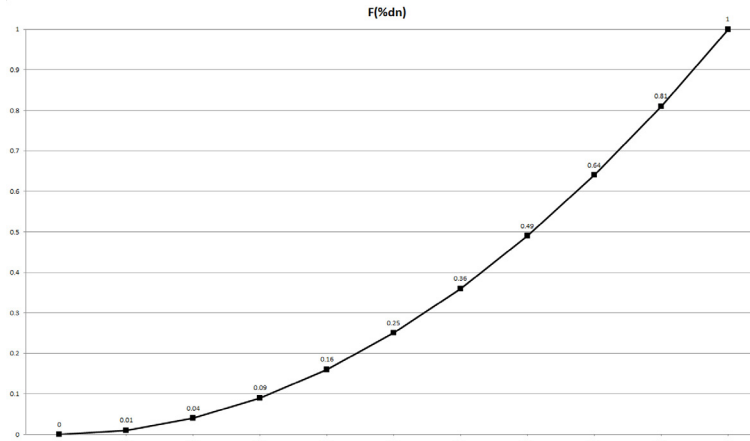


Figura 2. Función convexa lineal por segmentos de la demanda no satisfecha

La solución del PDAH establece los PD que reciben ayuda humanitaria en cada periodo, la cantidad de ayuda humanitaria que recibe cada PD en cada periodo, las rutas a realizar y la asignación de esas rutas entre los vehículos.

Los párrafos siguientes presentan el resto la nomenclatura, variables y parámetros utilizados en la formulación del modelo:

I,J : conjunto de nodos

T: conjunto de periodos de tiempo, tamaño del horizonte de planeación

K: conjunto de vehículos

R: conjunto de rutas.

B: conjunto de los segmentos de la función lineal por segmentos de la Figura 2

C_k: capacidad del vehículo k (unidades de producto)

τ: tiempo de trabajo máximo del vehículo k

β₁, β₂ y β₃: factores de penalización por atraso

d_{it}: demanda del PD i en el periodo t

H_t: ayuda total disponible a ser repartida en el periodo t

c_{ij}: tiempo de recorrido del nodo i al nodo j

x_{val_b}, y_{val_b}: valores en las intersecciones de la función convexa lineal por segmentos, f(x_{val_b})=y_{val_b}.

M: es un valor muy grande.

Variables:

x_{ijrkt}: toma el valor 1 si el vehículo k viaja del nodo i al nodo j en el periodo t en la ruta r, y 0 en otro caso.

y_{irkt}: tomo el valor 1 si el vehículo k visita el PD j en el periodo t en la ruta r, y 0 en otro caso.

u_{ikrt}: cantidad de ayuda (unidades de producto) que queda en el vehículo k después de visitar el PD i en la ruta r en el periodo t.

q_{irkt} : cantidad de ayuda (unidades de producto) que dará el vehículo k en la ruta r en el periodo t al PD i para cubrir su demanda del periodo t .

s_{irkt} : cantidad de ayuda (unidades de producto) que dará el vehículo k en la ruta r en el periodo t al PD i para cubrir la demanda del periodo $t+1$.

v_{irkt}^1 : cantidad de ayuda (unidades de producto) que dará el vehículo k en la ruta r en el periodo t al PD i para cubrir la demanda del periodo $t-1$.

v_{irkt}^2 : cantidad de ayuda (unidades de producto) que dará el vehículo k en la ruta r en el periodo t al PD i para cubrir la demanda del periodo $t-2$.

l_{it} : demanda del periodo t no satisfecha en el PD i .

p_i : porcentaje de la demanda no satisfecha en PD i .

w_i : peso de la demanda no satisfecha del PD i .

m_{ib} : variable que toma el valor 1 indicando que el segmento b de la función convexa lineal por segmentos es activo. Esta variable sirve para establecer la penalidad w_i en función del porcentaje de la demanda no satisfecha en PD i .

El modelo del PDAH se formula:

$$\text{Min } \sum_{i \in V} \sum_{t \in T} \left(\sum_{k \in K} \sum_{r \in R} \beta_1 v_{irkt}^1 + \beta_2 v_{irkt}^2 \right) + \beta_3 l_{it} + \sum_{i \in V} w_i$$

Sujeto a:

$\sum_{j \in V} x_{ijrkt} = \sum_{j \in V} x_{jirkt} = y_{irkt}$	$\forall i, r, k, t$	(2)
$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{r \in R} c_{ij} x_{jirkt} \leq \tau$	$\forall k, t$	(3)
$\sum_{i \in V} v_{irkt}^2 + v_{irkt}^1 + q_{irkt} + s_{irkt} \leq C_k$	$\forall r, k, t$	(4)
$\sum_{i \in V} \sum_{r \in R} \sum_{k \in K} v_{irkt}^2 + v_{irkt}^1 + q_{irkt} + s_{irkt} \leq H_t$	$\forall t$	(5)
$v_{irkt}^2 + v_{irkt}^1 + q_{irkt} + s_{irkt} \leq M y_{irkt}$	$\forall i, r, k, t$	(6)
$\sum_{k \in K} \sum_{r \in R} s_{irkt} \leq d_{i,t+1}$	$\forall i; t = 1, \dots, T-1$	(7)
$s_{irkt} = 0$	$\forall i, r, k; t = T$	(8)
$d_{it} \leq \sum_{k \in K} \sum_{r \in R} q_{irkt} + v_{irk,t+1}^1 + v_{irk,t+2}^2 + l_{it}$	$\forall i; t = 1$	(9)

$d_{it} \leq \sum_{k \in K} \sum_{r \in R} s_{irk,t-1} + q_{irkt} + v_{irk,t+1}^1 + v_{irk,t+2}^2 + l_{it}$	$\forall i; t = 2, \dots, T - 2$	(10)
$d_{it} \leq \sum_{k \in K} \sum_{r \in R} s_{irk,t-1} + q_{irkt} + v_{irk,t+1}^2 + l_{it}$	$\forall i; t = T - 1$	(11)
$d_{it} \leq \sum_{k \in K} \sum_{r \in R} s_{irk,t-1} + q_{irkt} + l_{it}$	$\forall i; t = T$	(12)
$u_{ikrt} - u_{jkrt} + C_k x_{ijrkt} \leq C_k - d_{jt}$	$\forall i, j, k, r, t$	(13)
$d_{it} \leq u_{irkt} \leq C_k$	$\forall i, r, k, t$	(14)
$p_i = \frac{\sum_{t \in T} l_{it}}{\sum_{t \in T} d_{it}}$	$\forall i$	(15)
$p_i = \sum_{b \in B} m_{ib} xval_b$	$\forall i$	(16)
$w_i = \sum_{b \in B} m_{ib} yval_b$	$\forall i$	(17)
$\sum_{b \in B} m_{ib} = 1$	$\forall i$	(18)
$s_{irk,t}, u_{ikrt}, v_{irk,t}^1, v_{irk,t}^2, s_{irk,t} \geq 0$	$\forall i, r, k, t$	(19)
$l_{it} \geq 0$	$\forall i, t$	(20)
$p_i, w_i \in [0,1]$	$\forall i$	(21)

La función objetivo (1) busca minimizar la penalización de los atrasos como objetivo principal y el objetivo secundario es la realización de una distribución balanceada. La restricción (2) establece la conservación de flujo y la asociación vehículo - PD - periodo - ruta. La restricción (3) permite considerar el tiempo de trabajo máximo. De manera similar, la restricción (4) considera la capacidad de carga del vehículo. La restricción (5) considera la cantidad de ayuda humanitaria disponible. La restricción (6) autoriza la entrega de cantidades solamente si el PD es visitado. Las restricciones (7 y 8) limitan los valores máximos de inventario. Las restricciones (9, 10, 11 y 12) asocian la demanda con la ayuda entregada y la demanda no satisfecha. Las restricciones (13 y 14) permiten eliminar los subtours. La restricción (15) calcula el valor del porcentaje de la demanda no satisfecha. La restricción (16)

utiliza este valor para fijar el valor de $xval_b$ y al mismo tiempo establecer el segmento activo m_ibde de la función de penalización convexa lineal por segmentos. La restricción (17) utiliza el segmento activado y el valor de $xval_b$ para calcular mediante la función de penalización lineal por segmentos el peso del servicio por demanda no satisfecha w_i . La restricción (18) completa las ecuaciones (16) y (17) estableciendo que solamente un segmento de la función lineal por segmentos es activo. Las ecuaciones (19 - 21) limitan los valores posibles para las variables. Analizando la formulación del PDAH se observa que es la unión de dos problemas: el problema de asignación de ayuda humanitaria y el problema de ruteo.

3.2 ESTRUCTURA DE LA SOLUCIÓN

Un elemento importante para la aplicación del algoritmo híbrido de optimización es la estructura de la solución. La estructura de la solución debe poder representar cualquier solución del problema y a la vez debe ser adecuada para poder aplicar eficazmente el algoritmo. Como el PDAH es la combinación de un problema de ruteo y un problema de asignación, la estructura de la solución está formada por dos partes. La Figura 3 presenta un ejemplo de la estructura de la solución definida para el PDAH. La primera parte, conjunto ruta, define las rutas que realizan los vehículos. Cada elemento del conjunto ruta es la ruta que realiza un vehículo K, en un periodo T y en una ruta R.. El primer valor indica el número total de PD a visitar, el resto los PD a visitar y su orden indica el orden en que serán visitados. No se incluye al CDL (nodo 0) porque toda ruta inicia y termina en el CDL. En la Figura 3 se presenta un ejemplo del Conjunto ruta, donde la primera ruta T = 1 (primer periodo), K = 1 (primer vehículo), R = 1 (primera ruta del periodo) visita 3 nodos, identificados como los nodos 5, 7 y 8. La segunda parte es la matriz asignación que establece la cantidad de ayuda humanitaria que se entrega en cada PD. Cada fila de la matriz asignación está asociada a una ruta y cada columna representa un PD, el valor de la matriz indica la cantidad de ayuda humanitaria, en unidades de producto, a entregar en el PD. En la Figura 3 en la Matriz asignación se tiene que para la primera ruta (T=1, K=1 y R=1), la cual visita los nodos 5, 7 y 8, la ayuda humanitaria a entregar es de la siguiente forma: en el nodo 5 se entregarán 25 unidades de ayuda humanitaria, 75 unidades para el nodo 7 y 60 unidades para el nodo 8.

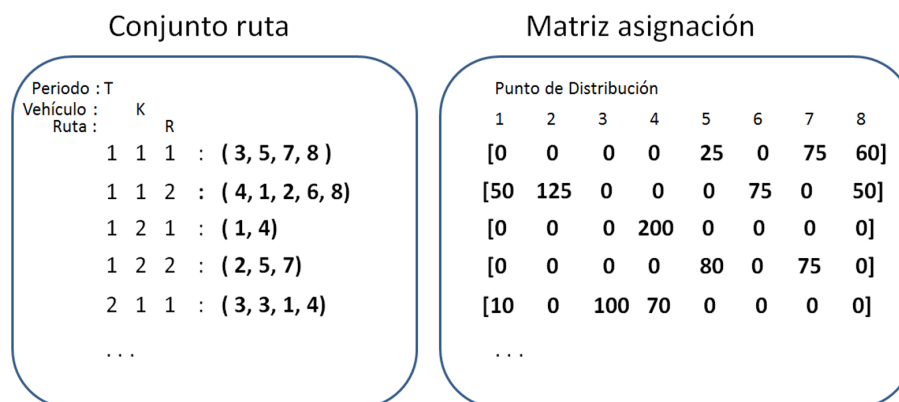


Figura 3. Estructura de la solución para el PDAH

3.3 ALGORITMO MATEHEURÍSTICO

Raidl y Puchinger (2008) y Jourdan y col. (2009), entre otros indican las ventajas y el potencial de la hibridación entre métodos exactos y métodos de inteligencia artificial conocidos como metaheurísticos. Es importante observar que los métodos exactos y los méto-

dos metaheurísticos tienen sus propias ventajas y desventajas, y pueden ser vistos como complementarios entre sí. Parece entonces natural combinar las ideas de ambos métodos y, recientemente, en la comunidad científica se ha acuñado el término *mateheurística* para referirse a los algoritmos híbridos entre métodos exactos y métodos metaheurísticos. Puchinger y Raidl (2008) presentan una clasificación general de los algoritmos *mateheurísticos* agrupados en dos categorías:

- **Combinaciones colaborativas:** Los algoritmos intercambian información en un ambiente de colaboración, pero son independientes. Los algoritmos exactos y *mateheurísticos* pueden ejecutarse secuencialmente, en paralelo o entrelazadamente.
- **Combinaciones integradas:** En los métodos integrados, un algoritmo es un componente subordinado de otro algoritmo. En esta categoría, Caserta y Vob (2009) y Raidl y Puchinger (2008) identifican dos subcategorías donde (i) el algoritmo *mateheurístico* es el maestro y controla las llamadas al algoritmo exacto, y (ii) el algoritmo exacto es el maestro y llama al algoritmo *mateheurístico*.

El algoritmo *mateheurístico* desarrollado en este artículo está basado en un algoritmo de recocido simulado con una función perturbación sofisticada que incluye la resolución de un sub-problema de programación lineal entera. La figura 4 ilustra el pseudo-código del algoritmo en cuestión. El algoritmo se inicia con la definición de los parámetros generales. Se define la solución inicial factible de manera aleatoria. El paso 2 inicia el algoritmo de recocido simulado con el ciclo exterior. El paso 3 genera una nueva solución a partir de la solución actual y ejecuta las etapas siguientes. (i) Se separa la solución actual s en dos partes: la solución parcial rutas sp_{rutas} y la solución parcial asignación sp_{asig} . (ii) La solución parcial rutas sp_{rutas} se modifica al aplicarle varias veces el operador cambio de la ruta de un vehículo. Este operador elige aleatoriamente un vehículo e intenta añadir a su ruta un PD que no visitaba anteriormente. La inserción del nuevo PD se hace en la posición de la ruta que minimiza el aumento de su longitud y solamente si resulta en una ruta factible. El mejor cambio es retenido como la nueva solución parcial rutas (sp_{newrutas}). (iii) Se define un problema de asignación de ayuda humanitaria asociado a la nueva solución parcial rutas, $P(sp_{\text{newrutas}})$. (iv) La formulación matemática del problema de asignación se resuelve óptimamente generando la nueva solución parcial asignación sp_{newasig} . (v) En esta etapa se unen las dos soluciones parciales nuevas para generar una nueva solución s_{new} . (vi) Se depura la nueva solución s_{new} eliminando de las rutas a los PD que no reciben ayuda humanitaria. Continuando con el algoritmo principal de recocido simulado, se realiza la comparación entre la nueva solución s_{new} la solución actual s . Si s_{new} es mejor, será aceptada. En caso contrario, se procede a una decisión probabilista: se genera un valor aleatorio uniforme en el intervalo $[0,1]$ y si este valor es inferior a $\exp(-\Delta E/\text{temp})$, donde ΔE mide la diferencia entre s_{new} y s en valor de la función objetivo, entonces s_{new} también es aceptada. El algoritmo termina cuando la temperatura temp alcanza el criterio de paro.


```

Paso 1: Inicialización
s = solución inicial
temp =  $T_{mi}$  (Temperatura inicial)
 $\alpha$  = factor de reducción
iter = número de iteraciones
 $T_{fin}$  = Temperatura final (criterio de paro)
Paso 2: Búsqueda
while Temp >  $T_{fin}$ 
  for x=1 : iter
    Paso 3: Nueva solución
    (i)  $SP_{rutas}$ , establecer la solución parcial ruta ( $s = SP_{rutas} + SP_{asig}$ )
         $SP_{asig}$ , establecer la solución parcial asignación
    (ii)  $SP_{new\ rutas}$  = Perturbar ( $SP_{rutas}$ )
    (iii)  $P(SP_{new\ rutas})$ , establecer Problema de asignación de ayuda humanitaria
    (iv)  $SP_{new\ asig}$  = Optimizar  $P(SP_{new\ rutas})$ 
    (v)  $S_{new} = SP_{new\ rutas} + SP_{new\ asig}$ 
    (vi) Depurar ( $S_{new}$ )
    Paso 4: Comparación
 $\Delta E = c(S_{new}) - c(s)$ 
    if  $\Delta E > 0$ 
      s =  $S_{new}$ 
    else
      if aleatorio <  $\exp(\Delta E / temp)$ 
        s =  $S_{new}$ 
      end if
    end if
    end for
  temp =  $\alpha * temp$ 
loop
Paso 5: Solución final s

```

* el operador + une dos soluciones parciales para formar una solución completa

Figura 4. Algoritmo mateheurístico para el PDAH

IV. RESULTADOS

El presente trabajo propone dos tipos de instancias experimentales: pequeñas y grandes; las cuales son definidas aleatoriamente. Las instancias pequeñas contienen 10 PD y las instancias grandes 20 PD. La localización de los PD fue generada de manera aleatoria según una distribución uniforme en un plano con un rango de 100 X 100 unidades de distancia. En todas las instancias la localización del CDL es en el centro del plano con coordenadas [50,50]. Los tiempos de recorrido entre los nodos se establecen según la distancia euclidiana redondeada hacia abajo en unidades de tiempo. La demanda de cada PD en cada periodo fue generada a partir de una distribución uniforme comprendida entre 1 000 y 6 000 unidades.

Una vez establecida la demanda de cada PD para cada día, se establece la oferta disponible para cada periodo también utilizando una distribución aleatoria uniforme, esta vez comprendida entre el 80 y el 95 % de la demanda total de ese periodo. Se recuerda que la capacidad de transporte está definida por cuatro elementos: cantidad de vehículos, capacidad de carga, tiempo de trabajo máximo (TTM) y el número de rutas. Se definen instancias con 2 vehículos y capacidad de carga de 8000 y 6000 unidades para el tipo pequeño y con 2 vehículos y capacidad de carga de 16 000 y 12 000 unidades para el tipo grande. El TTM es de 300 unidades de tiempo para los problemas tipo pequeño y de 400 para los problemas tipo grande. El número de rutas máximo que puede realizar un vehículo está limitado a 2 rutas por periodo. Para cada tipo de problema se generaron 6 problemas según sus datos de localización, tiempos de recorrido, demanda y oferta. El número total de instancias es de 12. Todos los experimentos se realizaron en una computadora con un procesador AMD Athlon 64 de 1.80 GHz con 2.00 Gb de memoria RAM.

Los pesos de la función objetivo se mantuvieron constantes en todas las instancias. Sus valores son: $\beta_3=100, \beta_2=40$ y $\beta_1=10$. La función convexa lineal por segmentos utilizada para el objetivo de balance en la demanda no satisfecha se presenta en la Figura 2 y está compuesta de 10 segmentos.

La Tabla 1 presenta los resultados obtenidos por el método desarrollado para las 12 instancias definidas. Las dos primeras columnas identifican los problemas. La columna titulada Cota Inferior presenta el valor de la función objetivo del problema relajado, es decir, el problema que considera a las variables continuas y no enteras. El algoritmo mateheurístico desarrollado fue implementado en Python 2.7.2 y el subproblema de programación entera resuelto con el software Gurobi versión 4.6. Los valores de los parámetros del algoritmo fueron fijados después de una fase de pre-experimentación donde se buscó equilibrar la habilidad para producir buenas soluciones y el tiempo de cálculo. Los valores utilizados son: $T_{ini}=10\ 000, T_{fin}=1000, \alpha=0.95, e\ iter=20$. Puesto que el algoritmo mateheurístico utiliza números aleatorios, se realizaron 5 réplicas de resolución de cada instancia y se calculó el promedio de los resultados de las 5 replicaciones (columna Valor Función Obj). La columna gap indica la diferencia en porcentaje entre ese valor y el valor obtenido por el problema relajado. La última columna indica el tiempo promedio de cálculo para ejecutar las 5 replicaciones de cada instancia. Al final de la Tabla 1 se dan los promedios totales de los resultados obtenidos.

Mateheurístico

Instancia	PD	Cota	Valor	gap	Tiempo
		Inferior	Función Obj		
1	10	1,916,588	1,918,003	0.07%	129
2	10	3,820,891	3,828,887	0.21%	121
3	10	3,032,790	3,036,039	0.11%	127
4	10	2,743,189	2,876,119	4.85%	116
5	10	3,197,490	3,200,647	0.10%	127
6	10	3,013,989	3,022,965	0.30%	128
7	20	5,275,081	5,350,924	1.44%	240
8	20	8,529,787	8,529,965	0.00%	249
9	20	3,482,580	3,486,212	0.10%	245
10	20	6,158,087	6,168,677	0.17%	254
11	20	4,217,081	4,253,217	0.86%	252
12	20	9,390,788	9,390,790	0.00%	269
Promedio:				0.68%	188

Los resultados muestran que el algoritmo mateheurístico tiene un buen desempeño. Esto se demuestra observando que en todos los escenarios obtiene una solución promedio cercana a la cota inferior. El promedio entre todas las instancias del algoritmo mateheurístico obtiene un 0.68% del gap. Respecto del tiempo de proceso, se observa que el algoritmo mateheurístico requiere un consumo de tiempo de proceso bajo, en promedio 188 segundos. Sin embargo, la parametrización del algoritmo es una actividad difícil. Además, la naturaleza heurística del algoritmo no permite asegurar la calidad de las soluciones generadas en todos los casos.

V. CONCLUSIONES

Este trabajo propone un modelo para el problema de DAH balanceada y un algoritmo mateheurístico. El modelo se inspira de la formulación de dos índices del problema de ruteo. Primero se modifica al incluir múltiples periodos por la limitación de recursos. La limitación en la ayuda humanitaria también obliga a satisfacer parcialmente la demanda de los puntos de distribución. La tercera modificación consiste en incluir la satisfacción tardía de la demanda, inventarios en los puntos de distribución y la realización de múltiples rutas. La última modificación permite considerar de manera explícita la realización de una distribución balanceada a través de una función convexa lineal por segmentos para evitar grandes diferencias en el servicio recibido por los puntos de distribución.

El algoritmo mateheurístico desarrollado descompone la solución en una parte de ruteo y otra parte de asignación. La parte de ruteo es la más difícil y por ello es tratada en el algoritmo principal basado en el algoritmo de recocido simulado y la parte de asignación más sencilla es tratada con programación entera. El desempeño del algoritmo mateheurístico es comparado con el desempeño del método exacto branch-and-bound. Para ello, se definen 24 instancias que son resueltas por los dos métodos. En base a los resultados obtenidos se concluye que el algoritmo mateheurístico ofrece un mejor desempeño respecto a la calidad de las soluciones obtenidas y el tiempo de cálculo necesario.

Los resultados obtenidos muestran la eficiencia del algoritmo mateheurístico, identificamos como trabajo futuro la vinculación con autoridades gubernamentales para validar la eficiencia de la propuesta presentada mediante pruebas de campo ante un desastre natural en México. Considerando la calidad de los resultados obtenidos, consideramos que su aplicación real tendrá como resultado la mejora en el tiempo y calidad de atención en la población civil ante situaciones de desastre.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altay N. y Green III W.G. (2006) OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175, 475-493.

Anaya-Arenas, A.M., Renaud, J. y Ruiz, A. (2014) Relief Distributions Networks: A Systematic Review, *Annals of Operations*, 223, 53-79.

Azimi, Z.N., Renaud, J., Ruiz, A. y Salari, M. (2012) Covering Tour Approach to the Location of Satellite Distribution Centers to Supply Humanitarian Aid, *European Journal of Operational Research*, 222, 596-605.

Balcik B., Beamon B.M. y Smilowitz K. (2008) Last Mile Distribution in Humanitarian Relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), 51-63.

Barbarosoglu G., Ozdamar L. y Cevik A. (2002) An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations. *European Journal of Operational Research*, 140, 118-133.

Berkoune, D., Renaud, J., Rekik, M. y Ruiz, A. (2013) Transportation in Disaster Response Operations, *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 23-32.

Caserta M. y Vob S. (2009) Metaheuristics: intelligent problem solving. En Maniezzo V., Stutzle T., Vob S. *Matheuristics*, New York (NY), Springer, pp. 1-38.

Caunhye, A. M., Nie, X. y Pokharel, S. (2012) Optimization models in emergency logistics: A literature review. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 4-13.

Centro Nacional de prevención de desastres (CENAPRED) (2009) Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la república mexicana en el año 2007. www.cenapred.gob.mx, México.

Centro Nacional de prevención de desastres (CENAPRED) (2014) Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la república mexicana en el año 2012. www.cenapred.gob.mx, México.

De la Torre, L. E., Dolinskaya, I. S. y Smilowitz, K. R. (2012) Disaster relief routing: Integrating research and practice. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 88–97.

De Angelis V., Mecoli M., Nikoi C. y Storchi G. (2007) Multiperiod integrated routing and scheduling of World Food Programme cargo planes in Angola. *Computers & Operations Research*, 34, 1601-1615.

Ergun O., Karakus G., Keskinocak P., Swann J. y Villarreal M. (2011) Operations Research to improve disaster supply chain management. *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, Hoboken (NJ), John Wiley & Sons.

Heras, R.R.J. (2012) Modelo de decisión Markoviano y programación dinámica para ajustar capacidad en operaciones logísticas humanitarias, buscando minimizar el sufrimiento humano. Tesis de Doctorado. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Holguín-Veras, J., Hart, W. H., Jaller, M., VanWassenhove, L. N., Pérez, N. y Wachtendorf, T. (2012) On the unique features of post-disaster humanitarian logistics. *Journal of Operations Management*, 30, 494-506.

Huang M., Balcik B. y Smilowitz K. (2012) Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy. *Transportation Research Part E*, 48(1), 2-18.

Jourdan, L., Basseur, M. y Talbi, E.G. (2009) Hybridizing exact methods and metaheuristics: A taxonomy, *European Journal of Operational Research*, 199(3), 620-629.

Kovacs G. y Spens K.M. (2007) Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(2), 99-114.

Nolz P.C., Doerner K.F., Gutjahr W.J. y Hartl R.F. (2010) A bi-objective metaheuristic for disaster relief operation planning. En Coello Coello C., Dhaenens C., Jourdan L., *Advances in multi-objective nature inspired computing*, Berlin, Springer Berlin / Heidelberg, pp. 167-187.

Perez N., Holguin-Veras J., Mitchell J.E. y Sharkey T.C. (2010) Integrated vehicle routing problem with explicit consideration of social costs in humanitarian logistics. En proceso de

publicación, Disponible en: <http://transp.rpi.edu/~HUM-LOG/Doc/IRP.pdf>.

Protección Civil México (2011) Términos de referencia de Protección Civil. www.proteccioncivil.gob.mx, México.

Puchinger J. y Raidl G.R. (2010) Combining metaheuristics and exact algorithms in combinatorial optimization: A survey and classification. *Lecture Notes in Computer Science*, 3562, 41-53.

Raidl G.R. y Puchinger J. (2008) Combining (Integer) Linear Programming Techniques and Metaheuristics for Combinatorial Optimization. *Studies in Computational Intelligence*, 114, 31-62.

Sheu J. (2007) An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters, *Transportation Research Part E*, 43: 687-709.

Toth, P. y Vigo, D. (2002) The vehicle routing problem. *Society for industrial and applied mathematics*, Philadelphia (PA).

Van Wassenhove L.N. (2006) Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475-489.

Yi W. y Ozdamar L. (2007) A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities. *European Journal of Operational Research*, 179, 1177-1193.

CAPÍTULO 13

RETOS PARA EL DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE APOYO ANTE DESASTRES EN MÉXICO

Pilar Arroyo López^a, Juan Gaytán Iniestra^b, Christopher Mejía Argueta^c.

EGADE Business School, Tecnológico de Monterrey campus Toluca^a
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM)^b
Centro Latinoamericano de Innovación en logística (CLI), LOGYCA / INVESTIGACIÓN^c

RESUMEN

La ocurrencia de eventos catastróficos, ya sean naturales o debidos a la intervención humana, ha contribuido al interés de realizar investigación encaminada a optimizar las operaciones de ayuda para las zonas afectadas por desastres. La mejora en las actividades de la cadena de suministro humanitaria y su logística ha sido abordada desde la perspectiva de varias disciplinas, destacándose la de investigación operativa. Sin embargo hay otras áreas de oportunidad que han recibido menos atención y que influyen en la calidad y confiabilidad de los resultados de los modelos de optimización formulados por los investigadores para apoyar las decisiones sobre ayuda humanitaria. A partir de la revisión de la literatura, se identifican tres de estas áreas de oportunidad para la investigación: la construcción de bases de datos y sistemas de administración del conocimiento para el apoyo de desastres, esquemas para la efectiva coordinación de todas las organizaciones que convergen y brindan ayuda durante un desastre y diseño de medidas de desempeño integral que consideren los objetivos sociales y organizacionales de las actividades humanitarias. En este capítulo se discute cada una de estas temáticas y sus implicaciones para la toma de decisiones así como la investigación realizada para atenderlas. Posteriormente se analiza el grado de avance de cada tópico en el contexto mexicano y se describe cómo los trabajos de investigación desarrollados han soslayado cada una de las dificultades que representa la falta de información, la mínima interacción entre participantes de la cadena de suministro humanitaria y la ausencia de medidas de desempeño estandarizadas para las actividades de logística humanitaria.

Palabras clave: cadena de suministro humanitaria, logística humanitaria, información, coordinación, desempeño.

ABSTRACT

The increasing incidence of disasters, either natural or due to human intervention, has promoted the interest to do research aimed to optimize the disaster relief operations in the affected zones. The improvement of the activities of the human supply chain and its logistics has been studied from the perspective of several disciplines, being operations research (OR) one of the most important ones. However, there are other areas of research that have not received enough attention even though they affect the quality and reliability of the results of the optimization models developed by OR researchers. Based on a literature review, three of these underdeveloped lines of research were identified: the construction of databases and knowledge management systems to support relief decisions, schemes for the effective coordination of all organizations that converge when a disaster occurs, and the design of integral measurements to optimize the humanitarian activities. This chapter discusses each of these research areas, its implications on effective decision making and

the corresponding advances of research. Then we analyze the level of development of each topic in the Mexican context and describe how studies performed in Mexico have addressed the complications related to the lack of information, the minimum interaction among participants of the humanitarian supply chain and the absence of standardized performance measures for the relief actions.

Key words: humanitarian supply chain, humanitarian logistics, information, coordination, performance.

INTRODUCCIÓN

La investigación sobre cómo optimizar las operaciones de ayuda para las zonas afectadas por desastres, ya sean naturales o debidos a la intervención humana, se identifica genéricamente como "logística humanitaria". Esta área del conocimiento ha sido objeto de interés para la academia y las autoridades responsables especialmente a partir del 2005, después que el tsunami del Golfo Pérsico hizo evidente la dificultad de brindar ayuda inmediata en una situación de grave emergencia. Thomas & Mizushima (2005) definen a la logística humanitaria como el proceso de planificación, ejecución y control eficiente de los flujos de materiales e información desde el punto de origen al punto de destino con el propósito de satisfacer las necesidades de las personas afectadas por eventos adversos, ya sea naturales o sociales. Las actividades de la logística humanitaria comprenden tres etapas básicas de asistencia humanitaria (Wassenhove, 2006): 1) la fase de prevención que incluye actividades de preparación entre las que destaca el pre-posicionamiento de inventario en instalaciones seguras próximas a zonas vulnerables; 2) la fase de respuesta que comprende todas aquellas actividades inmediatas que hay que realizar para aliviar la situación de desastre, entre ellas la evacuación de la población afectada y el abasto de albergues, y 3) la fase de recuperación que comprende desde acciones como la administración del flujo de suministros para la supervivencia de los damnificados hasta actividades para la reconstrucción y aumento de la resiliencia en la zona.

Varias revisiones de la literatura (Altay and Green, 2006; Kovacs and Spens, 2007 y 2008; Natarajarathinam et al. 2009) presentan la situación de desarrollo actual de la logística humanitaria así como las áreas de oportunidad más interesantes. A partir de los contenidos de estas revisiones y de la literatura citada en este capítulo se han identificado tres preguntas de investigación que representan áreas de oportunidad para la comunidad académica. Estas preguntas son las siguientes: ¿cómo proporcionar información confiable y actualizada para planear, ejecutar y mejorar las actividades de ayuda? ¿Cómo coordinar mejor los esfuerzos de las distintas organizaciones que convergen cuando ocurre un desastre? y ¿cuáles medidas de desempeño habría que utilizar para evaluar y controlar las actividades de asistencia humanitaria? Para ofrecer un panorama sobre la investigación alrededor de estas tres preguntas, este capítulo se desarrolló a partir de la revisión de la literatura. La búsqueda de artículos se realizó en dos bases de datos de reconocida calidad académica, Emerald y ProQuest, seleccionándose sólo artículos publicados en revistas indizadas. Los términos "humanitarian logistics" y "humanitarian supply chain" se combinaron con palabras clave asociadas a cada pregunta de investigación tales como "information", "knowledge management", "convergence", "clusters", "performance metrics" y "measurement" entre las más relevantes. Adicionalmente, y con el propósito de mostrar cómo las preguntas anteriores han sido atendidas cuando se formula un plan de prevención de logística humanitaria, se analiza la experiencia de trabajos de investigación desarrollados en México que se realizaron con el propósito de definir planes de evacuación para la población afectada por eventos naturales, su re-ubicación en albergues seguros y políticas de abasto para

estos albergues. A partir de la revisión de estos trabajos y de la discusión personal con los investigadores que los realizaron, se verifica la necesidad de resolver las dificultades de contar con información confiable sobre la zona afectada, interactuar con las autoridades y organismos humanitarios que serán los usuarios finales de la investigación y establecer métricas relevantes para las actividades de logística humanitaria.

El contenido de este capítulo está organizado como sigue: en la sección que sigue a esta introducción se presenta una revisión sobre la investigación en logística humanitaria desde la perspectiva de aplicaciones de la investigación operativa, que para ser implementadas requieren de proponer alguna solución para las preguntas de investigación planteadas previamente. En la segunda sección se analizan los avances de investigación y los retos que implican estas preguntas mientras que en la tercera sección se describe un caso de aplicación para México, el cual destaca cómo se pueden atender las complicaciones en cuanto a información, coordinación y métricas de desempeño cuando se diseña un plan preventivo. La última sección del capítulo presenta las conclusiones, limitaciones y líneas de investigación futura para los tres temas bajo discusión con base en la experiencia del contexto mexicano.

1 INVESTIGACIÓN DE APOYO PARA LAS ACTIVIDADES DE LOGÍSTICA HUMANITARIA

La misma confusión y controversia que hay alrededor de los conceptos de administración de la cadena de suministro (SCM) y logística se aplica al caso humanitario o de ayuda ante desastres. Bajo la perspectiva actual se establece que la logística es parte de la SCM, por tanto la logística humanitaria queda implícita en el concepto de administración de la cadena de suministros humanitaria (ACSH o HDRSCM = Humanitarian/Disaster Relief Supply Chain Management por sus siglas en inglés). Mientras la logística humanitaria está más orientada a la ejecución de las actividades tácticas (ej. almacenaje de los productos recolectados) y operativas (ej. abastecimiento a albergues y evacuación de individuos de la zona de desastre) requeridas para empatar la demanda de la población afectada con la oferta de ayuda disponible, la ACSH es el sistema responsable de prestar apoyo a lo largo de todo el ciclo del desastre. Esto implica diseñar, realizar y administrar todo el proceso de preparación, ayuda y recuperación, así como identificar, implementar y controlar todos los eventos de este proceso, además de integrar y coordinar las actividades de las distintas entidades que participan en la cadena de ayuda (Dash et al., 2013; Day et al., 2012). Esta definición hace evidente la visión más estratégica e integral del concepto ACSH, el cual atiende también a la necesidad de balancear los recursos destinados a la fase de preparación y ayuda con aquellos aspectos requeridos para la reconstrucción y la mejora de la resiliencia ante nuevos desastres. El último tema, resiliencia de la CSH, es de interés muy reciente y se refiere a realizar acciones preventivas y de reconstrucción que decrezcan la vulnerabilidad de una población y/o zona.

La necesidad de brindar ayuda efectiva a las comunidades afectadas por desastres y aumentar su resiliencia no es una preocupación exclusiva de las organizaciones gubernamentales, esto también ha atraído el interés de la comunidad académica que ha realizado numerosos estudios desde la perspectiva de varias disciplinas –logística, investigación operativa, administración, economía entre otras- y contribuido así al avance de la ACSH y logística humanitaria. La modelación basada en optimización se ha convertido en una de las herramientas más utilizadas para atender los problemas que plantea una situación de desastre, en esta sección se presentan trabajos representativos que hacen uso de esta modelación en el caso de desastres con un impacto de corto a mediano plazo (menos de dos años).

Tomando como referente las etapas de atención a un desastre sugeridas por Van Wassenhove (2006) y a partir de las cuales se define el ciclo de vida de la cadena de suministro humanitaria, los trabajos revisados se dividieron en dos grandes grupos: trabajos que atienden las decisiones pre-desastre y aportan modelos para la planeación de actividades que ayuden a mitigar los efectos del fenómeno antes de su ocurrencia en un corto plazo (24 a 48 horas) y trabajos relacionados con las acciones post-desastre, esto es que se concentran en proponer planes operativos una vez que el evento ha ocurrido y hay necesidades de la población que demandan atención inmediata. Los trabajos que corresponden a la fase de reconstrucción sobre todo bajo el enfoque de mejorar la resiliencia de la zona ante nuevos desastres, no fueron considerados en esta revisión debido a que la fase de recuperación puede involucrar un período de intervención mucho más largo ya que estos temas (en específico el de resiliencia) han sido poco documentados.

Las decisiones más críticas que abordan los trabajos en el primer grupo son: evacuación de la zona con aviso previo, identificación de instalaciones (albergues y centros de distribución de ayuda) e inventario de bienes de apoyo pre-posicionado. Mientras que las decisiones para apoyar las operaciones inmediatas post-desastre son: el transporte de las personas afectadas a albergues e instalaciones médicas, lo que incluye la decisión de las rutas y modos de transporte a ser usados, la distribución física de la ayuda a los albergues y zonas afectadas y la reubicación de la población a sus lugares de origen una vez transcurrida la fase de emergencia. Se excluyen de esta revisión estudios de eventos catastróficos donde desaparece parcialmente la autoridad y las viviendas, lo que requiere que la población permanezca en albergues por períodos prolongados. En las tablas 1 y 2 se reportan algunos de los trabajos publicados en las revistas académicas de mayor ranking en las áreas de investigación operativa, cadena de suministro y logística. Las columnas de cada tabla detallan la problemática atendida y los métodos cuantitativos empleados. Varios de estos trabajos se desarrollaron a partir de un desastre específico y pretenden mejorar las acciones de una única fase aprovechando la información y experiencia pasadas.

Tabla 1. Trabajos que apoyan las decisiones pre-desastre

Autores	Problema que abordan	Metodología	Métodos utilizados	Lugar de aplicación
Nolz, P.C., Doerner, K.F., Gutjahr, W.J. y Hartl, R.F.	Distribución de bienes para la ayuda humanitaria	Problema de la cubierta del recorrido multi-objetivo	Algoritmos genéticos, búsqueda de vecindarios variables y re-encadenamiento de ruta	Manabí, Ecuador
Ortuño, M., Tirado, T. Y Vitoriano, B.	Distribución de bienes de ayuda a la población afectada	Modelo de programación por metas	Programación lineal lexicográfica	República del Níger
Vitoriano, B., Ortuño, T. Tirado, G. y Montero, J.	Distribución de bienes de ayuda a la población afectada	Modelo de optimización multi-criterio para la distribución de ayuda humanitaria	Optimización exacta con ayuda de GAMS-Cplex,	Sismo de Haití

Mejía, C.	Plan de evacuación que contempla la Identificación de zona afectada-localización instalaciones-determinación de inventario de ayuda-distribución de la ayuda	Modelo de Optimización y meta-heurísticos multi-objetivo	Optimización exacta con ayuda de GAMS-Cplex, metaheurísticos multicriterio	Villahermosa, Tab., Méx.
Rodríguez, O., Gaytán, J.	Identificación de zona afectada-localización instalaciones-determinación de inventario de ayuda-distribución de la ayuda	Optimización multi-objetivo y sistemas de información geográfica	Optimización exacta con ayuda de GAMS-Cplex,	Villahermosa, Tabasco, Méx.
Wisetjindawata, W., Itob, H., Fujitaa, M., Eizoa, H.	Planeación de la distribución de ayuda después de la ocurrencia de un sismo	Modelo de simulación como sistema de soporte a la toma de decisiones	Simulación	Prefectura de Aichi, Japón
Sheu, J.	Distribución de ayuda centralizada considerando la maximización de la resiliencia de la población	Modelo de optimización multi-objetivo que considera la psicología post-desastre y resiliencia colectiva de la población	Ecuaciones estructurales y técnica de los pesos	Taiwán
Rekik, M., Ruiz, A., Renaud, J., Berkoune, D.	Planeación de actividades de apoyo para las primeras horas ocurrido el desastre	Modelos de optimización, sistemas de soporte para la toma de decisiones multi-objetivo	Optimización exacta con ayuda de Cplex, TOPSIS	Ciudad de Quebec

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Trabajos que apoyan las decisiones post-desastre

Autores	Problema que abordan	Metodología	Métodos utilizados	Lugar de aplicación
Chiu, Y., Zheng, H.	Movilización de la población, asignación de tráfico y programación de salidas en caso de evacuación	Modelos de transmisión de celdas	Programación lineal	Red hipotética
Barbarosoglu, G.	Asignación de pilotos a helicópteros y estos a diferentes bases para la evacuación de personas	Modelos de optimización multi-objetivos jerárquico	Optimización exacta con ayuda de GAMS 2.50 XA Solver	Turquía
Stepanov, A., Smith, J. M.	Diseño de plan de evacuación por emergencias	Rutas de evacuación Multi-objetivo en redes de transporte. Asignación óptima de rutas	Programación entera y modelos de líneas de espera	Hipotético
Pedraza, A., Stapleton, O., Van Wassenhove	Administración de la flotilla de vehículos para operaciones de logística humanitaria	Estudio de caso de naturaleza exploratoria	Interpretación cualitativa, técnicas de recolección de datos	

Afshar, A., Haghani, A.	Modelado integral de la cadena de abastecimiento en operaciones de ayuda humanitaria en tiempo real	Ruteo de vehículos para recolección o entrega considerando varias capas de instalaciones temporales, su capacidad y las del sistema de transporte	Optimización exacta con ayuda de Cplex	Hipotético basado en Mississippi Louisiana
----------------------------	---	---	--	--

Fuente: Elaboración propia

A partir de la revisión realizada se aprecia que muchos de los trabajos consideran múltiples objetivos, lo que demuestra que el desempeño de las actividades de la CSH y la logística humanitaria es un concepto complejo integrado por varios componentes que aún no están bien definidos. También es relevante notar que los trabajos de investigación se han centrado en alguna(s) de las decisiones comprendidas en una única fase de atención para un desastre, por lo que hay oportunidad para el desarrollo de una metodología que considere todo el ciclo de vida de la CSH. Otro aspecto que la investigación cuantitativa no ha cubierto es el de asignar funciones específicas dentro de los planes de atención a cada una de las organizaciones humanitarias participantes, de tal forma que se aprovechen mejor sus recursos, conocimientos y relaciones. La asignación de recursos económicos y humanos de acuerdo con las condiciones de cada fenómeno es esencial para aumentar la eficiencia y la transparencia en el uso de recursos. Las soluciones propuestas se describen en la siguiente sección en la cual también se examinan los problemas de cómo asegurar la disponibilidad de información, la mejor coordinación de los actores involucrados y cuáles métricas de desempeño utilizar cuando se modelan los problemas de decisión en cadena de suministro y logística humanitaria.

2. RETOS PARA LA PLANEACIÓN DE ACCIONES DE LOGÍSTICA HUMANITARIA

El diseño de planes preventivos y de ayuda para las poblaciones afectadas por desastres enfrenta al investigador con dificultades importantes aparte de la complejidad técnica para la construcción y solución de modelos cuantitativos como los descritos en la sección anterior. Entre estas dificultades destacan: i) la disponibilidad de información confiable y oportuna sobre las condiciones del desastre, así como de los materiales de asistencia disponibles en el momento de su ocurrencia y de aquellos que estarán disponibles en un tiempo inmediato; ii) la falta de coordinación de las actividades de las distintas organizaciones que prestan asistencia a la población afectada y iii) la dificultad para establecer cuáles deben ser las medidas de desempeño que guíen el diseño de los planes de prevención, asistencia y recuperación. Las complicaciones citadas son tópicos de investigación que hasta ahora han sido poco atendidos por lo cual resulta de interés profundizar sobre ellos en este capítulo. Los avances y retos asociados a cada uno de estos temas se discuten en las siguientes secciones.

2.1 DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN CONFIABLE Y OPORTUNA

Un elemento crítico en la administración de la cadena de suministro humanitaria y su logística es la información, ya que ésta puntualiza los datos de entrada para los modelos cuantitativos que apoyan las decisiones de asistencia. La información requerida es muy extensa y comprende datos sobre la demanda (esperada y actual) y la disponibilidad de bienes, dónde están ubicados estos bienes y cómo pueden transportarse, cuántas personas resultaron afectadas y cómo se están desplazando, la capacidad y la disponibilidad de

las instalaciones de emergencia (albergues temporales, centros de distribución, etc.), qué daños registra la infraestructura así como mapas e imágenes meteorológicas satelitales de la zona afectada. El valor de la información en la administración de la cadena de suministro está bien reconocido, la información mejora la visibilidad de los flujos de producto, facilita la colaboración entre integrantes de la cadena y es de gran ayuda en la toma de decisiones efectivas sobre los procesos de negocios (e.g. planeación del abasto y administración del inventario). La disponibilidad de información confiable y oportuna es ya un reto en la administración de la cadena de suministro, el cual resulta ser aún mayor en el caso de la CSH, ya que la información disponible es incompleta, no se dispone de ella en tiempo real, no está sistematizada ni corregida por posibles inconsistencias y está ampliamente distribuida entre diferentes organizaciones (Zhang, 2002).

Sistematizar y difundir la información sobre cómo se atendieron desastres pasados y cuáles recursos resultaron críticos son actividades esenciales para pronosticar la magnitud de un nuevo desastre, realizar análisis predictivos, revisar y evaluar acciones, generar alertas tempranas para las autoridades locales, así como para facilitar la coordinación y colaboración de los participantes en la CSH. Un esfuerzo importante de gestión del conocimiento sobre atención a desastres es la ReliefWeb (<http://www.reliefweb.int>), un proyecto de la Oficina para la Coordinación de Asuntos Humanitarios de la ONU (OCHA o UNOCHA por sus siglas en inglés = United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs) para generar y mantener un repositorio electrónico de información que permita a los usuarios consultar a través de la Web información actualizada y categorizada sobre desastres de distinta naturaleza- incluyendo datos, mapas, reportes y artículos de prensa- con el fin de facilitar el desarrollo de procedimientos de acción más efectivos y conocer lo que hacen otras organizaciones humanitarias. La Oficina para la Reducción de Riesgo de Desastres de la ONU (UNISDR por sus siglas en inglés = United Nations Office for Disaster Risk Reduction) es la responsable de generar estadísticas e infografías útiles para la toma de decisiones; la información recolectada incluye visualizadores de riesgos (Risk Data Reviewer), bases de datos con inventarios de daños, pérdidas y efectos de los desastres globales. La recolección de información se realiza en coordinación con el Centro de Investigación para la epidemiología de desastres (CRED por sus siglas en inglés = Center for Research on the Epidemiology of Disasters) que administra una base de datos internacional, en la cual se registra la ocurrencia y efectos de más de 18,000 desastres en el mundo desde 1900 y que al compilar información de agencias de la ONU, ONGs, aseguradoras, agencias de prensa e instituciones de investigación, permite la construcción de perfiles de riesgo, tendencias y mapas de referencia a nivel nacional e internacional que son fundamentales para la prevención y el aumento de la resiliencia.

La investigación sobre cuáles son los requerimientos de información necesarios para el diseño de planes preventivos y de atención desde la perspectiva de diferentes instituciones, así como los esquemas para su administración y los mecanismos para asegurar su disponibilidad, accesibilidad y transparencia es aún limitada. Desafortunadamente, los datos y estadísticas sobre desastres pasados no han sido debidamente sistematizados como para analizar patrones de demanda y determinar la vulnerabilidad de ciertas poblaciones de manera detallada en cada país, región y ciudad. Incluso información básica sobre cuáles productos deben incluirse en un paquete de ayuda (composición de los módulos o kits de ayuda), cuántos paquetes se distribuyeron durante eventos de distinta magnitud y hasta dónde su distribución logró cubrir las necesidades de la población afectada es difícil de obtener. Otro esfuerzo importante que busca corregir esta situación, es el de la Agencia Federal de Administración de Emergencias (FEMA por sus siglas en inglés: Federal Emergency Management Agency), la cual compiló información sobre los productos que fueron

entregados durante el evento del huracán Katrina que devastó la ciudad de Nueva Orleans. La base de datos de FEMA incluye la descripción de los productos, fechas y lugares de entrega, tiempo en que fueron requeridos, justificación y costos estimados de la ayuda distribuida. La información sobre los archivos electrónicos solicitando la ayuda requerida durante un período de tres meses fue utilizada por investigadores como Holguín-Veras y Jaller (2012) para crear una base de datos y definir códigos para los productos y su búsqueda. Esta base de datos es un recurso altamente valioso para hacer el pre-posicionamiento de bienes que es una de las actividades de preparación más relevantes. Entre más rigurosa sea la planeación de los tipos de productos a pre-posicionar, sus cantidades y ubicación, más rápida y mejor será la respuesta ante el desastre (Kovacs y Tatham, 2009). La investigación disponible indica que la flexibilidad y reactividad de la CSH se puede mejorar considerablemente a través de un sistema de información que guarde, sistematice y actualice los datos sobre desastres pasados, al cual deberían tener acceso mediante un portal Web todas las organizaciones responsables de brindar ayuda y también las organizaciones humanitarias internacionales y locales reconocidas como actores relevantes (Chandes y Paché, 2010). Puesto que cada desastre es único, se cuestiona si a partir de experiencias y datos previos se podrían estandarizar los procesos de ayuda. Chandes y Paché (2010) argumentan que es posible “aprender” de eventos pasados y definir un punto de desacoplamiento óptimo entre la estandarización y la adaptación de las actividades humanitarias si se reduce la incertidumbre sobre la demanda a través de sistemas de apoyo a la toma de decisiones que se actualicen continuamente con cada nuevo evento para incrementar la precisión del estimado de demanda. Tómese como ejemplo el caso de un kit estandarizado de atención, el cual se puede personalizar de acuerdo con las necesidades, la magnitud del impacto, el tipo de desastre y las características culturales de la población afectada.

La identificación de similitudes entre distintas situaciones de crisis - kits de ayuda distribuidos, las formas de transporte, disponibilidad de sitios para el almacenaje, etc. – y los esquemas para transferir tanto el conocimiento explícito (ej. las bases de datos de FEMA) como el tácito (experiencias, buenas prácticas y lecciones aprendidas de todas las organizaciones humanitarias que participaron) se puede lograr a través del uso de sistemas de información y herramientas de minería de datos, lo que significa adoptar un enfoque de Knowledge Data Discovery (KDD) para el diseño de hardware y software. Esto implica compilar datos de diferentes fuentes, verificarlos, codificarlos, centralizarlos, definir esquemas de consulta de acuerdo con las necesidades de los usuarios, aplicar métodos analíticos para identificar y analizar patrones, pronosticar eventos y evaluar acciones pasadas y futuras.

Zhang et al. (2002) analizan las ventajas de un sistema de administración del conocimiento (KMS) que sirva de soporte para la toma de decisiones y la resolución de problemas en la administración de la cadena de suministro humanitaria. El sistema integra información histórica proveniente de varias fuentes sobre diversos casos de desastre más las experiencias de los agentes participantes. Las fuentes de conocimiento incluyen lo siguiente:

- a) Base de casos de desastre donde se estructura e indexa la información (situación, agencias participantes y actividades realizadas) de distintos casos empleando el Razonamiento Basado en Casos (CBR por sus siglas en inglés) de tal manera que se pueda asociar la información registrada en la base con las condiciones particulares de un nuevo evento, así como adaptar las soluciones previas a la problemática del nuevo desastre.
- b) Catálogo de las organizaciones que ofrecen ayuda humanitaria, el cual registra información sobre su ubicación, contactos, actividades y recursos.
- c) Librería con imágenes satelitales y mapas

d) Repositorio de conocimientos sobre ayuda humanitaria donde se recopilan las diferentes estrategias utilizadas para prevenir y mitigar desastres. Para extraer el conocimiento de este repositorio se emplean reglas de decisión y algoritmos heurísticos. El desarrollo y mantenimiento de un KMS como el descrito por Zhang et al. (2002) requiere del uso de novedosas herramientas analíticas, el esfuerzo conjunto de distintos organismos públicos y privados para reunir y actualizar información relevante a desastres y de interfaces de acceso que faciliten el uso del sistema y garanticen su integridad para una toma de decisiones oportuna al momento de un desastre. Esto requiere de grupos de investigación inter-disciplinarios (investigación de operaciones, inteligencia artificial, sistemas de información, geografía, personal experto en trabajo de campo, etc.) La poca disponibilidad y el uso inadecuado de las tecnologías de información para facilitar la recolección y consulta de información afecta negativamente la eficiencia de las actividades de logística humanitaria. El bajo aprovechamiento de los recursos tecnológicos, especialmente entre las pequeñas organizaciones humanitarias, es evidente aún en el caso de recursos mucho menos sofisticados que un KMS como es la identificación mediante radio frecuencia (RFID). El empleo de etiquetas pasivas RFID representan una solución de bajo costo para facilitar la visibilidad y trazabilidad de los productos, mejorar el control de inventarios y la distribución de bienes que además no requiere de una infraestructura de comunicación intacta para identificar, rastrear y garantizar la integridad de los bienes que llegan y se remiten a la zona de desastre (Baldini et al., 2012).

2.2 COORDINACIÓN ENTRE LAS ENTIDADES QUE ASISTEN A LA POBLACIÓN

Cuando ocurre un desastre, múltiples dependencias – organizaciones militares y gubernamentales nacionales e internacionales, corporaciones y proveedores privados, asociaciones humanitarias y civiles, donadores individuales, ONGs, etc.- se movilizan para prestar ayuda. Si bien esto representa ventajas en términos del incremento en capital social (relaciones con otras organizaciones), recursos y capacidad disponibles en la red humanitaria; la convergencia de múltiples entidades, ya sean responsables o no de prestar ayuda, representa un problema potencial. Este problema ocurre cuando las acciones de todos estos agentes se atomizan y se interfieren entre sí debido a que no hay una asignación clara de responsabilidades y a la falta de un coordinador que especifique cuáles actividades puede realizar mejor cada participante de acuerdo con sus fortalezas y capacidades y que determine cuáles están fuera de su alcance (Day et al., 2012; Balcik et al., 2010).

La colaboración entre los actores que convergen para apoyar en caso de desastre se complica debido a las diferencias en sus perfiles, objetivos, experiencia y capacidades; el desconocimiento sobre otras organizaciones con el mismo perfil y metas; así como la "competencia" por los mismos recursos (ej. infraestructura y espacio), el apoyo del público y la atención de los medios que se da entre las entidades participantes (Kovacs y Spens, 2009; Chandes y Paché, 2010; Schulz y Blecken, 2010). Pocos trabajos han abordado el problema de coordinación en la cadena de suministro humanitario, entre los pioneros está el reportado por Van Wassenhove (2006) quien sugiere las siguientes tres formas de coordinación:

- 1) Por mandato donde la organización directamente responsable o con autoridad formal en la CSH define las reglas sobre quién, cómo y cuándo participará cada asociación lo que resulta en una coordinación vertical que resulta apropiada cuando hay desconocimiento sobre cómo proceder en caso de desastre;
- 2) Por consenso entre todas las organizaciones participantes, lo que implica un esquema de coordinación horizontal entre participantes que operan a un mismo nivel y que acuerdan colaborar y compartir experiencias, conocimientos y recursos para lograr la meta co-

mún de una respuesta efectiva ante un desastre. La confianza es un elemento crítico en este esquema de coordinación que apoya la acción colectiva (Chandes y Paché, 2010).

3) Por default, este esquema ocurre ocasionalmente cuando los participantes tienden a separarse y alguna(s) de las entidades empieza(n) a promover espontáneamente el intercambio de ideas y recursos entre organizaciones humanitarias y con las agencias gubernamentales y militares que dirigen las actividades de ayuda.

Por su parte, Jahre y Jensen (2010) analizan el potencial de la coordinación por clústeres para minimizar los problemas que resultan de la participación de múltiples actores en la CSH. Los clústeres se definen a nivel global en términos de áreas funcionales, por ejemplo administración de actividades en campo, telecomunicaciones, atención a albergues, logística de la evacuación y la distribución, etc. Algunas instituciones como la Cruz Roja Internacional (International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, s.f.) denominan a estos clústeres "unidades de intervención de emergencia" (ERU = Emergency Response Units por sus siglas en inglés). Los clústeres fueron definidos por la OCHA con el propósito de lograr una mayor efectividad en la capacidad de reacción ante una crisis, aumentar la confianza y el liderazgo a nivel local e internacional, apoyar las alianzas entre la ONU, las ONGs y las autoridades, incrementar la responsabilidad de todos los participantes y mejorar la administración de actividades.

La experiencia del Centro Logístico de las Naciones Unidas indica que el control de actividades logísticas críticas como tráfico, priorización de la carga a transportar y administración del inventario durante el período de emergencia se facilita gracias a la integración de clústeres permanentes dirigidos por un grupo. Los clústeres permiten que las organizaciones locales se asocien a estos agrupamientos funcionales, aprovechando y complementando mejor sus competencias y su experiencia atendiendo desastres como el ocurrido en Haití (Holguín-Veras et. al., 2012). En caso de que ninguno de los participantes sea capaz de proveer algún bien o servicio necesario para asistir a la población, la administración del clúster funge como la última alternativa (supplier last alternative).

En la formación de los clústeres es relevante considerar que la participación de distintos agentes en la red de logística humanitaria varía en importancia según la fase del ciclo de vida del desastre o lo que es equivalente de la CSH (Kovacs y Spens, 2009; Balcik et al., 2010). Por ejemplo, las organizaciones humanitarias internacionales (OHI) ayudan poco durante la fase de preparación ya que no cuentan con bienes pre-posicionados y muchas de ellas sólo intervienen cuando se declara el estado de emergencia. Otros elementos a tomar en cuenta para integrar los clústeres son el tamaño y el tiempo de respuesta de las organizaciones humanitarias. La experiencia indica que son las entidades locales (OHL) las que pueden responder más pronto ante un desastre, sin embargo su menor tamaño y falta de experiencia limita el alcance de sus operaciones. Estas observaciones sugieren que la cooperación de organizaciones humanitarias locales e internacionales en un mismo clúster podría potencializar su contribución durante las fases de atención y reconstrucción (Holguín-Veras et. al., 2012). La acción colectiva de las organizaciones humanitarias, basada en la compartición temporal de recursos y la negociación, resulta importante para reducir la turbulencia que es un efecto de la convergencia de entidades con perfiles y objetivos específicos variados (Chandes y Paché, 2010; Holguín-Veras et. al., 2012).

La operación efectiva de los clústeres demanda de dos actividades críticas: la administración e intercambio de información sobre la infraestructura y los recursos disponibles en la zona del desastre y la coordinación tanto vertical como horizontal dentro y entre clústeres. La primera actividad crítica fue ya discutida en la sección previa, en cuanto a la coordinación vertical, Kovacs y Spens (2011) exponen que no es evidente determinar quién será el líder de los clústeres conformados por función, debido a que los roles y responsabilida-

des más bien se van definiendo con el tiempo pero requieren de la disposición, confianza, flexibilidad y apertura de sus integrantes. Sin embargo la autoridad vertical debería ser ejercida por la entidad con la mejor visión estratégica, la mayor experiencia en asistencia humanitaria y la mejor capacidad para gestionar recursos durante un desastre en particular. Chandès y Paché (2010) argumentan, a partir de la experiencia del caso del terremoto de Pisco en Perú, que la presencia de un “eje estratégico” es esencial para desarrollar una visión colectiva, facilitar la coordinación horizontal, garantizar la confiabilidad y responsabilidad de las actividades de asistencia humanitaria y extender las acciones de las ONGs y asociaciones civiles a la fase de preparación, gracias a la coordinación anticipada.

El análisis realizado por Schulz y Blecken (2010) para los casos de la red de Depósitos para Respuesta Humanitaria de las Naciones Unidas, la Federación Internacional de la Cruz Roja y los departamentos de Ayuda Humanitaria de la Unión Económica, identifica los beneficios y barreras para la coordinación horizontal entre organizaciones humanitarias. Los beneficios incluyen economías de escala, descuentos en la compra de productos, mayor información disponible, acceso a mejores proveedores y recursos, menores ciclos de entrega y reducción en los costos de las actividades a cargo de un clúster. Estos beneficios pudieran ser mayores para organizaciones pequeñas que para entidades internacionales o del gobierno federal, ya que además de potenciarse su participación, las asociaciones pequeñas aprovecharían la experiencia, el conocimiento y la guía de grandes organismos lo que contribuirá a un mayor aprendizaje y acumulación de capital social en los clústeres. En cuanto a impedimentos para la coordinación horizontal se citan los siguientes: conflictos en la misión de las organizaciones humanitarias, los recursos limitados de algunas de ellas, diferencias culturales, desconfianza, poca claridad en cuanto a los beneficios de la cooperación y el rol dominante de alguna organización. La integración de plataformas compartidas para realizar compras (e.g. Humanitarian Purchasing Group), armonizar procedimientos, desarrollar/implementar software para rastrear los movimientos de los bienes y recolectar información sobre el estado de la zona afectada son proyectos conjuntos específicos que ilustran las ventajas de la coordinación por medio de clústeres (Kovacs y Spens, 2011).

Siguiendo las ideas antes expuestas, Kaynak y Tuger (2014) propusieron un sistema de coordinación local en dos etapas para atender desastres en el área de Estambul. En la primera fase los dos organismos gubernamentales con la autoridad, recursos y mejores conocimientos para brindar asistencia a la población turca afectada por desastres -la Presidencia para Administración de Emergencias (AFAD por sus siglas en turco) y el Centro de Coordinación de Desastres del Municipio de Estambul (AKOM)- colaboran cercanamente y comparten información y recursos. AFAD es el líder de las actividades de asistencia a nivel regional, nacional e internacional, mientras que AKOM lidera estas actividades pero únicamente en la zona metropolitana de Estambul. Responsabilidades específicas son asignadas por estas entidades a todas aquellas asociaciones o individuos (incluidos los líderes), ya identificados como participantes en caso de desastres. En la segunda fase, todas las asociaciones que brindan ayuda humanitaria se aglomeran a los clústeres ya definidos y recurren a la coordinación por consenso para definir cómo colaborar y apoyar mejor a la población afectada. Gracias al esfuerzo coordinado, las personas más afectadas recibirían ayuda prioritaria, se utilizarían mejor los recursos de los participantes y se minimizarían las redundancias y el tiempo de respuesta.

Uno de los problemas específicos derivado de la convergencia de muchos y variados participantes en la red de ayuda humanitaria es el de acumulación de materiales heterogéneos. Estos materiales necesitan ser trasladados a la zona y distribuidos a la población afectada de acuerdo con una jerarquía de necesidades, sin embargo la cantidad y variedad de las

donaciones crean redundancia en el suministro, complican la priorización de los flujos de productos y resultan en sobre-atención hacia ciertos grupos de la población. Un gran volumen de los materiales recolectados son productos de bajo valor tanto económico como asistencial (e.g. cobijas, ropa, útiles escolares) cuyo acopio, transporte, distribución y almacenaje consume recursos e impacta negativamente el proceso de distribución de materiales más valiosos (e.g. medicamentos, agua, paquetes de alimentos básicos) e incluso representa un riesgo de baja eficiencia percibida tanto de parte de los donadores, quienes ven que sus donaciones no fueron distribuidas, como de los beneficiarios quienes reciben productos no necesarios, dañados o caducados (Chandes y Paché, 2010).

Cómo coordinar mejor la recolección y distribución de todos los materiales que convergen en caso de desastre es otro tema que tampoco ha recibido todavía suficiente atención. Uno de los pocos estudios que abordan este problema específico es el de Destro y Holguín-Veras (2011). Los autores parten de la investigación disponible, la cual muestra que el perfil de las personas y empresas que ofrecen ayuda a poblaciones afectadas, así como el tipo de donaciones que realizan varía sistemáticamente según la región. A partir de información secundaria, estiman distintos modelos de regresión cuyo propósito es caracterizar la mezcla de materiales que se han recibido durante distintos desastres con el fin de anticipar tanto qué bienes prioritarios estarán disponible en caso de un nuevo desastre, así como las necesidades de transporte para todos los materiales recibidos.

2.3 MÉTRICAS DE DESEMPEÑO PARA LA CADENA DE SUMINISTRO HUMANITARIA

La medición del desempeño de la CSH se puede enfocar desde dos perspectivas: la de las organizaciones que brindan asistencia y la de los receptores de esta ayuda. Desde la perspectiva organizacional, el desempeño de la cadena quedaría definido en términos de los objetivos de las entidades que utilizan estas métricas con el propósito de controlar y mejorar sus actividades (Davison, 2006); mientras que desde la perspectiva social (beneficiarios y sociedad en general), la métrica de referencia debería estar en línea con el propósito final de la CSH que es minimizar el sufrimiento humano (Beamon and Balcik, 2008; Holguín-Veras et al., 2013). Si bien la CSH se genera alrededor de este último propósito, las organizaciones que participan en la cadena deben responder ante varios stakeholders (receptores, donadores, organizaciones gubernamentales, comité directivo, etc.) sobre la utilización de sus recursos; por lo cual deberían considerarse también en la evaluación de su desempeño, indicadores de responsabilidad, eficiencia, costo y efectividad de sus operaciones de ayuda. Para considerar tanto la perspectiva organizacional como la social, la optimización de las operaciones de la red de logística humanitaria pueden considerar múltiples objetivos, lo que implica que las decisiones a tomar requieren de ciertas compensaciones (tradeoffs) entre los criterios de desempeño.

Asumiendo el enfoque organizacional para el desempeño de la CSH, Haavisto y Goentzel (2014) llevaron a cabo un estudio cualitativo para identificar un conjunto de indicadores de desempeño para la cadena de suministro del International Rescue Committee (IRC). Estos indicadores resultan de una alineación apropiada entre la estructura organizacional (asignación de roles y responsabilidades), los objetivos estratégicos del IRC y el ambiente. Los indicadores más relevantes, ordenados por su nivel de importancia para apoyar los objetivos estratégicos de la organización, se describen en la tabla 4. Estos indicadores ya habían sido sugeridos en la literatura académica (ver Beamon and Balcik, 2008), pero la evidencia empírica recolectada por Haavisto valida su aplicabilidad por parte de las organizaciones humanitarias.

Tabla 3. Indicadores de desempeño para la cadena logística humanitaria

Indicador de desempeño	Definición constitutiva
Eficiencia	Realizar todas las actividades de asistencia correctamente, dentro del presupuesto y ventana de tiempo establecida
Comunicación en la cadena	Intercambios continuos y oportunos de información entre participantes que faciliten la coordinación de procesos y funciones
Innovación	Desarrollo y mejora continua de actividades de ayuda para capitalizar el conocimiento adquirido al asistir diferentes desastres y también la capacidad de aprendizaje de los participantes
Responsabilidad ante donadores y beneficiarios	Precisión en los procesos de ayuda. Incluye indicadores clave de desempeño (KPI) como asignación clara de funciones, cumplimiento con fechas esperadas de entrega, registros de los productos recibidos, entregados y remanentes, así como satisfacción de los beneficiarios
Confiabilidad	Cumplimiento con el nivel de “servicio” (prestación de ayuda) esperado y confianza en la realización de las actividades de apoyo
Transparencia	Claridad en los procesos e información disponible para verificarlos
Calidad	Calidad del servicio de ayuda y de los bienes que se distribuyen

Fuente: Elaborada a partir de Haavisto y Goentzel (2014).

Las definiciones constitutivas que se reportan en la tabla 1 hacen evidente que el desempeño de la CSH es un constructo complejo y multi-dimensional, por lo que más que un grupo de medidas específicas (por ejemplo cantidad de productos entregados o número de personas atendidas) el diseño y mejora de las actividades de ayuda requiere de un sistema de desempeño de la CSH, en el cual cada dimensión (indicador) de desempeño quede expresada a partir de un conjunto de métricas concretas. En un trabajo pionero, Beamon y Balcik (2008) definen métricas específicas para cada una de tres dimensiones de desempeño – costo de los recursos, salidas y flexibilidad - basadas en el sistema para la medición del desempeño de la cadena de suministro comercial. En la tabla 4 se resume la propuesta de estos autores.

Tabla 4. Métricas para el desempeño de la cadena de suministro humanitaria

Dimensión de desempeño	Descripción	Indicadores de desempeño clave (KPI)
Recursos	Costo total de los recursos utilizados para brindar ayuda	Costo total de la distribución de bienes (manejo y transporte) Costo de inventario Costo de los bienes distribuidos Total de trabajadores que brindaron ayuda Total de horas dedicadas directa o indirectamente a las labores de ayuda Dólares invertidos por persona afectada

Salidas	Cantidad total de suministros distribuidos en la zona afectada durante el tiempo de duración del desastre	Cantidad total de suministros entregados por beneficiario Total de individuos que recibieron ayuda Tiempo total que duró la distribución de ayuda Demanda satisfecha con el inventario disponible (fill rate) Total de suministros que no se entregaron durante el tiempo que duró la emergencia Cantidad de suministros faltantes (stock-outs)
Flexibilidad	Capacidad para responder de forma inmediata (tiempo de respuesta) a desastres con diferentes grados de magnitud y ofreciendo un paquete variado de suministros	Total de productos críticos que la organización puede suministrar en un tiempo deseable Tiempo mínimo de respuesta Mezcla de distintos productos y servicios que se pueden suministrar en un tiempo específico.

Fuente: elaborada a partir de Beamon y Balcik (2008).

Los trabajos de investigación sobre el desempeño de la CSH concluyen que el indicador más relevante es la eficiencia. Pero este indicador no se concibe como el cociente de productividad de salidas vs entradas; sino que se conceptualiza en términos de cómo generar el mayor beneficio o valor social posible ajustándose a los tiempos esperados y al presupuesto disponible. Tomando como referente esta interpretación para la eficiencia, para optimizar el desempeño se procedería a construir un modelo de programación matemática cuya función objetivo sea el valor social y que incluya como restricciones a los tiempos esperados para brindar la ayuda y el presupuesto disponible. Cómo cuantificar el valor social generado por las operaciones de logística humanitaria sigue siendo una pregunta abierta. Holguín-Veras y colaboradores (2013) ofrecen un análisis de métricas y una respuesta interesante a la cual además se integra la eficiencia de la estrategia para brindar ayuda. Los costos sociales que constituyen la función objetivo de las acciones humanitarias definida por los citados autores se considera de naturaleza multi-periódica. Esto es porque el costo social, definido como el costo por la escasez de recursos críticos (deprivation) en que incurre la población afectada, se incrementa con el tiempo puesto que el bienestar de los individuos decrece a medida que pasan más tiempo sin recibir la ayuda requerida. Para evaluar estos costos de escasez los autores sugieren usar técnicas de evaluación económica para calcular el cambio en el bienestar de la población cuando ésta no puede recibir los bienes y servicios que normalmente adquiere en el mercado. La idea es establecer cómo las personas responden a un rango de opciones para poder establecer qué tanto estarían dispuestos a pagar por ciertos productos y servicios o qué pago compensaría el no tener acceso a estos bienes. Por tanto los beneficios y costos quedan definidos en términos de las preferencias individuales, por lo que no hay necesidad de realizar evaluaciones objetivas o de considerar explícitamente la equidad en la distribución de la ayuda. La función de costos de escasez sugerida se asume monotónica, no-lineal y convexa en el tiempo, además de estar asociada con una demanda no-aditiva y calculada a través de la suma de todos los costos y beneficios en que incurren los agentes involucrados. Los tres costos dominantes que componen la función de costos de escasez son:

- 1) el costo económico de la entrega de ayuda para las organizaciones que brindan la asistencia humanitaria,
- 2) la reducción en el costo de escasez de los individuos que reciben

ayuda en un punto de tiempo específico y 3) el costo de oportunidad para la estrategia de entrega de ayuda, entendida como el incremento en el costo de escasez de la población que tiene que continuar esperando por la entrega de apoyos.

Por su parte, Huang et. al. (2012) proponen un conjunto de métricas de desempeño para logística humanitaria, que aunque están inspirados en un problema de ruteo, pueden ser utilizadas para otras actividades. La propuesta de estos autores se puede resumir como sigue:

1. Eficiencia: Esta métrica se expresa en términos del tiempo total de viaje de las rutas utilizadas/seleccionadas.
2. Eficacia: Este componente se refiere a la rapidez con que se logra cubrir la demanda por ayuda. Incluye como indicadores específicos a la velocidad y la suficiencia en las entregas, el tiempo de llegada ponderado respecto de la demanda tanto satisfecha como insatisfecha.
3. Equidad: Esta dimensión considera la ecuanimidad o equilibrio en la distribución de bienes y servicios. Para medirla los autores utilizan dos métricas estadísticas, el rango y la desviación estándar del tiempo y la cantidad de bienes entregados a los afectados. Se propone además el uso de una función lineal por partes como medida para la falta de utilidad en el tiempo de arribo de los bienes.

Por otro lado, Han et. al. (2007) destacan la importancia de las medidas de desempeño para la evacuación de la población. El tiempo total para completar la evacuación corresponde a la métrica global del sistema, en tanto el tiempo individual de viaje desde la zona afectada a una segura más el tiempo de exposición al evento son métricas de impacto a un nivel micro. Por último se sugiere también una métrica espacio-tiempo conceptualizada como una función compleja que relacione el espacio que comprenden las actividades de evacuación con el tiempo necesario para realizarla. La revisión realizada muestra que hay una gran diversidad de medidas de desempeño para la CSH y que no hay todavía un consenso sobre cuáles son las métricas más adecuadas. Sin embargo todos los autores coinciden en que el criterio de minimización de costos que domina las decisiones de la logística empresarial debe ser sustituido por criterios que promuevan una mayor efectividad en el uso de recursos pero sobre todo que aseguren que se minimiza el sufrimiento humano (Holguín et al., 2013). Por lo que también es importante definir los criterios tomando en cuenta la fase de atención y el tipo de desastre que se está analizando.

3. EL CASO DE MÉXICO

Según se hizo notar en la primera sección de este capítulo, varios de los trabajos de investigación sobre logística humanitaria se han desarrollado a partir de la experiencia de catástrofes ocurridas en diversos países. En el caso de México varios autores han abordado el tema de la administración de cadenas de suministro humanitarias (Astudillo, 2011; Consuelos et. al. 2012; Gaytán et al., 2012; Mejía, 2013; Rodríguez y Gaytán, 2015). En general en estos trabajos se han construido modelos matemáticos que buscan cómo atender alguna de las fases de los desastres naturales que han afectado a México. Para elaborar estos trabajos fue necesario conseguir información para alimentar y validar los modelos propuestos, gestionar la participación y la utilización futura de los modelos generados entre los actores involucrados y definir medidas de desempeño apropiadas para optimizar en los modelos. Las experiencias y soluciones a estas complicaciones constituyen el contenido básico de esta sección y aun cuando están descritas en los trabajos citados, éstos más bien se orientan a resolver efectivamente los problemas técnicos asociados con los modelos de optimización propuestos con el propósito de determinar la ubicación

de albergues y centros de distribución en zonas con bajo riesgo de inundación, establecer la cantidad de inventario pre-posicionado, diseñar planes de evacuación que indiquen a las autoridades a cuál albergue dirigir a la población y bajo cuál ruta-modo transportar a las personas según el nivel (tirante) de agua de la inundación. Por tanto es relevante analizar con más detalle otros temas que requieren de investigación adicional y soluciones novedosas.

Hay que destacar que la investigación realizada en México ha sido motivada por la problemática real del país, que debido a su localización geográfica se ve afectado recurrentemente por ciclones y huracanes que provocan severas inundaciones en varias zonas. Una de estas zonas es la ciudad de Villahermosa, capital del estado de Tabasco, la cual ha recibido particular atención debido a su alta vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos. La hidrología de la ciudad de Villahermosa incluye a los ríos Grijalva, Carrizal y Mezcalapa, y a las lagunas de El Negro, Las Ilusiones, El Espejo y El Camarón. Además la ciudad tiene precipitaciones anuales de 2237 milímetros (mm) de lluvia y una altitud promedio de 9 metros sobre el nivel del mar (msnm). Todas estas características favorecen las inundaciones frecuentes en la ciudad siendo la inundación del 2007 una de las más catastróficas ya que alcanzó una altura máxima de 4 metros en las zonas más bajas de la ciudad. Las experiencias derivadas del diseño de planes preventivos para esta ciudad fueron el material fundamental para la elaboración de las siguientes secciones.

3.1 DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN CONFIABLE Y OPORTUNA

En general, todos los trabajos de investigación citados reportan dificultades para encontrar información confiable, oportuna y veraz acerca de la situación de desastre a modelar. La información sobre los efectos de las inundaciones en la zona de Villahermosa, los bienes distribuidos y la atención recibida por la población afectada está muy descentralizada y su confiabilidad es cuestionable (Díaz-Delgado y Gaytán, 2014; Mejía, 2013). Debido a las diferencias entre los objetivos de las organizaciones participantes (ONGs, dependencias gubernamentales, grupos/asociaciones civiles e iniciativa privada), el historial de información almacenada por cada organismo se limita a aquellos datos que son relevantes para cada institución, lo que resulta en una alta fragmentación de la información sobre el desastre natural. Ante esto, hubo necesidad de revisar múltiples fuentes de información secundaria entre las que figuran bases de datos oficiales y privadas, protocolos e informes de las dependencias participantes en la gestión del desastre natural. Aparte de la descentralización de la información, la información disponible está muy agregada (ej. se tiene el total de kit de medicamentos entregados sin especificar sus componentes, dónde y a quién se entregaron) lo cual representa una dificultad adicional para el modelado. El acceso a la información representó otro problema relevante, los trámites para solicitar información y la baja eficiencia de las entidades gubernamentales para responder a estas solicitudes alarga y complica el proceso de obtención de datos.

Adicional a estos problemas con la información, las experiencias de los actores que atendieron el desastre y que constituye un conocimiento valioso, no fueron documentadas. Ante la falta de registro de experiencias, los trabajos revisados reportan la realización de encuestas en campo y entrevistas semiestructuradas con los involucrados en el desastre, desafortunadamente toda esta información cualitativa no está organizada en una base de conocimiento que complemente la información secundaria disponible y pueda ser consultada por otros investigadores u organizaciones humanitarias.

Entre los problemas específicos derivados de la falta de información confiable y suficiente figura la falta de datos sobre las capacidades de las instalaciones de ayuda (e.g. los alber-

gues). La información solicitada a las autoridades de Villahermosa, a través del Instituto Federal de Acceso a la Información y Protección de Datos (IFAI) en México, muestra inconsistencias con los protocolos establecidos. Por ejemplo se documentan espacios de casetas de vigilancia que supuestamente podrían ser utilizados para albergar hasta seis personas cuando los protocolos internacionales – por ejemplo Esfera y el del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) en México - requieren un espacio mínimo de 2 m x 1,5 m para hacer pernoctar a las personas. Ante situaciones como ésta, fue necesario corregir la información recibida dividiendo el área de las instalaciones disponibles en múltiples porciones de acuerdo con el espacio mínimo necesario por cada persona. Este tipo de ajustes afecta la calidad de los resultados generados por los modelos. Una situación similar es reportada para la información sobre las instalaciones consideradas seguras por las autoridades, ya que después de simular diferentes tirantes de inundación a través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), las instalaciones “sobrevivientes” no coincidían con aquellas reportadas como seguras por las autoridades.

Otro caso reportado de problemas con la información fue la falta de datos actualizados sobre la flota de vehículos disponibles que pueden apoyar la evacuación de las personas, sobre todo de vehículos del gobierno. Por ejemplo las cifras para los helicópteros según lo reportado en el inventario oficial no coincidían con la cantidad real, por lo cual se tuvo que elaborar un inventario actualizado para sustentar las decisiones sobre los modos de transporte a utilizar para la evacuación de la población. Estos inventarios corregidos se elaboraron a partir de la información pública (noticias) sobre los accidentes reportados para las unidades y de la revisión de los inventarios gubernamentales que describen el estado de cada unidad –como éstos no son de acceso abierto sino que se consideran información clasificada del gobierno hubo que realizar una gestión complicada para consultarlos-.

3.2 PROBLEMAS DE COORDINACIÓN DE ACTIVIDADES ENTRE LAS ORGANIZACIONES HUMANITARIAS

Los estudios realizados en México dejan ver que no hay una interacción adecuada entre los varios actores que apoyaron a la población de Villahermosa afectada por inundaciones. Se observó ausencia de cooperación y un mínimo intercambio de información y recursos. Esta falta de coordinación entre los actores decrece la eficiencia de sus acciones según lo han hecho notar autores como Holguín-Veras et. al. (2012) y Nolte et al. (2013). De acuerdo con las observaciones de los investigadores mexicanos, las principales barreras para la colaboración e intercambio de recursos son los aspectos culturales, el costo de la coordinación, el idioma, el origen de los fondos y la falta de mecanismos para vincular a los actores locales con las organizaciones humanitarias internacionales y las autoridades mexicanas.

Como ya se hizo notar en la sección 3.1, la información sobre la situación y ayuda recibida/ entregada ante un desastre está muy fragmentada. Esto es uno de los efectos negativos de la falta de vinculación entre las entidades internacionales, nacionales y locales que han atendido los eventos de inundación registrados en Villahermosa. Información crítica como los datos demográficos para la zona, la cual permite definir la composición y demanda esperada de paquetes de ayuda humanitaria para la región, no es examinada por los actores participantes, afectando sus decisiones y decreciendo la efectividad de sus operaciones de ayuda.

Por otro lado, la ausencia de inventarios actualizados para la cantidad total de suministros disponibles para ayuda humanitaria se atribuye también a la mínima interacción en-

tre organizaciones participantes; cada una de ellas registra individualmente los bienes que recolecta y distribuye, esto reduce la visibilidad de los flujos de entrada hacia la zona afectada. Otra consecuencia negativa de la mínima colaboración entre todos los agentes que brindan ayuda humanitaria, es la ausencia de información sobre cómo y en qué forma trabaja cada organización y con qué recursos puede apoyar a los damnificados. La conclusión global es que la ausencia de coordinación provoca problemas de disponibilidad de información confiable, escasez de suministros críticos, falta de personal de apoyo y un uso deficiente de los recursos financieros con que cuenta cada organización humanitaria, lo que finalmente da como resultado la sub-utilización general de los recursos disponibles (Holguín-Veras et al, 2008).

Con el propósito de evitar la duplicidad de esfuerzos y aumentar la disponibilidad de recursos, Mejía (2013) propone que los actores que brindan ayuda humanitaria reporten a un coordinador (se sugiere al SINAPROC) los recursos con los que cuentan y permitan que este agente centralice las decisiones de almacenaje, transporte y distribución de los bienes acumulados. El modelo integral formulado por este autor y el propuesto por Díaz-Delgado y Gaytán (2014) asumen un conjunto de recursos disponibles (instalaciones, vehículos y suministros de ayuda humanitaria) que resulta de la acumulación del total de recursos con los que cuentan varios organismos públicos y privados. Este supuesto, aunado a aquellos establecidos para la información no-detallada en la cual se basan los modelos propuestos decrece aún más la calidad de sus resultados finales que aun cuando fueron cuidadosamente generados, pueden no resultar operativos en la práctica debido a una pobre estimación para la cantidad total de ayuda disponible, la demanda desagregada de recursos y las condiciones en que está la infraestructura de la zona. A todo esto habría que agregar que los usuarios de los modelos formulados serían en primera instancia las organizaciones gubernamentales responsables de atender situaciones de desastre, pero como estas entidades no colaboran ni interactúan con universidades y centros de investigación, sus necesidades reales no son conocidas por los académicos quienes además no reciben la retro-alimentación necesaria para validar y modificar los resultados de su investigación.

3.3 PROBLEMAS ASOCIADOS CON LAS MÉTRICAS DE DESEMPEÑO PARA LA CSH

El último de los retos formulados en las preguntas de investigación en las que se centra este capítulo es la selección de medidas de desempeño para los modelos planteados. Claramente al existir diferentes actores y al no alinearse sus objetivos, es indispensable utilizar diferentes criterios o métricas de desempeño. Por tanto la optimización multicriterio resulta ser la alternativa más adecuada para analizar tanto los tradeoffs propios de la CSH como para considerar los intereses de varias organizaciones humanitarias.

En línea con este enfoque, Gaytán et al. (2011) definen dos medidas de desempeño, el tiempo de evacuación (relevante desde la perspectiva de la comunidad afectada) y el costo total (criterio de desempeño importante para las dependencias de gobierno) del plan preventivo que se diseña; en tanto Rodríguez y Gaytán (2015) definen como criterios a optimizar la distancia total recorrida para completar la evacuación de la zona afectada y el costo de las acciones humanitarias realizadas en Villahermosa en 2007. Por su parte Mejía, (2013) trabaja sobre la minimización de los peores casos de evacuación y de distribución operacionalizados como el máximo tiempo de distribución y de evacuación; el costo total se incluye como tercer criterio e implícitamente considera la minimización de la suma de los tiempos de evacuación y de distribución. De acuerdo con Campbell et. al. (2008) la minimización de la suma y la minimización del peor de los casos garantiza la equidad en la distribución, por lo que el modelo de Mejía (2013) también está tomando en cuenta la

equidad en el diseño de las estrategias elegidas para la distribución y evacuación. En línea con la literatura disponible, las medidas de desempeño de las acciones de logística humanitaria usadas en las investigaciones mexicanas incluyen tanto criterios sociales (equidad, tiempo de evacuación y de distribución) como organizacionales (recursos usados y costo de los planes). El empleo de ambos tipos de criterios garantiza la alineación de las metas de los varios agentes participantes si bien incrementa la complejidad técnica del modelado y las soluciones para los problemas de optimización. Sin embargo, la consideración de varias métricas no garantiza que éstas sean las más apropiadas. Más aún, la definición de métricas de desempeño estandarizadas es cuestionable; de acuerdo con la experiencia de los autores consultados, las métricas a emplear tendrían que definirse tomando en cuenta las características del contexto y la fase del desastre.

En los trabajos revisados también se reconoce la necesidad de precisar mejor los criterios sociales -las propuestas de “costo del sufrimiento humano” y costos de privación (Heras, 2012) son buenos puntos de partida- y de incluir también como criterios al grado de colaboración entre las organizaciones que aportan ayuda, a la demanda insatisfecha (Murillo, 2011) y a la cobertura de la ayuda, la cual debería considerar no sólo cuántas personas recibieron alguna asistencia sino también la igualdad en la ayuda recibida (Buzón, 2011).

4. CONCLUSIONES E INVESTIGACIÓN FUTURA

A partir de la investigación en logística humanitaria motivada por el caso de la ciudad de Villahermosa se justifica el contenido de este capítulo, en el cual se identifican como áreas de oportunidad para investigación futura el desarrollo de sistemas para gestión del conocimiento en logística humanitaria, esquemas para promover y facilitar la coordinación entre participantes de la CSH y a la definición de métricas multi-dimensionales para el desempeño de las actividades de la cadena de suministro y la logística humanitaria. Es necesario promover una investigación diversificada que aporte soluciones para la compleja problemática de atender los casos de desastre desde la perspectiva de múltiples disciplinas hasta empatar los avances logrados desde el enfoque de la investigación operativa. Con base en la revisión de la literatura y el análisis de los casos de aplicación realizados en México, en particular alrededor de la ciudad de Villahermosa, se sugiere que para avanzar en las tres líneas de investigación planteadas se trabaje en varias iniciativas. La primera es centralizar la información sobre desastres con que cuentan las agencias gubernamentales, las organizaciones humanitarias que recurrentemente brindan ayuda en México y otras entidades civiles y privadas, en un repositorio que además de bases de datos, protocolos, informes y catálogos de ayuda humanitaria, compile la experiencia de los principales decisores en cada desastre natural. El objetivo de largo plazo de esta actividad sería contar con un observatorio nacional de riesgos y desastres que contenga información geográfica, sociodemográfica, de recursos disponibles y de protocolos para atención de emergencias el cual pueda ser consultado por todas aquellas entidades autorizadas a participar en caso de un desastre en México.

La segunda iniciativa es identificar mecanismos para la coordinación entre los agentes que convergen al momento de un desastre. La experiencia de los clústeres funcionales para ayuda humanitaria es el referente disponible. Para su implementación se hace necesario iniciar con un inventario de los recursos y capacidades de las organizaciones humanitarias que operan en México a partir del cual se puedan agrupar las asociaciones de acuerdo con las funciones o actividades que implica atender un desastre. Un gran reto para esta iniciativa es formular estrategias para sortear las barreras culturales que impiden la cooperación, para ello habrá que profundizar en los temas de cultura y relaciones orga-

nizacionales. También será necesario generar una interfaz que facilite la comunicación y colaboración entre estos actores para lograr un uso óptimo de sus recursos individuales. Finalmente, está el desarrollo de métricas válidas para evaluar y contrastar las acciones de logística humanitaria, tomando en cuenta las experiencias, objetivos y demandas de todos los participantes de la CSH. Todas estas iniciativas demandan de grupos de investigación interdisciplinarios y de una vinculación entre la academia, las organizaciones humanitarias y agencias de gobierno, lo que finalmente también plantea retos interesantes para la comunidad académica interesada en el avance de la investigación en cadena de suministro humanitaria con un enfoque hacia la solución de problemas reales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afshar, A., Haghani, A. (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations, *Socio-Economic Planning Sciences*, 46, 327-338.
- Astudillo, O. (2011). Metodología para la ubicación de albergues y rutas de evacuación de la población para zonas de riesgo de inundación y una aplicación a un caso en México. Tesis (no publicada) de maestría en Ingeniería de Transporte, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Balcik, B., Beamon, B.M., Krejci, C.C., Muramatsu, K.M. and Ramirez, M. (2010). Coordination in humanitarian relief chains: practices, challenges and opportunities, *International Journal of Production Economics*, 126 (1), 22-34.
- Baldini, G., Oliveri, F., Braun, M., Seuschek, H. and Hess, E. (2012). Securing disaster supply chains with cryptography enhanced RFID. *Disaster Prevention and Management*, 21 (1), 51-70.
- Barbarosoğlu, G., Özdamar y L., Çevik, A. (2002). An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations, *European Journal of Operational Research*, 140, 118-33.
- Buzón, I. (2011). Planificación dinámica de la distribución de ayuda humanitaria. Tesis (no publicada) de doctorado en Ingeniería Industrial, Tecnológico de Monterrey Campus Toluca. Toluca, México.
- Campbell, A. M., Vandenbussche, D. and Hermann, W. (2008). Routing for relief efforts, *Transportation Science*, 42 (2), 127-145.
- Chandes, J. and Paché, G. (2010). Investigating humanitarian logistics issues: from operations management to strategic action, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21 (3), 320-340.
- Chiu, Y., Zheng, H. (2007). Real-time mobilization decisions for multi-priority emergency response resources and evacuation groups: Model formulation and solution. *Transportation Research Part E*, 43, 710-736.
- Consuelos, L., Robles, M. and Zhang, M. (2012). Inventory policies for Humanitarian aid during hurricanes. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46, 272-280.
- Dash, S. R., Mishra, U. S. and Mishra, P. (2013). Emerging issues and opportunities in disaster response supply chain management, *International Journal of Supply Chain Management*, 2 (1), 55-61.
- Day, J. M., Melnyk, S. A., Larson, P. D., Davis, E. W. and Whybark, D. C. (2012). Humanitarian and disaster relief supply chains: a matter of life and death, *Journal of Supply Chain Management*, 48 (2), 21-34.
- Destro, L. and Holguín-Veras, J. (2011). Material convergence and its determinants. Case of hurricane Katrina, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2234, 14-21.

- Díaz-Delgado, C. y Gaytán, J. (2014). Flood Risk Assessment in Humanitarian Logistics Process Design. *Journal of Applied Research and Technology*, 12(5), 976-984.
- Gaytán-Iniestra, J., Arroyo-López, P. E. y Enríquez-Colón, R. (2012). Un modelo bicriterio para la ubicación de albergues como parte de un plan de evacuación en caso de inundaciones, *Revista Ingeniería Industrial*, 11 (2), 35-56.
- Haavisto, I. y Goentzel, J. (2014). Performance in humanitarian supply chains. Uncovering the denotation of efficiency through a contingency approach. En *Performance in humanitarian supply chains*. Publication No. 275, Hanken School of Economics, Helsinki.
- Han, L., Yuan, F., y Urbanik, T. (2007). What Is an Effective Evacuation Operation? *Journal of Urban Planning and Development*, 133, 3-8.
- Heras, R. (2011). Modelo de decisión Markoviano y programación dinámica para ajustar capacidad en operaciones logísticas humanitarias, buscando minimizar el sufrimiento humano. Tesis (no publicada) de doctorado en Ingeniería Industrial, Tecnológico de Monterrey Campus Toluca. Toluca, México.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., Ukkusuri, S., Bromm, M., Torres, C., Wachtendorf, T. y Brown, B. (2007). "An Analysis of the Temporal Distributions of Requests for Critical Supplies after Hurricane Katrina", *Proceedings of the 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 1-23.
- Holguín-Veras, J., Jaller, M., y Wachtendorf, T. (2012). Comparative performance of alternative humanitarian logistic structures after the Port-au-Prince earthquake: ACEs, PIEs, and CANs, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46 (10), 1623-1640.
- Holguín-Veras, J., Pérez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N. y Aros-Veraca, F. (2013). On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models, *Journal of Operations Management*, 31, 262-280.
- Huang, M., Smilowitz, K. y Balcik, B. (2012). Models for relief routing: Equity, efficiency and efficacy, *Transportation Research Part E*, 48, 2-18.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI] (2012). Consultado el 22 de marzo de 2012 en: <http://inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?ent=27>
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (s.f.). Emergency Response Units (ERUs): Type. Recuperado el 12 de octubre de 2012, de: <http://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/responding/disaster-response-system/dr-tools-and-systems/eru/types-of-eru/>.
- Jahre, M. y Jensen, L. (2010). Coordination in humanitarian logistics through clusters, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40 (8/9), 657-674.
- Kaynak, R. y Tuger, A. T. (2014). Coordination and collaboration functions of disaster coordination centers for humanitarian logistics, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 190, 432-437.
- Kovacs, G. y Spens, K.M. (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39 (6), 506-528.
- Kovacs, G. y Spens, K.M. (2011). Trends and developments in humanitarian logistics – a gap analysis, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41 (1), 32-45.
- Mejía, C. (2013). Modelo de optimización y metaheurístico integral del problema de logística humanitaria a través de un enfoque multicriterio: Caso de estudio en Villahermosa, Tabasco, México". Tesis de doctorado (no publicada) en Ingeniería Industrial. Tecnológico de Monterrey Campus Toluca. Toluca, México.
- Murillo, R. (2011). Desarrollo de un modelo de optimización para mejorar la respuesta inmediata en cadenas de logística humanitaria, mediante el uso de dispositivos móviles. Tesis (no publicada) de maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Industrial,

Tecnológico de Monterrey Campus Toluca. Toluca, México.

Nolte, I., Martin, E. y Boenigk, S. (2013). Cross-Sectoral Coordination of Disaster Relief, *Public Management Review*, 14 (6), 707-730.

Nolz, P.C., Doerner, K.F., Gutjahr, W.J. y Hartl, R.F. (2010). A Bi-objective Metaheuristic for Disaster Relief Operation Planning", en C.A. Coello Coello (Ed.) *Advances in Multi-Objective Nature Inspired Computing*, SCI 272, pp. 167-187. Berlin: Springer-Verlag.

Ortuño, M., Tirado, T. y Vitoriano, B. A. (2011). A lexicographical goal programming based decision support system for logistics of Humanitarian Aid, *Top*, 19, 464-479.

Pedraza, A., Stapleton, O. y Van Wassenhove. (2009). *Field Vehicle Fleet Management in Humanitarian Operations: A Case-based Approach*, Working paper, INSEAD, France.

Rodríguez, O. y Gaytán, J. (2015). Scenario-based preparedness plan for floods, *Natural Hazards*, 76, 1241-1262.

Rekik, M., Ruiz, A., Renaud, J. y Berkoune, D. (2013). Decision Support System for Humanitarian Network Design and Distribution Operations. En Zeimpekis, V., Ichoua S. y Minis, I. (Eds.) *Humanitarian and Relief Logistics Research Issues, Case Studies and Future Trends*. Berlin: Springer-Verlag.

Sheu, J. (2014). Post-disaster relief-service centralized logistics distribution with survivor resilience maximization, *Transportation Research Part B*, 68, 288-314.

Schulz, S.F. y Blecken, A. (2010). Horizontal cooperation in disaster relief logistics: benefits and impediments, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40 (8/9), 636-656.

Stepanov, A., Smith, J. M. (2009). Multi-objective evacuation routing in transportation networks, *European Journal of Operational Research*, 198, 435-446.

Vitoriano, B., Ortuño, T. Tirado, G. y Montero, J. (2011). A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution, *Journal of Global Optimization*, 51(2), 189-208.

Wang, J., Hu, X. y Zhu, D. (2009). Data mining in public administration. En Garson, G. D. and Khosrow-Pour, M. (Eds.) *Handbook of Research on Public Information Technology*. Vol. 2. Hershey, PA: IGI Global, 556-567.

(Van) Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear, *Journal of Operation Research Society*, 57 (5), 475-489.

Wisetjindawat, W., Ito, H., Fujita, M. y Eizo, H. (2014). Planning Disaster Relief Operations, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 125, 412 - 421.

Yi, W. y Ozdamar, L. (2007). A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities, *European Journal of Operational Research*, 179, 1179-1193.

Zhang, D., Zhou, L. y Nunamaker, J. F. Jr. (2002). A knowledge management framework for the support of decision making in humanitarian assistance/disaster relief, *Knowledge and Information Systems*, 4, 370-385.

CAPÍTULO 14

ANÁLISIS FACTORIAL: VALIDACIÓN DE UN CUESTIONARIO PARA EXPLORAR LAS PRÁCTICAS LOGÍSTICAS ANTE CONTEXTOS DE RIESGO.

Jesús Escalante Euán^a, Francisco Hernández Vázquez-Mellado^b

Universidad Politécnica de Catalunya^a
Barcelona Tech, España (jesus.escalante@upc.edu)
Universidad Autónoma de Yucatán^b
Mérida, México.

RESUMEN

Esta investigación describe la metodología que suele emplearse para la construcción y validación de cuestionarios como escalas de medida para obtener datos confiables. Se realizó una discusión de las herramientas y los criterios empleados para discernir entre un análisis de componentes principales, un análisis factorial exploratorio y uno confirmatorio. Asimismo se discutieron los aspectos que permitieron discriminar entre el tipo y el número de factores, la rotación y los criterios para valorar la magnitud de las correlaciones variable-factor, y de esta manera comprobar la validez de cada constructo teórico. Los resultados obtenidos revelan visiones y perspectivas significativas para diversificar los instrumentos de diagnóstico para la planificación y valoración de escenarios en la gestión del riesgo y de las prácticas logísticas de las pequeñas y medianas empresas, en contextos asociados a fenómenos hidrometeorológicos en áreas metropolitanas.

Palabras clave: Análisis factorial, gestión del riesgo, pequeñas y medianas empresas, fenómenos hidrometeorológicos.

ABSTRACT

This research offers a brief description that should be employed in the construction and validation of questionnaires as measures scales to enable the collection and quantification of data for the ultimate propose of comparing information.

A discussion of the tools and criteria used to distinguish among principal component analysis, exploratory factor analysis and confirmatory factor analysis.

Finally we discussed the criteria for the discrimination among the type and number of factors, rotation, and the criteria for assessing the magnitude of the variable-factor correlations and verifying the validity of each theoretical construct.

The results obtained show significant views perspectives to diversify diagnostic tools, which are useful to evaluate, to plan and to assess scenarios as well as their impacts on resource management in the context of risks due to hydro-meteorological phenomena (i.e. hurricanes) in metropolitan areas.

Keywords: Factorial analysis, risk management, small and medium enterprises, hydro-meteorological phenomena.

I. INTRODUCCIÓN

La motivación de la investigación surge del interés por ampliar y diversificar los estudios de validación de un instrumento para el diagnóstico de prácticas logísticas, empleando

como soporte el análisis factorial. La investigación sostiene en su metodología la importancia de la encuesta como un instrumento para acopiar información, pero también que se acompañe de herramientas estadísticas que garanticen su calidad, en términos de precisión y fiabilidad.

Por esta razón, simultáneamente a la fase de acopio de información, el trabajo sugiere que deben ser acompañados por estrictos procesos de validación y depuración de los datos recogidos, para detectar y corregir los errores que puedan surgir y además, eliminar todo ítem o reactivo que no cumpla con los criterios de calidad establecidos.

Este trabajo describe cada una de las etapas que suelen acompañar a una encuesta por muestreo, así como la recolección y el desarrollo de los procedimientos que permitan la validación, depuración e imputación de los ítems estudiados. Entendiéndose como actividades interrelacionadas y que forman parte de un proceso integral, con la finalidad de recolectar información de calidad y eficiente.

El proceso de construcción y validación de un cuestionario se requiere en principio, el conocimiento teórico de los aspectos que se quieran medir, con el fin de garantizar que el instrumento que se diseña, se puedan aplicar los mismos criterios de validez y fiabilidad. Para atender la etapa de validación cuantitativa del instrumento, es preciso hacer uso de las herramientas estadísticas, el procedimiento usualmente empleado para reducir las dimensiones se denomina análisis factorial.

A continuación se describen las diferencias de cada método y en qué caso se utiliza cada procedimiento.

1.1 ANÁLISIS FACTORIAL EXPLORATORIO O CONFIRMATORIO

El tipo de análisis que se realiza con más frecuencia es el exploratorio, cuando la intención de quien lo realiza sea confirmar alguna hipótesis previa, dado que es considerado un procedimiento para comprobar teorías que para confirmarlas.

Por otra parte, el análisis factorial confirmatorio supone establecer como hipótesis previa el número de factores, además de responder a algunas incógnitas tales como: con qué factores están relacionados, su independencia y estimar los pesos de cada una de las variables (Ross, Millis, Bonebright, & Bailley, 2002; Williams, Brown, & Onsmann, 2012). Lo más habitual es utilizar el análisis exploratorio, aunque la intención sea confirmatoria, aunque esta práctica en ocasiones no sea la más recomendable.

El análisis factorial confirmatorio requiere de pruebas complementarias de bondad de ajuste para confirmar si la estructura obtenida coincide con la estructura propuesta como hipótesis.

Algunas pruebas están basadas en la Chi cuadrado (χ^2) y se ven afectadas por el número de sujetos y de factores. Si se trata de modelos más complejos, el número de individuos también debe ser grande con respecto al número de variables a razón de 20:1 (P. Kline, 1993; Saggino, Cooper, & Kline, 2001). En general, todos estos métodos presentan áreas de oportunidad, ya que no son del todo fiables por lo que deben utilizarse con prudencia (P. Kline, 1993).

Para confirmar la hipótesis de no diferencia entre las dos estructuras factoriales, hay que aceptar la hipótesis nula y con muestras grandes se rechaza, ya que la prueba suele presentar dificultad para confirmar cualquier hipótesis.

En cambio con muestras pequeñas se pueden confirmar a la vez varias hipótesis por lo que resulta más fácil demostrarlo. El hecho de que los análisis confirmen el modelo propuesto no quiere decir que no haya otros posibles modelos que se ajusten a estos datos (Marsh & Hocevar, 1988; Williams et al., 2012).

El análisis factorial exploratorio arroja resultados más conservadores donde influyen menos las hipótesis del investigador y siendo entonces el más utilizado. Una recomendación usual de diversos autores es que, el análisis factorial confirmatorio debe utilizarse con cautela y solamente para hipótesis específicas basadas en estudios previos, y con orientación en muestras pequeñas (Gorsuch, 1997; Winter, Dodou, & Wieringa, 2009). De igual manera contar con claros fundamentos teóricos que permitan al investigador especificar de antemano el modelo exacto de la estructura factorial que desea confirmar (Ross et al., 2002).

Cuando las especificaciones propias del análisis factorial confirmatorio no están seriamente justificadas (Ross et al., 2002) lo razonable es optar por el análisis factorial exploratorio, aunque la intención del investigador tenga en principio un carácter confirmatorio. Algunos investigadores hacen en primer lugar un análisis exploratorio y corroboran después la estructura factorial con un análisis factorial confirmatorio en una nueva muestra (Henson & Roberts, 2006; Pérez-Gil, Chacón Moscoso, & Moreno Rodríguez, 2000). Aun así en muchas situaciones lo recomendable es realizar el análisis factorial confirmatorio, una vez realizada una escala se verifica si se mantiene la misma estructura en una muestra distinta (Osborne & Costello, 2005).

1.2 COMPONENTES PRINCIPALES O FACTORES COMUNES

Con el análisis de componentes principales (ACP) analizamos toda la varianza, común y no común (unos en la diagonal) y con el análisis de factores comunes (AFC) sólo se analiza la varianza compartida (estimaciones de la comunalidad en la diagonal).

En el (AFC) los factores van explicando sucesivamente la máxima proporción de varianza en la población y no en la muestra. El término análisis factorial se refiere solamente a los factores comunes, aunque es habitual utilizarlo para designar al análisis de componentes principales.

La estructura factorial que resulta en ambos análisis es similar, es decir, cuando las variables son 20 o incluso menos y cuando hay una estructura factorial definida es deseable el uso del (ACP) (Nunnally & Bernstein, 1994).

Existe una estructura factorial clara cuando los ítems que definen un factor tienen pesos de 0.50 o más en un factor y valores menores en los demás. En la práctica y en la mayoría de los análisis los resultados tienden a ser los mismos (Beavers et al., 2013; Nunnally & Bernstein, 1994)

En el análisis de componentes principales los pesos tienden a estar sobreestimados sobre todo si los ítems son pocos, siendo un aspecto relevante para la fase de interpretación. Esta sobrestimación se debe a los valores unitarios de la diagonal en la matriz, en vez de poner una estimación de la varianza que cada variable comparte con las demás y que no se aproxima a la unidad, es decir el 100% de la varianza.

Si lo que se pretende es seleccionar los ítems con pesos mayores en un factor, no suele haber diferencias entre los dos tipos de análisis. Como en el análisis de componentes principales se analiza toda la varianza es más frecuente que un ítem tenga pesos en varios factores es decir, su varianza se puede explicar por varios factores (Beavers et al., 2013).

Cuando se diseñan instrumentos y escalas, (Albright & Park, 2009; Nunnally & Bernstein, 1994) recomiendan el análisis de componentes principales, otros autores suelen preferir el (AFC) ya que obtiene estimaciones más conservadoras en los pesos al tener en cuenta el error o varianza no compartida de las variables (Gorsuch, 1997).

(Beavers et al., 2013) sugiere hacer los dos análisis (AFC) y (ACP), para optar por la solución más clara. Entre las diversas modalidades del AFC la más recomendada es la de

Máxima Verosimilitud, si las distribuciones son aproximadamente normales y, la de ejes principales si las distribuciones se apartan notablemente de la normal (Osborne & Costello, 2005).

1.3 FACTORES ORTOGONALES O FACTORES OBLICUOS

Las rotaciones son transformaciones lineales que facilitan la interpretación sin alterar la proporción de varianza explicada por los factores (Courtney, 2013; Nunnally & Bernstein, 1994). Los factores ortogonales son factores no relacionados, en tanto para los factores oblicuos podrán estar o no relacionados.

La no relación entre los factores ortogonales quiere decir que no están relacionadas las puntuaciones factoriales calculadas a partir de todos los ítems, y si además se ha partido de valores igual a uno en la diagonal de la matriz de correlaciones. En un test o escala, lo normal es que haya relación entre los ítems que definen los diversos factores, por lo cual hay que tener en cuenta cuando se habla de factores ortogonales no relacionados, en donde las puntuaciones factoriales no están relacionadas, pero sí pueden estarlo las puntuaciones directas.

Los factores ortogonales son de interpretación más sencilla, cada uno representa una fuente de varianza distinta e independiente de los demás factores. Son los más recomendados para construir subescalas factoriales.

Los factores oblicuos son en general de interpretación más compleja, el investigador no sólo debe interpretar y explicar la estructura factorial, sino además las relaciones entre factores (Williams et al., 2012), sin embargo la rotación oblicua es más rica y matizada, permiten una apreciación más real, confusa en ocasiones y no necesariamente ortogonal (Barrett, 2003; Courtney, 2013; Engelhard, 1984), permite además realizar análisis factoriales de segundo orden.

Los dos tipos de rotación son útiles y se sugiere realizar ambos (Abdi, 2003; Jennrich & Bentler, 2012; P. Kline, 1993; Saggino et al., 2001), lo habitual es optar por los factores ortogonales (Nunnally & Bernstein, 1994) que suele ser la opción preferida (Jackson, Gillaspay, & Purc-Stephenson, 2009) aunque no necesariamente la mejor.

Autores como (Osborne & Costello, 2005) recomiendan la rotación oblicua directa Oblimin. Si los factores son conceptualmente independientes la rotación ortogonal será más aceptable sin embargo, en casos como las ciencias sociales donde los factores suelen estar relacionados, la rotación oblicua puede ser la más apropiada (Beavers et al., 2013). Lo más frecuente es hacer rotación ortogonal, ya que tiende a ser más sencilla de interpretar.

Los factores oblicuos se ajustan más a los datos concretos en cambio los factores ortogonales son más generalizables y es más fácil que se repliquen en otras muestras. Por lo general, el investigador está más interesado en los resultados generalizables y ésta es una razón para preferir la rotación ortogonal que es la opción recomendada como práctica habitual (Jackson et al., 2009). Si la rotación oblicua presenta una estructura más simple e interpretable un buen procedimiento será la rotación Oblimin (R. B. Kline, 2013).

Una diferencia importante a considerar entre los factores ortogonales y los factores oblicuos es que en la primera tenemos una única matriz factorial y las correlaciones de cada variable con cada factor, mientras que en la rotación oblicua contamos con dos matrices, donde una de ellas es semejante a la ortogonal con los pesos o correlaciones de cada variable con cada factor.

En tanto, en los factores oblicuos serán los pesos para calcular las puntuaciones factoriales que tienen en cuenta que los factores están o pueden estar relacionados, y que no deben interpretarse como coeficientes ortogonales ya que ambas matrices son idénticas.

Cuando la estructura factorial es clara los mismos factores vienen definidos por las mismas variables con ambos tipos de rotación. La experiencia muestra que, los dos tipos de rotación llevan a las mismas conclusiones respecto al número y tipo de factores. Los resultados de ambos tipos de análisis tienden a ser los mismos sobre todo cuando la proporción de variables con respecto al número de factores es pequeña y baja correlación entre factores (Jackson et al., 2009).

En cualquier caso la proporción de varianza explicada por todos los factores es la misma.

1.4 ROTACIÓN ORTOGONAL: QUARTIMAX Y VARIMAX

Quartimax y Varimax son los dos tipos de rotación ortogonal más utilizados con el análisis factorial, y con respecto a la rotación ortogonal se pretende simplificar la matriz para hacerla fácilmente interpretable. Para el caso de la rotación Quartimax se intenta simplificar las columnas (factores) maximizando su varianza.

Es probable que muchas variables tengan pesos grandes en el mismo factor, esta rotación tiende a poner de manifiesto un factor general parecido al primer factor sin rotar. Si el investigador cree que hay un factor principal que explica casi toda la varianza lo puede confirmar mejor con la rotación Quartimax, pero en general es preferible la rotación Varimax (Jackson et al., 2009).

Para simplificar la interpretación suele preferirse la rotación Varimax que es la más habitual. Lo que suele suceder con este tipo de rotación es que los ítems o variables tienen una carga de peso mucho mayor en un factor y mucho menores en todos los demás. También es posible notar en las columnas valores muy altos o muy bajos.

Un aspecto relevante es la definición de la estructura que suele ser más simple y de fácil interpretación, donde a partir de la construcción de escalas factoriales con subestructuras bien diferenciados y replicables sean en definitiva la rotación Varimax la más recomendable (R. B. Kline, 2013; Kwasinski, 2013; Nunnally & Bernstein, 1994; Williams et al., 2012).

II. MARCO TEÓRICO

Yucatán es una de las diez regiones económicas con mayor crecimiento en los últimos años de acuerdo a las cifras del Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, clasificada con las condiciones favorables para continuar su crecimiento (OCDE, 2008). Por otra parte, el Instituto de Estadística Geografía e Informática señala que en este estado (INEGI, 2009) las pequeñas y medianas empresas (PYMES) representan el 99,6%.

Mérida la capital del estado, concentra la mayor parte de la actividad industrial y comercial, con una cifra del 42% de la población, la tasa de ocupación de empleo del 60% y con producción de más de dos tercios del producto bruto regional (Estrella, 2010).

La ciudad de Mérida es favorable dada su relación con el resto de la península de Yucatán y América Central, de acuerdo a las características de ubicación geográfica, infraestructura física y tecnológica es considerada como una de las regiones con mayor potencial de desarrollo para las actividades de logística, distribución y fabricación de componentes para América Central, Sur de México, el Caribe y los Estados Unidos de América.

No obstante los informes de la OCDE, Ibíd. p. 34, refieren que la capital y Yucatán, muestra grandes rezagos aunado a los bajos niveles de capital humano, falta de innovación y redes de suministro insuficientes y poco competitivas haciéndola vulnerable.

Estudios del Banco Interamericano para el Desarrollo (Garlati, 2013), refieren dos indicadores importantes: el Índice de Exposición de Desastres (IED) para medir la vulnerabilidad así como el índice de Exposición a Eventos Climáticos Extremos (ECE).

Su utilidad se ha limitado a ser un instrumento para garantizar un proceso de asignación de fondos, transparente, eficiente y equitativa para mitigar los daños (Garlati, 2013; Gillson, Dawson, Jack, & McGeoch, 2013; McCarthy, Canziani, Leary, Dokken, & White, 2001; Tereza et al., 2013). Estimaciones del IED indican un escenario inesperado para las regiones que habían sido consideradas resilientes y que se encuentran cada vez más expuestas.

El 45% de los desastres ocurrieron en América central y los países más poblados como Colombia y México son los que tienen más alta participación. De acuerdo con información de la Organización de las Naciones Unidas (2010), las inundaciones y deslizamientos de tierra han sido los sucesos predominantes.

Éstos representan el 80% de desastres totales, los huracanes, sequías, epidemias y los incendios, son mucho menos frecuentes pero cada vez con mayor intensidad (Tabla 1), (Landsea, Vecchi, Bengtsson, & Knutson, 2010; Landsea CW, 2007).

Tabla 1. Distribución por tipo de desastre natural

Desastre	Frecuencia	Frec. relativa
Inundaciones	45.030	49,61%
Las lluvias y tormentas	17.762	19,57%
Deslizamientos de tierra	13.102	14,43%
Los huracanes	6713	7,40%
Sequías	3.288	3,62%
Epidemias	3261	3,59%
Incendios	1616	1,78%
Total	90.772	100,00%

Dada la situación geográfica de la península de Yucatán es particularmente sensible a los fenómenos hidrometeorológicos.

Los huracanes se clasifican en función a la velocidad media sostenida de sus vientos. La más conocida es la escala Saffir-Simpson, que establece cinco categorías (“National Atmospheric Administration,” 2014). Lo catastrófico de un huracán depende de su categoría, de su trayectoria y el tiempo que permanezca sobre la zona (Tabla 2). Si el huracán sólo afectara al mar, sería menos catastrófico que si incidiera en la costa. Los huracanes se rigen por las siguientes categorías:

Tabla 2. Clasificación de los huracanes

	1	2	3	4	5
Velocidad del viento	119-1530 km/h	154-177 km/h	178-209 km/h	210-249 km/h	Desde 250 km/h
Marea	1.2-1.5 m	2.7-2.4 m	4.0-5.5 m	4.0-5.5 m	Desde 5.5 m
Presión central	980 hPa	965-979 hPa	945-964 hPa	920-944 hPa	Menos de 90 hPa

Km/h: Kilómetros por hora | m: Metro | hPa: Hectopascales

En resumen existen estudios concluyen que a medida que el clima global se calienta debido a las concentraciones de gases efecto invernadero los cambios en la temperatura, las precipitaciones y la actividad de los ciclones tropicales, aunado a las condiciones del

clima en el Golfo de México y la región del Caribe también cambiarán. De acuerdo a las proyecciones del informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (Biasutti, Sobel, Camargo, & Creyts, 2011).

En contraste otros autores refieren que no existe una clara concepción de que los desastres naturales son totalmente debidos a la naturaleza, lo que sí es posible admitir es que estos sucesos son más frecuentes y de mayor intensidad, y que está relacionado con el factor antropogénico (Carabias, 2013).

Después de una amplia revisión bibliográfica y un análisis contextual consensuado, se propusieron las siguientes preguntas como reflexión:

(1) ¿Cómo perciben el entorno los gerentes de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) ante un evento disruptivo asociado a un huracán?

(2) ¿Cuáles son los rasgos de capacidad que les hacen reaccionar ante un evento disruptivo?

(3) ¿Es posible caracterizarlos en constructos que doten de significancia a un instrumento fiable?

Las preguntas de investigación permitieron en síntesis explorar el concepto de resiliencia y gestión del riesgo asociado a eventos disruptivos especialmente vinculados a los fenómenos hidrometeorológicos, así como estudiar las prácticas logísticas en las pequeñas y medianas empresas, con esto definir una metodología que permitiera obtener un instrumento fiable calibrado y validado.

III.METODOLOGÍA

3.1. ESTRUCTURA DE LA ENCUESTA

El cuestionario fue valorado por 12 profesionales expertos del área en una plataforma en línea durante el cuarto trimestre del 2013, justo en la fase final de la temporada de huracanes. La encuesta está basada de las aportaciones de (Pettit, Croxton, & Fiksel, 2013).

A través del pre test se verificó la coherencia semántica y discriminación de aquellos reactivos que resultaron confusos o inconsistentes. La encuesta incluyó las siguientes secciones: el perfil del encuestado, características del sector, tamaño de la empresa y finalmente los constructos que se describen a continuación:

- F1: Percepción del entorno: constructo que valora en nueve ítems la percepción de los gerentes, respecto al medio ambiente caracterizado por los cambios en las operaciones asociados a factores externos y que están fuera de su control.
- F2: Capacidad para enfrentar amenazas deliberadas o intencionales con interrupción de las operaciones, este factor se compone de 12 ítems.
- F3: Capacidad para discernir potenciales hechos o situaciones futuras, dimensión compuesta por ocho ítems.
- F4: Colaboración y organización para trabajar de forma efectiva con otras entidades para el beneficio mutuo, factor que agrupa diez ítems.

3.2. DATOS

Tomado como referencia las experiencias y aprendizajes en el uso y operación de la plataforma en línea, se realizó la encuesta a un total de 155 gerentes de acuerdo a los sectores y empresas con mayor relevancia en la zona de estudio. Mediante esta herramienta pudimos agrupar las valoraciones de los expertos para los cuatro factores.

Este ejercicio se realizó entre los meses de Agosto a Febrero de 2014 y de acuerdo a los registros publicados en línea del Sistema Empresarial Mexicano¹ (SIEM, 2013). La encuesta la integran 39 ítems con valores de: $\sigma=0.93$, $\mu= 3.1$, $N= 155$ y $\alpha=0. 38$.

Del total de empresas, la región dos agrupa el 78% de empresas del sector secundario y el 21% del sector terciario. El diseño de la muestra, cumplió con los siguientes criterios: incluye a empresas de la Zona Metropolitana de Mérida (ZMM) y un segundo nivel de desagregación por giro y sub-zonas de estudio (Tabla 3).

Tabla 3. Estratificación por giro y sub-zonas

Giro	Sub-zonas				Muestras		
	A	B	C	Total	A	B	C
Industria	45	23	6	55	52%	82%	75%
Comercio	28	1	1	32	32%	4%	12.5%
Servicios	14	4	1	19	16%	14%	12.5%
Total	87	28	8			100%	

Cada sujeto del universo de la muestra implica que seleccionar una empresa es seleccionar a un sujeto responsable de tomar las decisiones en la organización, la unidad de muestra final fue la empresa y la unidad de observación el gerente.

El marco muestral del estudio la conforman siete regiones (Tabla 4), la número dos fue la de mayor preponderancia de emplazamiento por número de empresas (94%). El muestreo fue probabilístico, estratificado y bietápico.

Tabla 4. Estratificación por regiones y sectores

Regiones	Sectores		Total	%Región
	Secundario	Terciario		
1	5		5	2%
2	159	67	226	94%
3	1		1	0%
4	1		1	0%
5	2		2	1%
6	2		2	1%
7	4		4	2%
Total	174	67	241	100%

3.3 CODIFICACIÓN Y NOTACIÓN

El modelo de análisis factorial expresa la varianza y covarianza de un conjunto de las 39 variables continuas observadas y ($j=1$ a p) dado un conjunto de factores η ($k=1$ a m) y los residuales ϵ ($j=1$ a p), para cada sujeto i .

$$y_{i1} = v_1 + \lambda_{11} \eta_{i1} + \lambda_{12} \eta_{i2} + \dots + \lambda_{1k} \eta_{ik} + \dots + \lambda_{1m} \eta_{im} + \epsilon_{i1}$$

$$y_{ij} = v_j + \lambda_{j1} \eta_{i1} + \lambda_{j2} \eta_{i2} + \dots + \lambda_{jk} \eta_{ik} + \dots + \lambda_{jm} \eta_{im} + \epsilon_{ij}$$

$$y_{ip} = v_p + \lambda_{p1} \eta_{i1} + \lambda_{p2} \eta_{i2} + \dots + \lambda_{pk} \eta_{ik} + \dots + \lambda_{pm} \eta_{im} + \varepsilon_{ip}$$

Dónde:

- y es el vector de las variables originales
- v_j es el intercepto
- η_{iK} los valores del factor
- ε_{ij} los residuos medios y las correlaciones de valor cero con los factores
- λ_{jK} las cargas factoriales o saturaciones

$$y = \begin{pmatrix} y_{i1} \\ y_{i2} \\ \cdot \\ \cdot \\ y_{ip} \end{pmatrix}, v = \begin{pmatrix} v_{i1} \\ v_{i2} \\ \cdot \\ \cdot \\ v_{ip} \end{pmatrix}, \eta = \begin{pmatrix} \eta_{i1} \\ \eta_{i2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \eta_{ip} \end{pmatrix}, \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_{i1} \\ \varepsilon_{i2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_{ip} \end{pmatrix}, \lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1k} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2k} \\ \lambda_{31} & \lambda_{p2} & \dots & \lambda_{pk} \end{bmatrix}$$

Del cual se obtiene la siguiente matriz de forma $y_i = v + \Lambda \eta_i + \varepsilon_i$, donde:

- v, es el vector de factores únicos de v_j
- Λ la matriz de cargas factoriales λ_{jk}
- Ψ la matriz factor de varianzas y covarianzas
- Θ la matriz residual de varianza y covarianzas

En consecuencia la varianza de cada una de las variables analizadas se puede descomponer en dos partes. La comunalidad que expresa la parte de cada variable que puede ser explicada por los factores comunes a todas ellas y por otra parte, la especificidad término opuesto a la comunalidad, la cual expresa la parte específica de cada variable que escapa a los factores comunes, se rigen mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Var}(Y_{ip}) = \sum_{j=1}^k \lambda_{ij}^2 + \Psi_i, \quad (i=1,2,\dots,p) \tag{1}$$

$$h^2 = \text{var} \left(\sum_{j=1}^k \lambda_{ij} \eta_j \right), \quad \Psi_i = \text{var}(v_i) \tag{2}$$

Los factores comunes que explican las relaciones existentes entre las variables son:

$$\text{Cov}(y_i, y_l) = \text{Cov} \left(\sum_{j=1}^k \lambda_{ij} \eta_j, \sum_{j=1}^k \lambda_{lj} \eta_j \right) = \sum_{j=1}^k \lambda_{ij} \lambda_{lj} \Psi_j \neq I \tag{3}$$

Los factores únicos se incluyen en el modelo ante la dificultad de expresar en general p variables en función de un número más reducido k de factores. Siendo la matriz de covarianza de la población de las variables observadas Σ, $\Sigma = \Lambda \Psi \Lambda' + \Theta$.

Λ denota el patrón del factor y Ψ la estructura de los factores, siendo las correlaciones entre los elementos y los factores $\Theta_{ij} < 0$ para el caso Heyhood y η_i para el registro y la determinación de los factores tanto en términos de calidad como su correlación entre η_i η_i. El modelo para dos factores (Figura 1) se describe a partir de los cuadros y rectángulos que denotan las variables observadas, los círculos para representar los factores o variables latentes, las flechas unidireccionales para ilustrar las regresiones o residuos y las bidireccionales para las correlaciones y covarianzas.

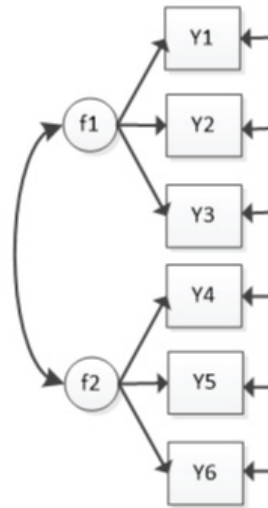


Figura 1. Modelo de dos factores

Es necesario suponer la normalidad de las variables, por ende contrastar la H0 dado que la matriz de correlaciones es una matriz identidad.

Si como resultado del contraste no pudiésemos rechazar la H0, y el tamaño de la muestra fuese razonablemente grande deberíamos reconsiderar la realización de un análisis factorial ya que las variables no estarían correlacionadas.

El estadístico de contraste del test de Bartlett permite contrastar bajo la hipótesis de normalidad multivariante, si la matriz de correlación de las p variables observadas (Rp) es la identidad. Si una matriz de correlación es la identidad significa que las intercorrelaciones entre las variables son cero.

Si se confirma la hipótesis nula $H_0: |R_p|=1$ o $R_p=I$, cuando las variables no están intercorrelacionadas.

El test de esfericidad de Barlett se obtiene mediante una transformación del determinante de la matriz de correlación, el estadístico del test viene dado por:

$$d_R = -[n-1-1/6(2p+5)] \log|R| = -[n \frac{(2p+1)}{6}] \sum_{j=1}^p \log(\lambda_j)$$

Donde n es el número de individuos de la muestra y λ_j ($j=1 \dots p$) son los valores propios de R. Bajo la hipótesis nula el estadístico se distribuye asintóticamente según una $\chi^2_{(p(p-1))/2}$.

Si la hipótesis nula es cierta los valores propios asumirán el valor de uno, siendo su logaritmo nulo y por ende el estadístico sería cero. En contraste si con el test de Barlett se obtienen valores altos de χ^2 o un determinante con valores próximos a cero, indica que una o más variables podrían ser expresadas como una combinación lineal de otras variables.

Si el estadístico del test arroja valores grandes o un determinante próximo a cero se rechazará la hipótesis nula con cierto grado de significación. En caso de aceptarse la hipótesis nula se puede entender que las variables no están correlacionadas y deberá reconsiderarse un análisis factorial.

3.4. SOFTWARE ESTADÍSTICO

Los análisis estadísticos fueron realizados con el software RStudio versión v0.98.1060, y el paquete psych en su versión 1.4.3 (Marzo 25 de 2014). Para los análisis factoriales se empleó el paquete FactoMineR (Desarrollo Core Team, 2012).

IV. RESULTADOS

4.1. TEST DE NORMALIDAD

Para corroborar que las variables y valores son apropiados para este tipo de valoración se realizaron las siguientes pruebas: Kaiser- Meyer-Olkin, el test de esfericidad de Barlett y el determinante de correlación.

Test de Barlett

Con la finalidad de corroborar si la correlación entre las variables analizadas es lo suficientemente grande para justificar la factorización de la matriz de coeficientes de correlación, se partió de la siguiente hipótesis:

H_0 : la matriz de coeficientes de correlación no es significativamente distinta de la matriz de identidad. Mediante esta prueba se calculó el estadístico basado en el valor del determinante de la matriz de coeficientes de correlación, siendo:

$$-[n-1 \frac{(2k+5)}{6}] \ln |R| \sim \chi^2_{(k^2-k)/2}$$

Donde k es el número de variables de la matriz, n el tamaño de la muestra, ln logaritmo neperiano y R la matriz de correlaciones. A este respecto y como referencia se ilustra la matriz de correlaciones del primer factor (Figura 2):

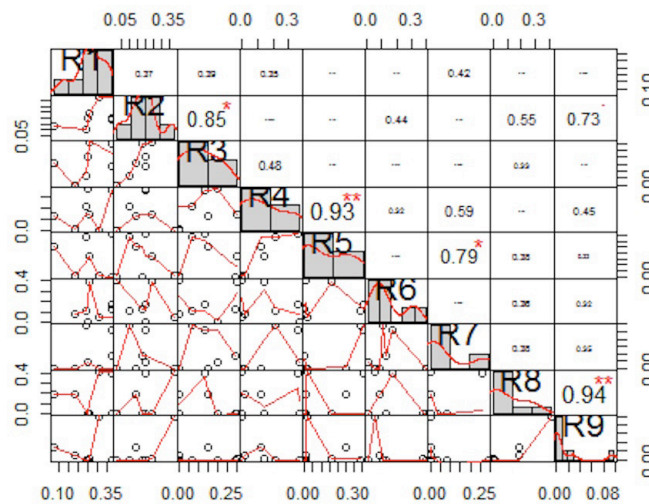


Figura 2. Matriz de correlaciones

Los resultados de la prueba de esfericidad de Bartlett para toda la matriz de correlaciones a partir de la función `cortest.bartlett` fueron:

Tabla 5. Test de Bartlett

\$chisq	\$p.value	\$df
[1] 2735.782	[1] 7.857895e-226	[1] 741

Se ha comprobado que la matriz de correlaciones se ajusta a la matriz identidad (I), es decir la ausencia de correlación significativa entre las variables. También se puede explicar que la nube de puntos se ajusta a una esfera perfecta, expresando la hipótesis nula como

H_0 : $R=I$. Es decir la determinante de la matriz de correlaciones es 1. Se infiere que con un nivel de significancia del 0.05 ($p < 0.05$) rechazamos la hipótesis nula de esfericidad. Con este resultado se concluye que se puede proceder con un análisis factorial a posteriori, ya que las características de la matriz son adecuadas para dicho análisis.

Test Kaiser- Meyer-Olkin (KMO)

Es un índice que se interpreta según un baremo (Tabla 6) donde a valores bajos se sugiere optar por otro tipo de análisis y descartar el análisis factorial. Donde r_{ij} para la correlación simple y a_{ij} para la correlación parcial.

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} r_{2ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} r_{2ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum_{i \neq j} a_{2ij}^2}$$

Tabla 6. Baremo KMO

$1 \geq KMO \geq 0.9$	muy bueno
$0.89 \geq KMO \geq 0.8$	meritorio
$0.79 \geq KMO \geq 0.7$	mediano
$0.69 \geq KMO \geq 0.6$	mediocre
$0.59 \geq KMO > 0.5$	bajo
$KMO \leq 0.49$	inaceptable

De acuerdo a las estimaciones mediante la función (KMO) se obtuvo un índice global de 0.81, por lo que el grado de variación de las 39 variables es meritorio de acuerdo a la (Tabla 7).

Asimismo se espera que la muestra sea factorizable al extraerse el número de factores de acuerdo a la varianza que mejor explique el tratamiento En la Tabla 7 se listan los valores de cada variable, para los ítems (10, 18, 21 y 37) tuvieron medidas dentro de la categoría mediocre, por lo que son variables candidatas a ser eliminadas, esta medida contribuiría a mejorar el indicador (KMO).

Tabla 7. Estimaciones pesos factoriales

item	MSAi	item	MSAi	item	MSAi	item	MSAi
R1	0,807	R11	0,817	R21	0,655	R31	0,848
R2	0,704	R12	0,715	R22	0,908	R32	0,837
R3	0,723	R13	0,812	R23	0,867	R33	0,782
R4	0,807	R14	0,794	R24	0,881	R34	0,775
R5	0,826	R15	0,814	R25	0,825	R35	0,724
R6	0,755	R16	0,831	R26	0,913	R36	0,740
R7	0,844	R17	0,850	R27	0,833	R37	0,606
R8	0,783	R18	0,670	R28	0,870	R38	0,829
R9	0,793	R19	0,802	R29	0,866	R39	0,763
R10	0,630	R20	0,725	R30	0,831		

Test determinante de correlación

Mediante la función DET se obtuvo un valor de (3.33742e-09) siendo un resultado mínimo próximo a cero, que indica que las variables están linealmente relacionadas por lo que un análisis factorial es una técnica pertinente para estudiar las variables.

4.2. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE FACTORES (SCREE TEST)

A continuación mediante la función `VSS.scree`, se obtuvo de manera gráfica el número de factores (Figura 3), se pueden observar aquellos con un autovalor superior a uno son ocho y que a partir del factor tres hay una clara inflexión en la línea descendente, por lo que es deseable rotar dos factores en lugar de ocho.

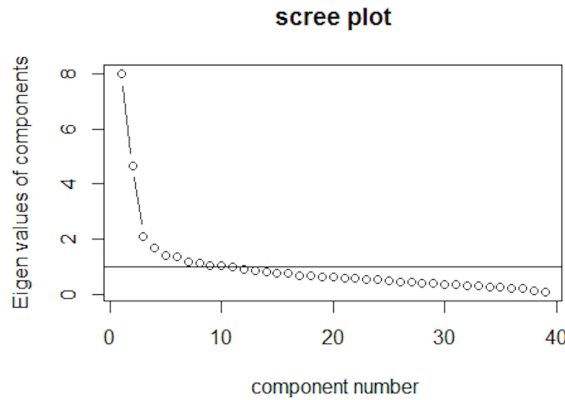


Figura 3. Determinación del número de componentes

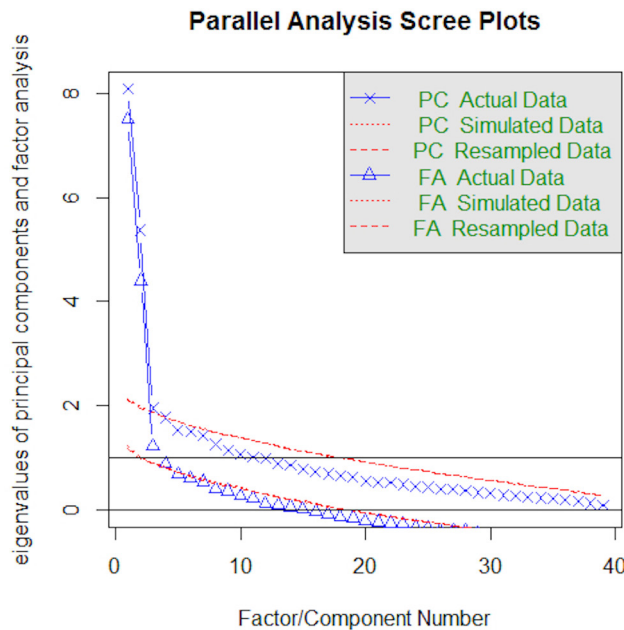


Figura 4. Número de factores y componentes

La razón de esta inferencia es que explicarán menos varianza y a posteriori la estructura será más clara e interpretable. Los factores con varianzas altas suelen diferenciarse de los que tienen varianzas bajas situados antes del punto de inflexión.

A partir de la función SCREE se determinó el número de factores o componentes simulados los cuales se ilustran en la Figura 4, mediante este método se observa que el número de componentes que explicarían una estructura más clara son dos.

En algunos casos el punto de inflexión de la curva suele no estar tan claro, la forma de pro-

ceder será haciendo varios análisis factoriales con más o menos factores en torno al punto de inflexión para verificar en cuál se obtiene una solución conceptualmente más clara.

El scree test funciona bien con factores claros ya a pesar de lo subjetivo que pudiera llegar a ser, debido a que no siempre hay un claro punto de inflexión en la curva aun así es preferible en contraste al test Kaiser, ya que el número de variables no se verá afectado (Ledesma & Valero-mora, 2007).

Otros estudios (Henson & Roberts, 2006) refieren que en una revisión de 60 análisis factoriales concluyeron que el 56,7% utilizan el criterio de Kaiser y el 35% restante el Scree test. Otra alternativa para determinar el número de factores es mediante el método Parallel Analysys (Horn, 1965), de acuerdo a la Educational & Psychological Measurement citado por (Ledesma & Valero-mora, 2007). La Figura 4 ilustra el número de factores y componentes recomendados a través de este método. Los resultados se traducen en cuatro factores y tres componentes aunque el punto de inflexión se sitúa en el número dos.

(Thompson & Daniel, 1996) recomiendan utilizar más de un criterio para determinar el número de factores. Es aceptable rotar distintos números de factores comparar los resultados y en última instancia decidir su número basándose en su interpretabilidad según el contexto de investigación (Beavers et al., 2013).

(Osborne & Costello, 2005), recomiendan este procedimiento a pesar de su imperfección. A diferencia del procedimiento Guttman-Kaiser no son los valores absolutos de las varianzas (autovalores), sino los valores relativos que se tienen en cuenta. Con menos factores la estructura quedará posiblemente más clara aunque disminuye la proporción de la varianza explicada por todos los factores.

El scree test funciona bien con factores claros ya a pesar de lo subjetivo que pudiera llegar a ser ya que no siempre hay un claro punto de inflexión en la curva aun así, es preferible al de Kaiser ya que le número de variables no se verá afectado (Ledesma & Valero-mora, 2007).

4.3. ANÁLISIS FACTORIAL

De acuerdo a los resultados previos para la estimación del número de factores se optó por el método Varimax y se rotó la matriz con n=2, n=3 y n=4 factores. De acuerdo a los resultados se concluyó que la proporción de la varianza total que mejor explica la estructura fue con n=2 factores (Figura 5), en concordancia con la agrupación de los ítems y constructos preestablecidos.

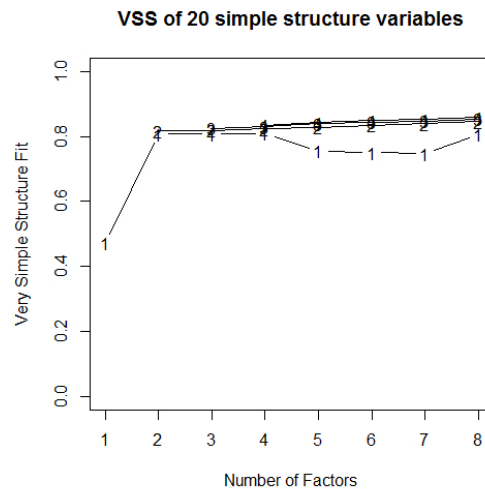


Figura 5. Estructura de las variables

Los ítems se listan de acuerdo al orden de aparición (Tabla 8), se observa la existencia de cuatro dimensiones contempladas en el constructo teórico. Estos factores explican el 31% de la varianza, también se observan los ítems que se desligan de las dimensiones.

De acuerdo al índice (KMO) se pudo identificar a los ítems (10, 18, 21 y 37) con valores en su varianzas inferiores a 0.70, estas variables fueron descartadas del instrumento, previa valoración de su relevancia como recurso informativo en contraste con la relación ítem-factor en la etapa de agrupación de los factores.

Con un valor de N= 155 los coeficientes que fueron significativos con un valor global de ($\alpha=0.05$), así como con cargas factoriales a partir de 0.300 se listan en la (Tabla 9).

Después de discriminar aquellos reactivos con varianzas menores a lo establecido, se rotó la matriz factorial mediante el método Varimax para obtener una nueva, que permitiera tener un instrumento más robusto de acuerdo al índice (KMO) y sea una estructura mucho más clara e interpretable.

Los resultados que mejor definieron los factores fueron para valores de n=2 y n=4. Se optó por elegir el primer caso, ya que a pesar de que la proporción total de la varianza acumulada es ligeramente superior en un (16%), en contraste la estructura factorial fue más dispersa.

Tabla 8. Análisis factorial R38, n=2

i	ML1	ML2	i	ML1	ML2
R1	0,471		R21		
R2			R22	0,683	
R3			R23	0,644	
R4	0,365		R24	0,754	
R5	0,410		R25	0,680	
R6	0,312		R26	0,743	
R7	0,479		R27	0,729	
R8	0,343		R28	0,819	
R9	0,512		R29	0,774	
R10		0,452	R30		0,630
R11	0,497	0,093	R31		0,728
R12		0,460	R32		0,737
R13		0,478	R33		0,677
R14	0,466		R34		0,526
R15	0,463		R35		0,472
R16	0,458		R36		0,522
R17		0,596	R37		
R18		0,400	R38	0,777	
R19	0,524				
R20	0,433				
SS loadings	7.438	4.726			
Prop Var	0.191	0.121			
Cum Var	0.191	0.312			

Tabla 9. Análisis factorial R29, n=2

i	ML1	ML2	i	ML1	ML2
R1	0,450		R22	0,693	
R4	0,354		R23	0,643	
R5	0,380		R24	0,762	
R6			R25	0,692	
R7	0,473		R26	0,726	
R8	0,351		R27	0,701	
R9	0,502		R28	0,852	
R10		0,446	R29	0,800	
R12		0,455	R30		0,634
R13		0,472	R31		0,739
R17		0,598	R32		0,749
R18		0,381	R33		0,693
R19		0,530	R34		0,520
R20		0,412	R35		0,463
			R36		0,510
SS loadings	5.632	4.449			
Prop Var	0.194	0.153			
Cum Var	0.194	0.348			

V. CONCLUSIONES

La finalidad de este estudio al margen del interés que se tuvo por simplificar el listado inicial de enunciados reduciéndola a una serie menor de variables y constructos. También se estudiaron y determinaron indicadores que dotan de fiabilidad a cada ítem (Tabla 10). Los factores rotados (Varimax) y sus respectivos coeficientes de confiabilidad (α) fueron conceptualizados en un sentido más propio y restringido.

En conclusión se los coeficientes de confiabilidad (α) quedaron definidos por: percepción del entorno $\alpha= 0.8$ (6 ítems), capacidad de discernir eventos futuros $\alpha= 0.8$ (7 ítems), capacidad de respuesta $\alpha= 0.8$ (8 ítems) y finalmente para el factor colaboración $\alpha= 0.8$ (7 ítems). Cada una de las subescalas tuvo un número semejante de ítems, un ventajas interesante es que existe la posibilidad de realizar comparaciones de manera intuitiva a partir de puntuaciones directas.

Tabla 10. Descripción de los ítems y referencia de sus cargas factoriales

Ítems	Cargas factoriales
R1 Ante el inminente impacto de un evento hidrometeorológico nuestros productos y/o servicios se enfrentan a cambios en la demanda por parte de nuestros clientes que resultan ser impredecibles.	0,450
R4 Nuestros productos son susceptibles a ser robados o dañados durante e inclusive después del huracán.	0,354
R5 Nuestros productos se enfrentan a una fuerte demanda y competencia de precios antes e inclusive después del huracán.	0,380

R7 Nuestros proveedores o instalaciones de producción están geográficamente concentradas en zonas identificadas de riesgo por huracanes.	0,473
R8 Ante el inminente impacto de un evento hidrometeorológico el suministro proveniente de los proveedores sufre de las alteraciones que resultan ser impredecibles.	0,351
R9 Las materias primas para nuestros productos tienden a escasear ante estos eventos.	0,502
R22 Tenemos eficacia implementando programas de mejora continua.	0,693
R23 Utilizamos métodos de previsión efectiva de la demanda.	0,643
R24 Reconocemos nuevas oportunidades de negocio y los pasos inmediatos a tomar para sacar provecho de ellos.	0,762
R25 Podemos organizar rápidamente un equipo de respuesta formal con personal clave al interior de la organización.	0,692
R26 Tenemos experiencia para resolver la gestión de los efectos del fenómeno hidrometeorológico incluidos los problemas de relaciones públicas.	0,726
R27 Tomamos medidas inmediatas para mitigar los efectos de las interrupciones a pesar de los costos a corto plazo.	0,701
R28 Nuestros principales insumos provienen de una red descentralizada de proveedores.	0,852
R29 Nuestra organización permite a los expertos tomar decisiones clave independientemente de su nivel de autoridad.	0,800

Ítems	Cargas factoriales
R10. Tenemos acceso limitado de capacidad para la distribución de productos.	0,446
R12 Los errores o deficiencias en nuestras operaciones son muy visibles para los clientes.	0,455
R13 Tenemos varias fuentes alternativas de insumos clave.	0,472
R17 Tenemos sistemas de información que hacen un seguimiento con precisión en todas las operaciones.	0,598
R18 Tenemos datos en tiempo real sobre la ubicación y el estado de los suministros, productos terminados, equipos y empleados.	0,381
R19 Tenemos intercambio regular de información entre los proveedores, clientes y otras fuentes externas.	0,530
R20 Se puede reasignar rápidamente los pedidos a los proveedores alternativos y reasignar puestos de trabajo entre los diferentes centros de producción.	0,412
R30 Empleamos efectivamente técnicas de previsión para la demanda con utilización de datos compartidos	0,634

R31 Nuestros datos fluyen transparentemente entre los miembros de la cadena de suministro con pleno acceso de todas las empresas para facilitar la colaboración para la toma de decisiones.	0,739
R32 Nuestros clientes están dispuestos a retrasar sus órdenes cuando nuestro nivel de servicio se ve obstaculizado.	0,749
R33 Nuestra empresa invierte en instalaciones y equipos de los proveedores y está dispuesta a compartir los riesgos con los proveedores y clientes.	0,693
R34 Alentamos la solución creativa de los problemas.	0,520
R35 Somos una organización que aprende con el uso regular de retroalimentación y herramientas de evaluación comparativa.	0,463
R36 Empleamos protocolos de seguridad por niveles y no dependemos de un solo tipo de medida de seguridad.	0,510

El análisis factorial exploratorio explica el 31% de la varianza (corregida y rotada) con n=2 factores, aunque se probó una solución alterna con cuatro factores, preferimos la primera por ser más parsimoniosa ya que los análisis confirmatorios realizados no mostraron una ganancia de bondad de ajuste.

Mediante esta metodología pudimos identificar y separar las dimensiones de la estructura, así como determinar la medida en que cada variable es explicada e relación a su dimensión. Por medio del análisis factorial sintetizamos y disminuimos la cantidad de datos utilizados, esta actividad dio origen a la extracción de las dimensiones subyacentes que una vez interpretadas, describieron las características de los datos originales, pero con un número menor de conceptos en relación al planteamiento inicial.

Este ejercicio aporta información relevante sobre la opinión que tienen los directivos en ejercicio de su práctica profesional ante contextos de riesgo por fenómenos hidrometeorológicos (huracanes). Por lo cual puede representar un importante referente para la valoración de escenarios ante eventos de esta índole.

Aunque con esta propuesta el modelo ilustra indicadores aceptables, identificamos cierta correlación entre algunos factores, por lo cual inferimos que quizás esté comprometida la validez discriminante.

Futuros trabajos de investigación será extender la aplicación de la encuesta hacia otros contextos y regiones similares de estudio. También prevé un análisis de correlación entre las variables categóricas que se recogieron durante la encuesta (perfil del encuestado), acompañado de análisis de estadística descriptiva en profundidad.

Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos, Conacyt.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdi, H. (2003). Factor Rotations in Factor Analyses. In Encyclopedia of Social Science Research (pp. 1–8).

Albright, J. J., & Park, H. M. (2009). Confirmatory Factor Analysis using Amos , LISREL , Mplus , SAS / STAT CALIS *. The Trustees of Indiana University (Vol. 4724). Retrieved from <http://www.indiana.edu/~statmath/stat/all/cfa/index.html>

Barrett, P. (2003). Beyond psychometrics: Measurement, non-quantitative structure, and

- applied numerics. *Journal of Managerial Psychology*. doi:10.1108/02683940310484026
- Beavers, A. S., Lounsbury, J. W., Richards, J. K., Huck, S. W., Skolits, G. J., & Esquivel, S. L. (2013). Practical considerations for using exploratory factor analysis in educational research. *Practical Assessment Research & Evaluation*, 18, 1–13.
- Biasutti, M., Sobel, A. H., Camargo, S. J., & Creyts, T. T. (2011). Projected changes in the physical climate of the Gulf Coast and Caribbean. *Climatic Change*, 112(3-4), 819–845. doi:10.1007/s10584-011-0254-y
- Carabias, J. (2013). "De sequías a tormentas" Julia Carabias. *Reforma*, pp. 1–2. Retrieved from <http://aristeguinoticias.com/3009/mexico/de-sequias-a-tormentas-articulo-de-julia-carabias/>
- Courtney, M. G. R. (2013). Determining the number of factors to retain in EFA : Using the SPSS R-Menu v2 . 0 to make more judicious estimations. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 18, 1–14.
- Engelhard, G. (1984). Thorndike, Thurstone, and Rasch: A Comparison of Their Methods of Scaling Psychological and Educational Tests. *Applied Psychological Measurement*. doi:10.1177/014662168400800104
- Estrella, E. (2010). LA PYME INNOVADORA DE YUCATÁN ANTE LA CRISIS ECONÓMICA.
- Garlati, A. (2013). Extreme Weather Events in Latin America : Climate Change and Extreme Weather Events in Latin America: An Exposure Index. Inter-American Development Bank, (January).
- Gillson, L., Dawson, T. P., Jack, S., & McGeoch, M. A. (2013). Accommodating climate change contingencies in conservation strategy. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(3), 135–142. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.008
- Gorsuch, R. L. (1997). Exploratory Factor Analysis: Its Role in Item Analysis. *Journal of Personality Assessment*. doi:10.1207/s15327752jpa6803_5
- Henson, R. K., & Roberts, J. K. (2006). Use of exploratory factor analysis in published research. *Educational and Psychological Measurement*, 66, 393–416. doi:10.1177/0013164405282485
- Horn, J. L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, 30, 179–185. doi:10.1007/BF02289447
- INEGI. (2009). Micro, pequeña, mediana y gran empresa. Estratificación de los establecimientos. (Instituto Nacional, C. Estadística y Geografía.-- México : INEGI, 172 p. X, I. 970-13-4739-0, 2009 I. 1. Industria - México - Censos, 2009. 2. Comercio - México - Censos, & I. N. de E. y G. (México), Eds.) (Censos Eco.). México.
- Jackson, D. L., Gillasp, J. A., & Purc-Stephenson, R. (2009). Reporting practices in confirmatory factor analysis: an overview and some recommendations. *Psychological Methods*, 14, 6–23. doi:10.1037/a0014694
- Jennrich, R. I., & Bentler, P. M. (2012). Exploratory Bi-factor Analysis: The Oblique Case. *Psychometrika*, 77, 442–454. doi:10.1007/s11336-012-9269-1
- Kline, P. (1993). *The handbook of psychological testing* (2nd ed.). The handbook of psychological testing (2nd ed.). Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=2000-15006-000&lang=fr&site=ehost-live>
- Kline, R. B. (2013). Exploratory and confirmatory factor analysis. In *Applied quantitative analysis in the social sciences* (pp. 171–207).
- Kwasinski, A. (2013). Architecture for green mobile network powered from renewable energy in microgrid configuration. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, WCNC* (pp. 1273–1278). Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84881563328&partnerID=40&md5=df44e67d901e5aa6d55e3b69a6edc3e0>
- Landsea, C. W., Vecchi, G. a., Bengtsson, L., & Knutson, T. R. (2010). Impact of Duration

- Thresholds on Atlantic Tropical Cyclone Counts*. *Journal of Climate*, 23(10), 2508–2519. doi:10.1175/2009JCLI3034.1
- Landsea CW. (2007). Counting Atlantic Tropical Cyclones Back to 1900, 88(18).
- Ledesma, R. D., & Valero-mora, P. (2007). Determining the Number of Factors to Retain in EFA: an easy-to-use computer program for carrying out Parallel Analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 12, 2–11. doi:http://pareonline.net/getvn.asp?v=12&n=2
- Marsh, H. W., & Hocevar, D. (1988). A new, more powerful approach to multitrait^multi-method analyses: Application of second-order confirmatory factor analysis. *Journal of Applied Psychology*. doi:10.1037/0021-9010.73.1.107
- McCarthy, J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., & White, K. S. E. I. (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2001 (Vol. 2)*. Retrieved from http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm
- National Atmospheric Administration. (2014). Retrieved from <http://www.noaa.gov>
- Nunnally, J. C., & Bernstein, I. (1994). *Psychometric Theory*. rdsepiucsforg (Vol. 3). doi:10.1037/018882
- OCDE. (2008). *Territorial Reviews Yucatán, Mexico*. Merida, México.
- Osborne, J. W., & Costello, A. B. (2005). Best Practices in Exploratory Factor Analysis : Four Recommendations for Getting the Most From Your Analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 10, 1–9.
- Pérez-Gil, J. A., Chacón Moscoso, S., & Moreno Rodríguez, R. (2000). Validez de constructo: El uso de análisis factorial exploratorio-confirmatorio para obtener evidencias de validez. *Psicothema*, 12, 442–446.
- Ross, S. R., Millis, S. R., Bonebright, T. L., & Bailley, S. E. (2002). Confirmatory factor analysis of the Behavioral Inhibition and Activation Scales. *Personality and Individual Differences*, 33, 861–865. doi:10.1016/S0191-8869(01)00196-9
- Saggino, A., Cooper, C., & Kline, P. (2001). A confirmatory factor analysis of the Myers-Briggs Type Indicator. *Personality and Individual Differences*, 30, 3–9. doi:10.1016/S0191-8869(00)00004-0
- Tereza, M., Pérez, C., Castillo, L. B., Cecilia, A., Álvarez, C., Farfán, L. M., ... Antonio, J. (2013). *Red de Desastres Asociados a Fenómenos Hidrometeorológicos y Climáticos (REDESClim) Programa General de Trabajo May 2012 – Mar 2013, (May 2012)*.
- Thompson, B., & Daniel, L. G. (1996). Factor Analytic Evidence for the Construct Validity of Scores: A Historical Overview and Some Guidelines. *Educational and Psychological Measurement*. doi:10.1177/0013164496056002001
- Williams, B., Brown, T., & Onsmann, A. (2012). Exploratory factor analysis : A five-step guide for novices. *Journal of Emergency Primary Health Care (JEPHC)*, 8, 1–13.
- Winter, J. C. F., Dodou, D., & Wieringa, P. A. (2009). Exploratory Factor Analysis With Small Sample Sizes. *Multivariate Behavioral Research*. doi:10.1080/00273170902794206